

Análise e seleção de materiais para garrafas térmicas

Eduardo Luis Schneider¹

Pedro Barrinuevo Roese²

Wilson Kindlein Júnior³

Resumo

Neste artigo, três diferentes marcas de garrafas térmicas foram analisadas, segundo a norma ABNT NBR 13282 (garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio). Testes de capacidade volumétrica real, estabilidade, resistência a choques térmicos, eficiência térmica e resistência ao impacto foram realizados. Além disso, foi feita uma engenharia reversa, onde se utilizou ensaios de Espectrofotometria de Infravermelho - FTIR para a identificação dos materiais utilizados no corpo externo, copo, tampa e fundo. Uma vez que os resultados mostraram que, em grande parte, os materiais utilizados nos produtos eram os mesmos, foi feita uma seleção computadorizada de materiais, a fim de verificar se haveria outros materiais que pudessem apresentar melhores propriedades frente às exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica ou custo mais baixo.

Palavras-chave: Seleção de materiais. *Design*. Garrafas térmicas.

Abstract

In this article, three different trademarks of thermal bottles were analyzed, according to ABNT NBR 13282 norm (thermal bottle with silvery glass – requirements and test methods). Tests of real volumetric capacity, stability, thermal shock resistance, thermal efficiency and impact resistance were carried out. In addition, a reverse engineering was done, where it was applied the Fourier Transform Infra-red Spectroscopy - FTIR tests for the identification of the external body, cup, lid and bottom materials. Since the results showed that, to a great extent, the materials utilized were the same, a computerized material selection was carried out, in order to verify if there would be other materials that could present better properties to the demands of a thermal bottle manufacturing and use or lower cost.

Keywords: *Material selection. Design. Thermal bottle.*

1 Introdução

Com base nas correlações estrutura-propriedade, a sinergia entre seleção de materiais e *design* de produtos, de um modo geral, é fundamental para aperfeiçoar e inovar o setor industrial (CALLISTER, 2002).

Com o objetivo de comparar três di-

ferentes marcas de garrafas térmicas, neste trabalho, realizou-se uma análise, segundo a norma ABNT NBR 13282 (garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio), onde foram realizados testes de capacidade volumétrica real, estabilidade, resistência a choques térmicos, eficiência térmica e resistência ao impacto (ABNT NBR 13282).

1 Doutor e Mestre em Engenharia pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGE3M) – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Engenheiro Metalúrgico, professor e pesquisador no Grupo de Materiais da Universidade Feevale. E-mail: edu.ufrgs@gmail.com

2 Mestre em Engenharia pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGE3M) – UFRGS. Engenheiro de Materiais. E-mail: pedbroese@hotmail.com

3 Doutor e Mestre em Engenharia pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGE3M) – UFRGS. Engenheiro Mecânico pela UFRGS, professor e coordenador do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM/DEMAT/EE/UFRGS). E-mail: kindlein@portoweb.com.br

Artigo recebido em 04/04/2011 e aceito em 14/09/2011.

Além disso, uma vez que nas estruturas das garrafas estava o símbolo do Polipropileno (PP), indicando a utilização desse material nas mesmas, foi feita uma seleção de materiais computadorizada, a fim de verificar se haveria outros materiais que pudessem apresentar melhores propriedades frente às exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica ou um custo mais baixo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Amostras

Neste trabalho, os materiais utilizados foram três diferentes marcas de garrafas térmicas com capacidade de 1L, bastante comercializadas no Brasil. As mesmas estão listadas, de acordo com sua marca, modelo, dimensões e

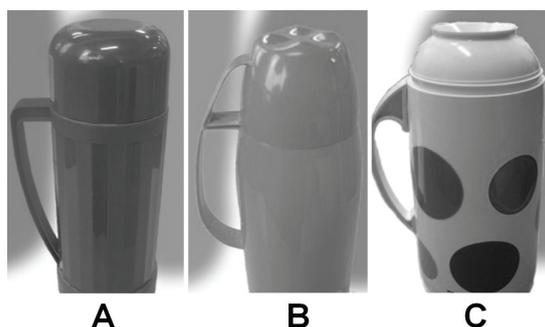
Tabela 1 - Garrafas térmicas utilizadas neste trabalho, listadas de acordo com sua marca, modelo, dimensões e preço

Marca	Modelo	Dimensões (CxLxA)[mm]	Preço [R\$]
A	A 1L	108 x 131 x 296	16,00
B	B 1L	137 x 115 x 285	21,00
C	C 1L	147 x 122 x 281	23,00

Fonte: Os autores (2011).

preço na tabela 1. A figura 1 mostra uma fotografia das três garrafas utilizadas.

Figura 1 – Fotografia das três diferentes marcas de garrafas térmicas utilizadas neste trabalho



Fonte: Os autores (2011).

2.1.1 Capacidade volumétrica real

Com objetivo de verificar a capacidade volumétrica indicada pelo fabricante, foi feito o preenchimento total do volume interno da garrafa térmica com água, seguido de posterior medida do volume vertido, com auxílio de uma proveta. Segundo a norma, o volume medido deve ser maior ou igual a 90 % da capacidade indicada pelo fabricante.

2.1.2 Estabilidade

Para analisar o equilíbrio da garrafa, posicionou-se a garrafa térmica vazia sobre uma base de madeira, apoiada pelo fundo. A se-

guir, inclinou-se a base até obter um ângulo de 10° com a horizontal. O equilíbrio da garrafa foi verificado, girando-se a garrafa em todas as direções.

As três etapas acima descritas foram realizadas com a garrafa vazia e com preenchimento de 50 % e 100 % de sua capacidade volumétrica real.

2.1.3 Resistência a choques térmicos

A fim de verificar a resistência da ampola, após rápido preenchimento com água quente, cada garrafa térmica foi submetida a choque térmico, através do enchimento total e repentino com água à temperatura de 90 °C. Com esse teste, buscou-se identificar trincas, rachaduras ou quebras na ampola esvaziada, indicando a segurança de uso.

2.1.4 Eficiência térmica

A análise da perda de calor do líquido, contido na ampola fechada, foi feita preenchendo cada garrafa térmica com 900 mL de água quente e vedando com suas respectivas tampas e copos. A cada meia hora, a temperatura da água foi medida com auxílio de um termo elemento. A perda térmica foi estudada por um período de 2 h. A garrafa com melhor eficiência térmica é aquela que apresenta o

menor coeficiente angular da reta que correlaciona tempo versus temperatura da água confinada no interior da ampola.

2.1.5 Resistência ao impacto

Para a análise de resistência ao impacto, cada garrafa térmica foi preenchida totalmente com água à temperatura de 90 °C e vedada com sua tampa e copo. A seguir, foi submetida a uma queda de 10 cm de altura, com o auxílio de um dispositivo de ensaio de impacto. A ampola não deve deslocar-se de sua posição original nem apresentar trincas, rachaduras ou quebras.

2.2 Engenharia reversa

Foi realizado um estudo de engenharia reversa, onde se fez uma análise, utilizando-se a técnica de FTIR (Espectrofotometria de Infravermelho), para identificar os materiais utilizados no corpo externo, copo, tampa e fundo e seus resultados conferidos com a designação fornecida (os materiais utilizados na confecção dos produtos analisados são indicados pelos próprios fabricantes) (INGLE, 1994; CHANDRU; MONOHAR, 1997; JANNUZZI; MONTALLI, 1999).

Como as garrafas térmicas são produtos de consumo de massa, projetados para serem produzidas em grande escala, o processo de injeção se torna atrativo, pois, apesar do alto investimento inicial, a produção de uma grande quantidade de unidades resulta em uma redução significativa no custo final do produto frente a outros processos de fabricação (ROSSATO, 2000). Assim, para a seleção de materiais, partiu-se do universo dos polímeros termoplásticos por serem esses materiais os mais adequados para moldagem pelo processo de injeção.

Os critérios de seleção de materiais foram determinados pela função estrutural e pelas restrições de resistir tanto a choques mecânicos como térmicos. Esses requerimentos de *design* se traduzem em especificações da-

das por combinações de propriedades como, resistência mecânica, resistência ao impacto, tenacidade, temperatura máxima de serviço e preço (ASHBY, 2002).

A necessidade de resistência mecânica advém do fato de o corpo da garrafa térmica suportar todo o peso da mesma (através da alça) e, eventualmente, sofrer carregamentos externos, quando armazenada. A necessidade de resistência ao impacto, por sua vez, deriva da possibilidade de o corpo da garrafa sofrer impactos diretos com o solo. Já a tenacidade é necessária para evitar a propagação de pequenas trincas que podem aparecer nos pontos de concentração de tensões e que levam à falha catastrófica em materiais de baixa tenacidade. Por sua vez, a temperatura máxima de serviço deve ser tal que a água fervente que, possivelmente terá contato com o material, não o danifique. Já o preço é uma das variáveis cruciais na seleção de materiais, para qualquer produto de consumo de massa.

Foi utilizado o *software* de seleção Cambridge Material Selector (CES - Granta Design, 2006). Primeiramente, restringiu-se o universo de materiais, onde a seleção foi feita à família dos termoplásticos. Em seguida, foram eliminados todos os materiais com preço maior que R\$ 8,00/kg e com temperatura de serviço menor do que 100 °C, visto que esses são requisitos básicos para que o material se enquadre na aplicação em questão. Em seguida, foi feito um gráfico de resistência mecânica versus resistência ao impacto. Através de uma reta de inclinação -1, foram eliminados os materiais frágeis e com menor resistência mecânica.

Eliminados os materiais com propriedades mecânicas mais frágeis, a seleção final foi feita, avaliando os materiais com o melhor compromisso entre alta tenacidade e baixo custo. Essa comparação foi feita através de linhas de inclinação 1 no gráfico de tenacidade à fratura (capacidade de um material de resistir à propagação de trincas, quando submetido a uma carga de impacto) versus preço.

3 Resultados e discussões

3.1 Análises térmicas e mecânicas

3.1.1 Capacidade volumétrica real

A tabela 2 mostra os resultados da verificação da capacidade volumétrica.

Tabela 2 - Resultados da verificação da capacidade volumétrica

Marca	Indicação do Fabricante [L]	Medida [L]
A	1	0,950
B	1	0,925
C	1	1,015

Fonte: Os autores (2011).

Todas as garrafas atenderam à norma. Entretanto, a garrafa da marca C apresentou uma capacidade volumétrica um pouco superior as outras.

3.1.2 Estabilidade

Todas as garrafas testadas apresentaram estabilidade.

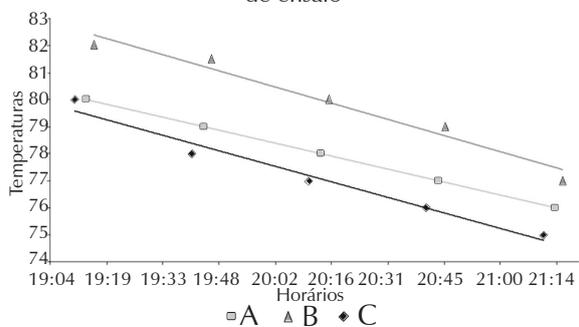
3.1.3 Resistência a choques térmicos

Todas as garrafas resistiram ao teste de choque térmico.

3.1.4 Eficiência térmica

A figura 2 mostra o gráfico da variação da temperatura interna da garrafa em função do tempo de ensaio, cujo objetivo é determinar a eficiência térmica do produto. A tabela 3 mostra a temperatura interna de cada garrafa e seu respectivo horário de medida.

Figura 2 – Variação da temperatura em função do tempo de ensaio



Fonte: Os autores (2011).

Tabela 3 - Resultados das medidas de temperatura em função do tempo, para as garrafas térmicas analisadas

Horários de Medida	Temperaturas detectadas [C°]		
	A	B	C
19h 15min	80,0	82,0	80,0
19h 45min	79,0	81,5	78,0
20h 15min	78,0	80,0	77,0
20h 45min	77,0	79,0	76,0
21h 15min	76,0	77,0	75,0

Fonte: Os autores (2011).

3.1.5 Resistência ao impacto

A figura 3 mostra os resultados dos testes de resistência ao impacto, onde se observam trincas geradas na queda para as garrafas das marcas A e C e ausência de trincas na queda da garrafa B.

Figura 3 – Resultados dos testes de resistência ao impacto



Fonte: Os autores (2011).

4 Engenharia reversa

Apesar da identificação positiva para a composição do PP, conforme resultado dos espectros de absorção das figuras 4, 5 e 6, nem a identificação do fabricante nem o ensaio de FTIR puderam fornecer detalhes adicionais quanto à natureza do PP utilizado. Assim, não pode ser determinado, se o material empregado se tratava de um homopolímero de PP (polipropileno) ou de um copolímero de PP.

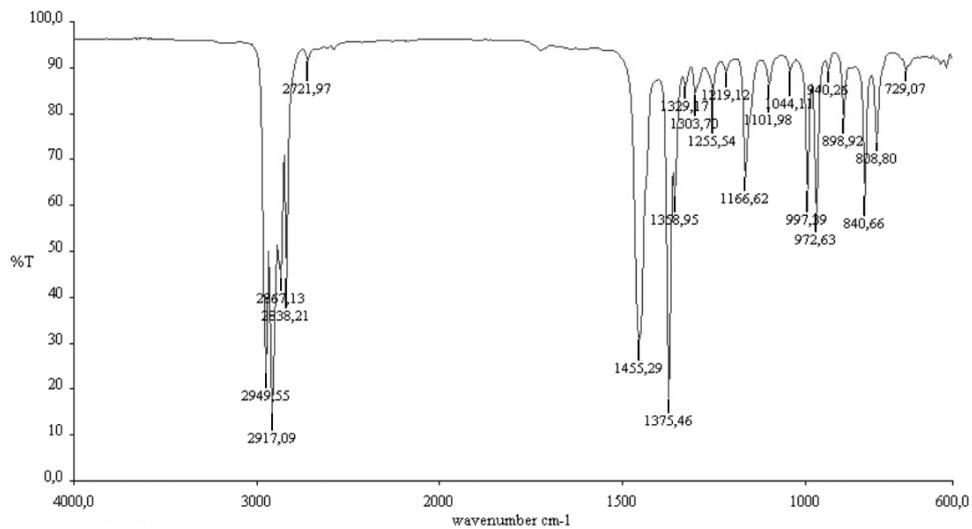
A figura 7 mostra o gráfico de resistência à tração em função da resistência ao impacto. Observa-se na figura 9 que ma-

teriais como o PET (polietileno tereftalato), o PS (poliestireno) o PE (polietileno) e o PP homopolímero não apresentam propriedades mecânicas satisfatórias frente aos outros materiais presentes na seleção.

A figura 8 mostra o gráfico de tenacidade à fratura em função do preço. Nela, observa-se que os copolímeros de PP são, de fato,

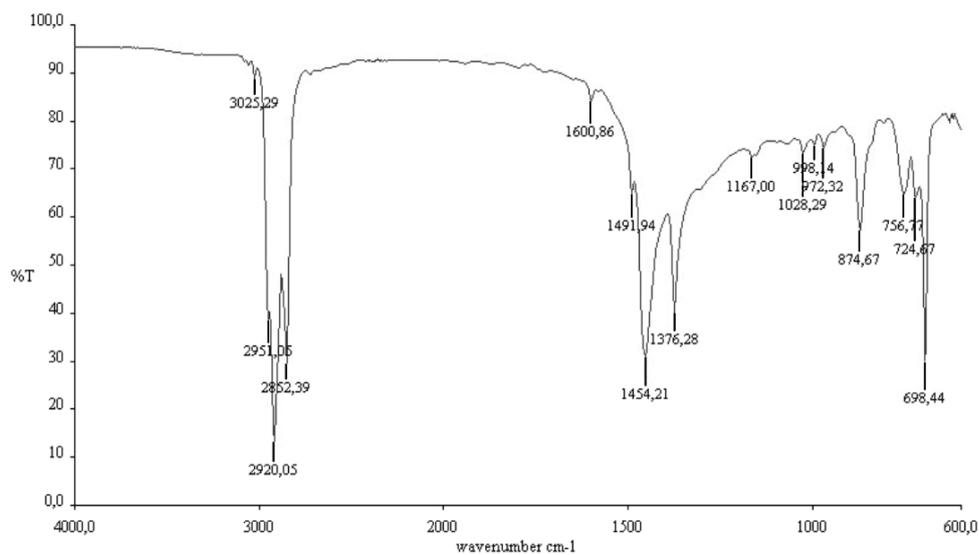
o melhor dos materiais termoplásticos para ser usado em estruturas de garrafas térmicas, considerando que apresentam o melhor compromisso entre alta tenacidade e baixo custo. Materiais como o PE de ultra-alto peso molecular e o PC (policarbonato) possuem tenacidade equivalente, porém seu maior custo o torna menos atraente para uso em garrafas térmicas.

Figura 4 – Análise de FTIR indicando as bandas características do PP na estrutura da garrafa térmica da marca A



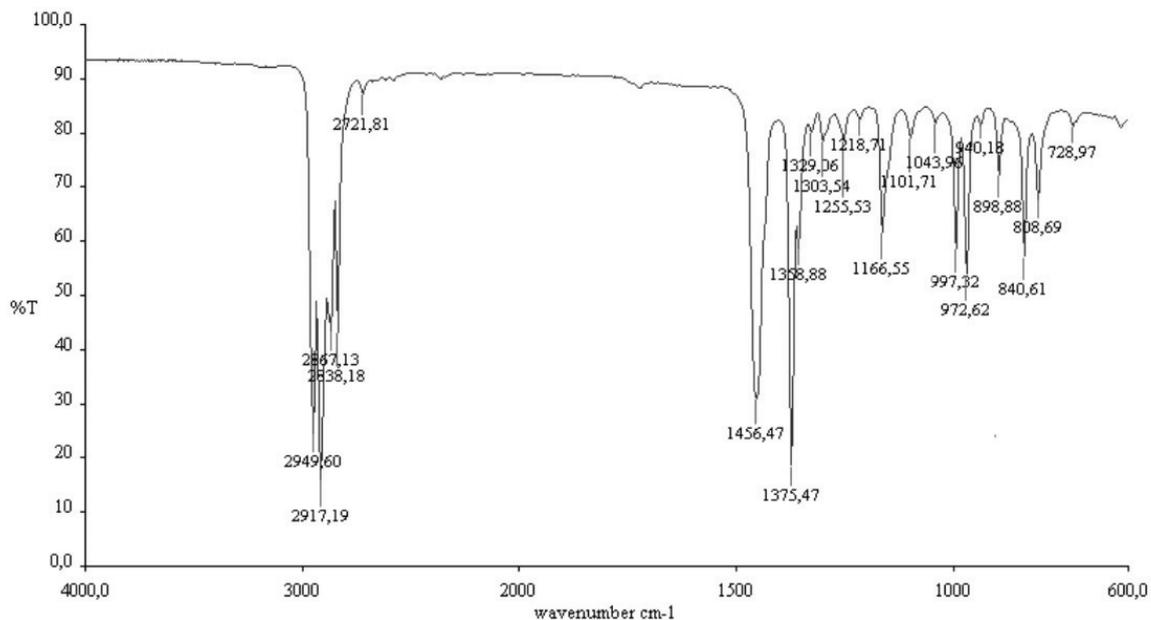
Fonte: Os autores (2011).

Figura 5 – Análise de FTIR indicando as bandas características do PP na estrutura da garrafa térmica da marca B



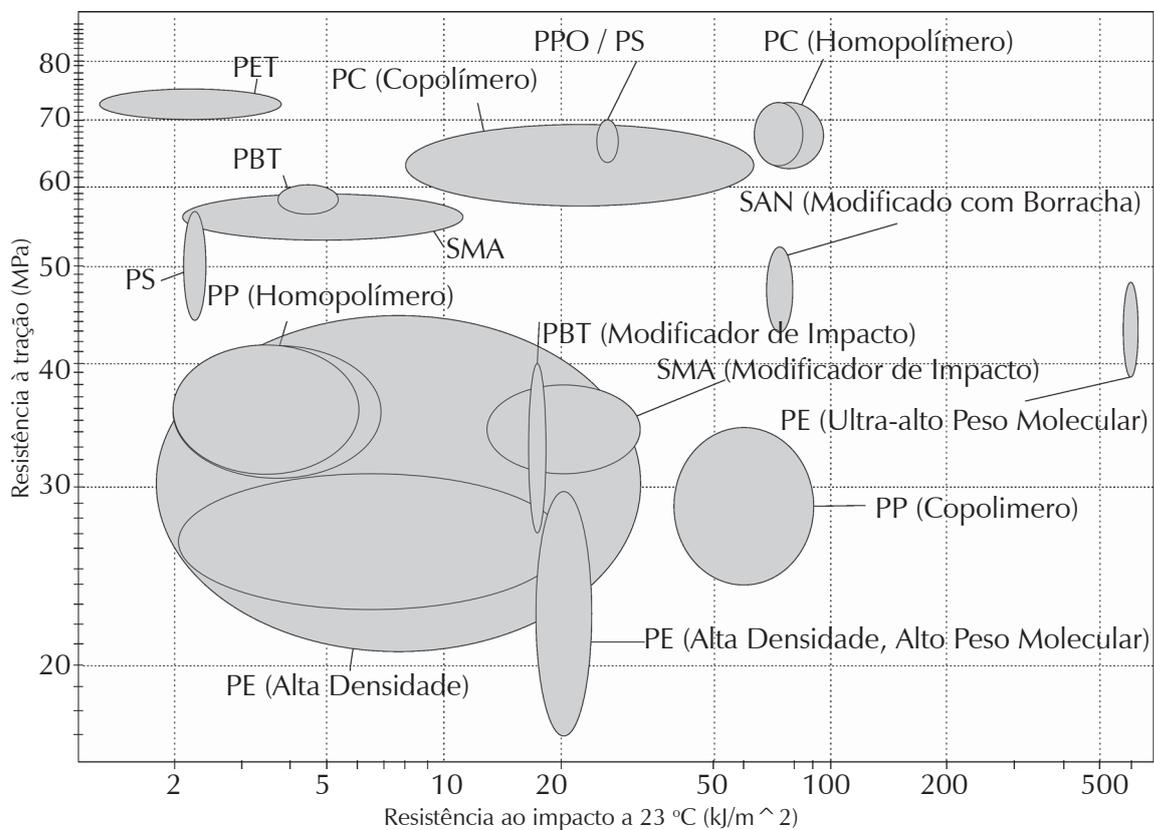
Fonte: Os autores (2011).

Figura 6 – Análise de FTIR indicando as bandas características do PP na estrutura da garrafa térmica da marca C



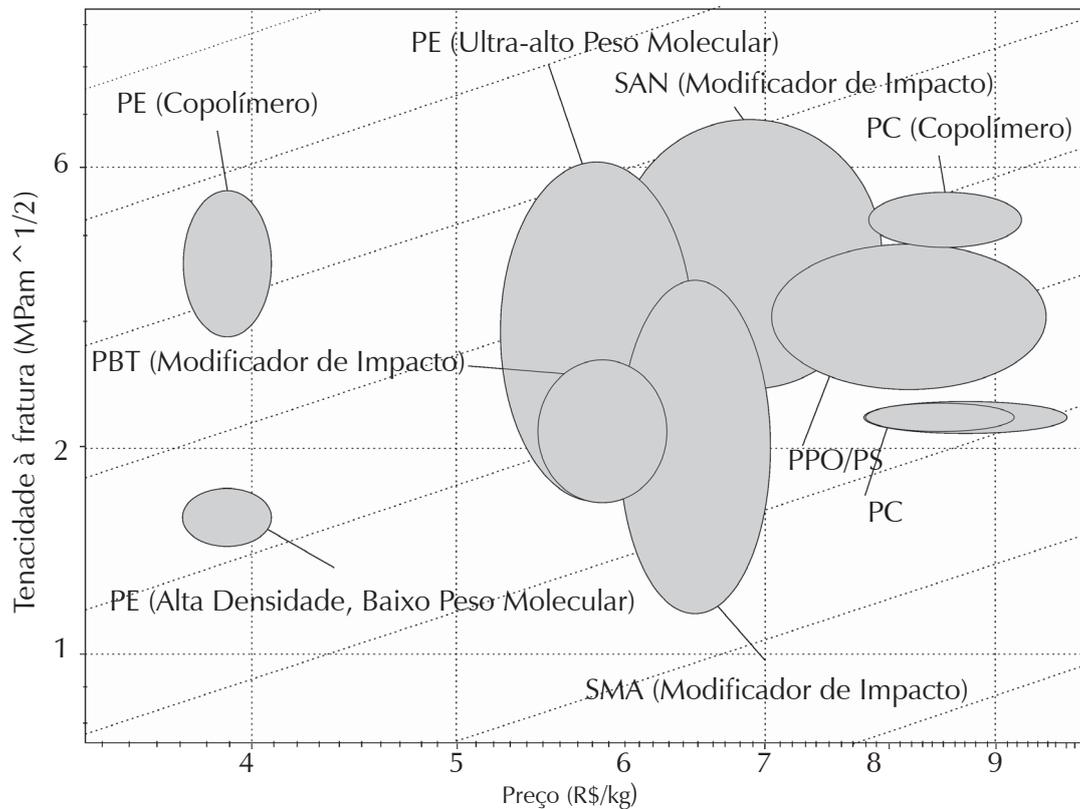
Fonte: Os autores (2011).

Figura 7 – Resistência à tração em função da resistência ao impacto



Fonte: Os autores (2011).

Figura 8 – Tenacidade à fratura em função do preço



Fonte: Os autores (2011).

5 Conclusões

Neste trabalho, avaliou-se três diferentes marcas de garrafas térmicas com capacidade de 1L, bastante comercializadas no Brasil, de acordo com os ensaios exigidos pela norma ABNT NBR 13282 - garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio. Nos testes de capacidade volumétrica real, todas as garrafas atenderam à norma, porém a garrafa da marca C apresentou uma capacidade volumétrica ligeiramente superior às outras. Todas as garrafas apresentaram estabilidade, resistiram ao teste de choque térmico. Quanto ao teste de eficiência térmica, a garrafa A apresentou o melhor desempenho. Já no teste de impacto, a única que resistiu satisfatoriamente, já que não foram observadas trincas na sua ampola, após a queda, foi a garrafa da marca B.

Os espectros gerados nas análises de FTIR indicaram as bandas características do PP na estrutura dos três modelos de garrafas

térmicas, o que evidenciou que os materiais utilizados nos produtos são os mesmos. Isso indica, primeiramente, que já tenha havido uma padronização entre os materiais, cujas melhores propriedades são capazes de atender às exigências de fabricação e uso de uma garrafa térmica, considerando uma seleção de materiais com foco no preço. Ou seja, embora os polipropilenos não sejam os materiais poliméricos que apresentem os maiores valores entre resistência à tração e resistência ao impacto, eles são os termoplásticos que apresentam um dos maiores valores (3,0 - 4,5 MPa x m-1/2) de tenacidade à fratura e os menores custos relativos (0,85 – 1,65 US\$/kg). Esse fato permite concluir que, com base nesse tipo de seleção, onde se busca minimizar o custo do material e de processamento, esses são os materiais que melhor satisfazem às necessidades industriais de otimização de processo, dentro de um sistema de qualidade e prevenção de defeitos que atendam às normas exigidas.

Concluiu-se ainda que, possivelmente,

não é usado o PP homopolímero na confecção do corpo das garrafas térmicas e sim um copolímero de PP. Essa conclusão vem das melhores propriedades de impacto dos copolímeros de PP, que os tornam o material mais adequado para uso no corpo de garrafas térmicas, conforme foi mostrado pela seleção de materiais realizada.

Referências

ASHBY, M. ; JOHNSON, K. **Materials and Design: the art and science of material selection in product design**. 1. ed. USA: Elsevier, 2002. 336p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13282: Garrafa térmica com ampola de vidro – requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais** - uma introdução. 5. ed. LTC: Rio

de Janeiro, 2002.

CHANDRU V.; MONOHAR S. **Modelling for emerging manufacturing technologies**. Sadhana, v. 22, part 2, p. 199-216, 1997.

INGLE, K. A. **Reverse Engineering**. Lexington: McGraw-Hill, 1994. 240p.

JANNUZZI, C. S. A. C.; MONTALLI, L. M. K. Informação tecnológica e para negócios no Brasil: introdução a uma discussão conceitual. **Revista Ciência da Informação**, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, v. 28, n. 1, jan./abr. 1999.

ROSSATO D. V. **Injection Molding Handbook**. 3. ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2000.

THE CAMBRIDGE Material Selector. CES – Edu-pack. Reino Unido: GrantaDesign, Cambridge, 2006. *Software*.