

UNIVAP

Universidade do Vale do Paraíba

Luciane Soares de Souza, Thábata Ferreira Borges.

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE COPOLÍMERO EM BLOCO DE
ESTIRENO-BUTADIENO (SBS) NO POLIESTIRENO DE ALTO
IMPACTO (HIPS) REPROCESSADO**

São José dos Campos – SP, 2011.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Luciane Soares de Souza, Thábata Ferreira Borges

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das exigências para conclusão do curso de Engenharia de Materiais da UNIVAP.

Professora Orientadora: Dra. Vanesa Cláudia Gisela Mitchell Ferrari

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE COPOLÍMERO EM BLOCO DE ESTIRENO-BUTADIENO (SBS) NO POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO (HIPS) REPROCESSADO

Luciane Soares de Souza, Thábata Ferreira Borges

Universidade do Vale do Paraíba
Avenida Shishima Hifumi 2911, Urbanova, CEP: 12.244-000
São José dos Campos, SP.

luciane.souza04@bol.com.br; thataborges@bol.com.br

RESUMO

A utilização da tecnologia da incorporação de borrachas termoplásticas nos polímeros sempre está ligada com a soma das características individuais de cada componente.

No caso específico da adição do copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) no poliestireno de alto impacto (HIPS) reprocessado, esta relação está mais especificamente relacionada com a implementação das propriedades mecânicas, especialmente as propriedades de impacto em termoplásticos. Contudo, outras propriedades também podem ser avaliadas.

Este trabalho apresenta o estudo da influência nas propriedades mecânicas do poliestireno de alto impacto (HIPS) reprocessado com a adição do copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) nas proporções de 97/3, 95/5 e 90/10.

As propriedades reológicas (índice de fluidez), mecânicas (tração e impacto) e térmicas (ponto de fusão) foram avaliadas.

A composição com maior teor de elastômero mostrou-se mais eficiente na recuperação das propriedades mecânicas, principalmente resistência ao impacto, sem alteração nas propriedades reológicas e térmicas. Este estudo foi importante para aprofundar os conhecimentos sobre as possibilidades de recuperação de termoplásticos reprocessados.

Palavras-chave: Poliestireno de alto impacto (HIPS), copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS), resistência ao impacto.

ABSTRACT

The use of technology of incorporation of rubber thermoplastic in the polymers is always linked with the sum of the individual characteristics of each component.

In the specific case of the addition of block copolymer of styrene-butadiene (SBS) in high impact polystyrene (HIPS) reprocessed, this relationship is more specifically related to the improvement of mechanical properties, especially the properties of rigid thermoplastics impact. However, other properties can also be evaluated.

This process presents the influence on the mechanical properties of high impact polystyrene (HIPS) reprocessed with the addition of block copolymer of styrene-butadiene (SBS) in the proportion of 97/3, 95/5 and 90/10. Rheological properties (flow index), mechanical (tensile and impact) and thermal (melting point) were evaluated.

The composition with higher content of elastomer was more efficient in the recovery of mechanical properties, particularly impact resistance, without changing the rheological and thermal properties. This study was important to deepen knowledge about the possibilities of use about reprocessed thermoplastics.

Keywords: high impact polystyrene (HIPS), block copolymer of styrene-butadiene (SBS), impact resistance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	05
2. OBJETIVO.....	09
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	09
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
5. CONCLUSÃO.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

Devido ao grande número de peças de poliestireno de alto impacto produzidas, principalmente na indústria eletrônica, existe um grande volume desse material descartado. Este material pode ser fonte de matéria prima para a produção de novos produtos, já que é sabido que o poliestireno de alto impacto é usado em larga variedade de produtos.

O interesse no reprocessamento para a substituição da resina virgem pela reciclada traz benefícios de redução de custo e aumento da competitividade, além de auxiliar na preservação ambiental.

Os materiais reciclados podem apresentar alterações em suas propriedades mecânicas devido aos processos de degradação [1]. No poliestireno de alto impacto os processos degradativos provocam uma redução significativa da tenacidade, o que é um fator limitante a sua utilização em aplicações mais nobres e que exijam maior resistência mecânica.

A incorporação de elastômeros em polímeros frágeis é uma prática usual para a otimização das propriedades mecânicas [2]. A adição de borracha termoplástica, como o copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) podem ajudar a melhorar o desempenho de materiais reciclados quanto às propriedades mecânicas.

Blendas poliméricas

O termo blendas poliméricas, ou misturas poliméricas, é utilizado para descrever a mistura física de dois ou mais polímeros, sem que haja reação química intencional entre os componentes, sendo que a interação molecular entre as cadeias é predominantemente do tipo secundária [3]. Para que seja considerada uma mistura polimérica e não uma aditivação com polímero, a concentração mínima dos componentes deve ser superior a 2% em massa. O processo mais utilizado para a produção de blendas é a mistura no estado fundido ou amolecido, utilizando-se uma extrusora ou qualquer outro equipamento com boa eficiência de mistura [4].

Geralmente as propriedades obtidas na mistura são associações entre as propriedades dos polímeros puros, por isso, o desenvolvimento de uma blenda pode atender a diferentes propósitos. As principais propriedades buscadas com o desenvolvimento de blendas poliméricas são: aumento de resistência ao impacto, melhoria de processabilidade. O custo também é um fator geralmente avaliado no desenvolvimento de blendas e a escolha adequada dos componentes da blenda polimérica pode proporcionar uma redução de custo do composto

final e/ou do produto a ser moldado com esse composto [4].

Aspectos tecnológicos sobre a preparação de misturas poliméricas

As misturas poliméricas normalmente são processadas por extrusão. No processo de extrusão, dois ou mais polímeros são misturados pela aplicação de tensões cisalhantes e elongacionais sob alta temperatura (acima da temperatura de fusão), com posterior resfriamento [5].

Embora, seja o método mais tradicional, as características das misturas extrudadas, bem como as propriedades finais da mistura como morfologia e propriedades mecânicas, são fortemente influenciadas pela configuração do equipamento. Também são importantes as condições de processamento durante a fabricação, ou seja, taxas de deformação, ciclos de aquecimento e resfriamento [5].

Basicamente o processo de mistura de dois ou mais polímeros por extrusão, seja em extrusora monorosca ou dupla rosca, consiste em dois efeitos simultâneos: distribuição e dispersão da fase dispersa e coalescência destas partículas [6].

Existem muitos fatores que influenciam a distribuição e a dispersão da fase descontínua em uma matriz polimérica, entre os quais está a razão de viscosidade entre as duas fases, a taxa de cisalhamento aplicada durante o processo de mistura e a tensão interfacial entre as fases [7].

Poliestireno de alto impacto – HIPS

Poliestireno de alto impacto, conhecido popularmente como HIPS (*high impact polystyrene*) é um polímero de estireno contendo butadieno como agente tenacificante, representado na figura 1.

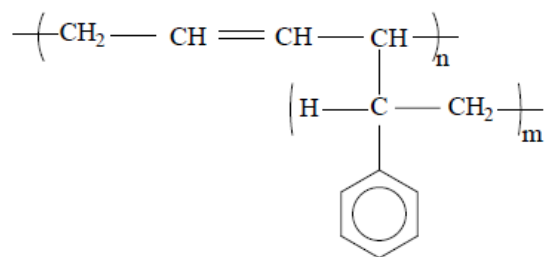


Figura 1 – Fórmula estrutural do poliestireno alto impacto [2].

Normalmente, a fase elastomérica forma uma estrutura do tipo “salame”, conforme figura 2, a qual pode variar em tamanho dependendo das condições de processamento [8]. Em termos de resistência mecânica, verifica-se que o tamanho das partículas da fase de butadieno desempenha um papel importante [9].

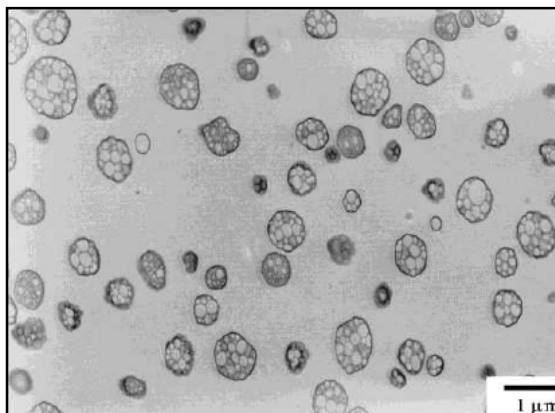


Figura 2 – Estrutura do HIPS – Matriz de PS com partículas de butadieno, formando uma estrutura do tipo “salame” [8].

O teor de butadieno em resinas de HIPS, está limitado a 14% devido à alta viscosidade do meio reacional, sendo o conteúdo de borracha normalmente inferior a 10% [10].

O poliestireno de alto impacto possui uma temperatura de fusão (T_m) de 230 °C e para o processamento de injeção os valores para a temperatura da massa varia entre 210 a 260 °C, enquanto a temperatura do molde varia de 40 a 70 °C [11]. Os valores típicos das propriedades das resinas de HIPS para aplicação na indústria eletrônica estão representados na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades do HIPS Virgem [11].

Propriedade	Norma de Ensaio	Unidade	Resultado
Resistência ao Impacto IZOD	ASTM D-256	J/m	115
Resistência à Tração	ASTM D-638	MPa	24
Módulo de elasticidade em Tração	ASTM D-638	MPa	2000
Índice de Fluidez (200°C/5 kg)	ASTM D-1238	g/10min	7
Resistência à Flexão	ASTM D-790	MPa	45
Densidade	ASTM D-792	g/cm ³	1,04

Elastômeros Termoplásticos (TPEs)

Os elastômeros termoplásticos (TPEs) são copolímeros em blocos, normalmente triblocos, representado na figura 3, e formam uma classe de polímeros que combinam as propriedades da borracha vulcanizada com a processabilidade dos termoplásticos [12,13].

A grande vantagem dos TPEs sobre os elastômeros convencionais é a ausência de ligações químicas cruzadas, o que permite o seu processamento e reciclagem por processos térmicos [12,14].

A fase mais importante da borracha termoplástica é a fase intermediária, que possui uma temperatura de transição vítrea (T_g) bem abaixo da temperatura ambiente. Por outro lado, temos os blocos finais (extremos) que possuem uma temperatura de transição vítrea bem acima da temperatura ambiente. Vários desses blocos finais se unem e se agrupam dentro da estrutura da borracha termoplástica, formando os domínios. Uma necessidade adicional é que esses domínios devem ser termodinamicamente incompatíveis com a fase elastomérica [15]. Baseado nessas características, o polímero consistirá de duas fases, uma fase de borracha contínua (fase elastomérica) e uma fase plástica basicamente descontínua (domínios).

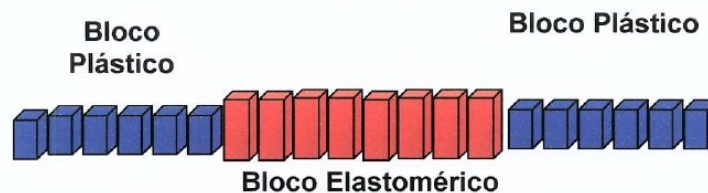


Figura 3 – Representação simplificada de uma molécula de borracha termoplástica [16].

▪ Copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) – Estrutura linear

Os copolímeros em bloco de estireno butadieno (SBS) representados na figura 4, são exemplos de borracha termoplástica, onde B representa o butadieno e S representa o estireno. Com T_g em torno 100°C , os blocos de estireno são responsáveis pelo comportamento termoplástico do copolímero, e os blocos de butadieno, que possuem T_g em torno de -80°C são responsáveis pelo comportamento elastomérico [17]. Os blocos estirênicos formam domínios que ficam dispersos na matriz de butadieno.

Como classe de elastômeros que não requer vulcanização, os SBS podem ser misturados em pequenas quantidades (até 10% em peso) com vários termoplásticos, visando melhorar desempenhos, especialmente as propriedades de impacto em termoplásticos e

permitir misturas de termoplásticos incompatíveis.

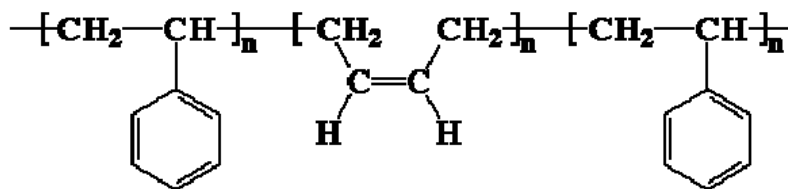


Figura 4 – Representação estrutural da cadeia do SBS [18].

Combinando características como estrutura, peso molecular, teor de estireno, etc., existem hoje no mercado uma extensa lista de elastômeros termoplásticos SBS, direcionados a diversas aplicações, tais como: adesivos, indústria de calçados, peças técnicas, modificação de asfaltos (impermeabilizantes, mantas e pavimentação) e modificadores de impacto em plásticos [19].

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi investigar a influência da adição de copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS) ao poliestireno de alto impacto (HIPS) reciclado. Dentre os objetivos específicos têm-se:

- Obter misturas na proporção de HIPS/SBS (97/3, 95/5 e 90/10 em massa), pelo processo de extrusão.
- Caracterizar e avaliar as propriedades reológicas, mecânicas, térmicas das misturas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentadas em detalhes as especificações dos materiais utilizados neste trabalho. São abordadas primeiramente as informações relativas aos polímeros básicos utilizados na formulação das misturas, ou seja, poliestireno de alto impacto (HIPS) e copolímero em bloco de estireno-butadieno (SBS).

Na sequência, é apresentada a metodologia à fabricação das misturas e a caracterização das misturas produzidas, além das características do processo de injeção dos corpos de prova.

Poliestireno de alto impacto – HIPS

Neste trabalho, foram utilizadas as peças descartadas pela empresa Trauen, onde foram direcionadas a uma empresa terceirizada para o processo de reciclagem. O material em estudo foi submetido a apenas um ciclo de reprocessamento por extrusão. Após o processo, o material retornou a empresa Trauen em forma de *pellets* com propriedades descritas pelo fornecedor, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades do HIPS reciclado.

Propriedade	Norma de Ensaio	Unidade	Resultado
Resistência ao Impacto IZOD	ASTM D-256	J/m	50,27
Resistência à Tração	ASTM D-638	MPa	23,71
Elongação na Ruptura	ASTM D-638	%	1,36
Módulo de elasticidade em Tração	ASTM D-638	MPa	1600
Índice de Fluidez (200°C/5 kg)	ASTM D-1238	g/10min	6,38
Teor de umidade	ASTM D-6980	%	0,10

Copolímero em bloco de estireno-butadieno – SBS

O SBS utilizado foi o Kraton D1102 B (empresa Kraton Polymer). O Kraton D1102 B é um copolímero tribloco linear com base em estireno e butadieno, com características de elastômero termoplástico, conforme tabela 3, o qual pode ser misturado aos termoplásticos para melhorar o desempenho quando submetidos ao impacto (modificador de impacto), tanto a temperatura ambiente quanto em baixas temperaturas.

Tabela 3 – Propriedades do copolímero SBS [20].

Propriedade	Norma de Ensaio	Unidade	Resultado
Estrutura	-	-	Linear
Teor de Poliestireno (% em massa)	KM03	%	29,5
Elongação na Ruptura	ISO 37	%	880
Índice de Fluidez (200°C/5 kg)	ISO 1133	g/10min	6
Dureza	ASTM D-2240	SHORE D	74

Preparação das misturas

A proporção utilizada para a produção das misturas está citada na tabela 4.

Tabela 4 – Proporções entre HIPS/SBS das misturas poliméricas.

Nº. Amostra	HIPS	SBS
Amostra I	97%	3%
Amostra II	95%	5%
Amostra III	90%	10%

As misturas dos *pellets* de HIPS e SBS foram realizadas por misturador tipo betoneira durante 10 min. Após isso, a mistura foi processada na empresa Incorp do Vale (Caçapava-SP), em extrusora monorosca da marca MIOTTO, representada na figura 5 com velocidade de rotação de 60 rpm e 4 zonas de aquecimento. O perfil de temperatura utilizado foi de 210 °C na zona de alimentação (primeira zona) e 230 °C nas demais.

Na matriz da extrusora, foram extrudados 4 filamentos que foram imediatamente resfriados. O resfriamento do extrudado foi realizado por imersão dos filamentos em banho com água circulante à temperatura ambiente (25 °C). Este banho de resfriamento foi realizado em um tanque com 2,5 m de comprimento. Após o resfriamento, os filamentos passaram por um picotador mecânico para a produção de *pellets* com aproximadamente 2 mm de diâmetro e 3 mm comprimento. As condições de processamento das três misturas foram mantidas as mesmas.



Figura 5 – Extrusora monorosca para produção pellets.

Fabricação dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova utilizados para os ensaios de tração e impacto seguiram a norma ASTM D-638 e D-256 [21,22] respectivamente. Os corpos de prova foram preparados por moldagem por injeção obtidos numa injetora marca Battenfeld modelo HM150/750, disponível na empresa Trauen (São José dos Campos - SP), onde a técnica basicamente consiste em forçar através de uma rosca pistão, a entrada do composto fundido para o interior da cavidade de um molde e, formando a peça que após resfriamento é extraída. A figura 6 apresenta a injetora utilizada para a preparação dos corpos de prova.

Os parâmetros para a injeção foram seguidos conforme as condições usuais adotadas pela empresa para composições de mesma natureza. Tais condições estão listadas na tabela 5.

Foram utilizados dez corpos de prova por proporção de material e foram climatizados em ambiente de laboratório a 23 °C, por no mínimo 40 horas antes da realização dos ensaios de caracterização.



Figura 6 – Injetora utilizada para a preparação dos corpos de prova.

Tabela 5 – Condições de injeção dos corpos de prova.

Condições de Injeção		Temperatura da Massa	
Velocidade de Injeção	18 segundos	Zona 1	250 °C
Pressão de Injeção	52 bar	Zona 2	240 °C
Contrapressão	15 bar	Zona 3	230 °C
Pressão de Recalque	50 bar	Zona 4	230 °C
Tempo de Recalque	13 segundos	Zona 5	230 °C
Tempo de Injeção	23 segundos	Bico	200 °C
Tempo de Resfriamento	35 segundos		
Temperatura do Molde	55 °C		

Ensaio de Tração

A resistência à tração é determinada pelo estiramento de uma amostra a uma velocidade constante. Os principais parâmetros que são determinados em um ensaio de tração são: módulo de elasticidade, tensão e deformação no escoamento, tensão máxima, tensão e deformação na ruptura.

O módulo de elasticidade, também chamado módulo de Young está diretamente ligado a rigidez do polímero. A resistência à tração é a máxima tensão sob tração sustentada pelo corpo de prova durante o ensaio. Se a tensão máxima ocorre no ponto de escoamento, a resistência à tração é chamada de resistência à tração no escoamento e quando a tensão máxima ocorre na ruptura, a resistência à tração é chamada de resistência à tração na ruptura.

Os corpos de prova foram ensaiados pela empresa Incorp do Vale (Caçapava-SP), em uma máquina de ensaio universal marca EMIC, modelo DL1000 dotada de uma célula de carga de 5000 N conforme figura 7.



Figura 7 – Máquina de Ensaio Universal.

Os corpos de prova tipo halteres foram moldados por injeção e atendem as dimensões requeridas pela norma ASTM D-638 [21], e estão apresentados na figura 8 e 9. A velocidade do ensaio foi 10 mm/min, obedecendo ao recomendado pela norma de referência que indica que a velocidade deve ser tal que o corpo de prova se rompa num intervalo de meio a cinco minutos de teste.

Do ensaio de tração, foram considerados neste trabalho os seguintes parâmetros mecânicos: resistência à tração, alongação máxima na ruptura e módulo de elasticidade em tração (ou módulo de Young).

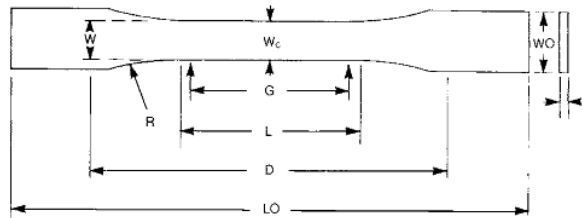


Figura 8 – Corpo de prova para o ensaio de tração.

$W = 13 \text{ mm}$, $L = 57 \text{ mm}$, $WO = 19 \text{ mm}$, $LO = 165 \text{ mm}$, $G = 50 \text{ mm}$, $D = 115 \text{ mm}$ e $R = 76$ [21].



Figura 9 – Corpo de prova para o ensaio de tração.

Resistência ao Impacto IZOD

Os ensaios de impacto IZOD foram realizados na empresa Incorp do Vale (Caçapava-SP), em uma máquina de ensaio marca NZ Philpolymer modelo XJC-25D, conforme apresentado na figura 10, a temperatura ambiente. O objetivo do ensaio de impacto foi medir a resistência de um corpo de prova padrão a uma solicitação mecânica. Os corpos de prova foram entalhados em máquina de entalhe manual, em um ângulo de 45° .

As dimensões dos corpos de prova, incluindo o entalhe, estão de acordo com o recomendado pela norma ASTM D-256 [22] e são demonstradas na figura 11. Os parâmetros estabelecidos para o ensaio foram: pêndulo de 2,7 J e temperatura ambiente (25°C).



Figura 10 – Máquina para Ensaio de Impacto e entalhador manual.

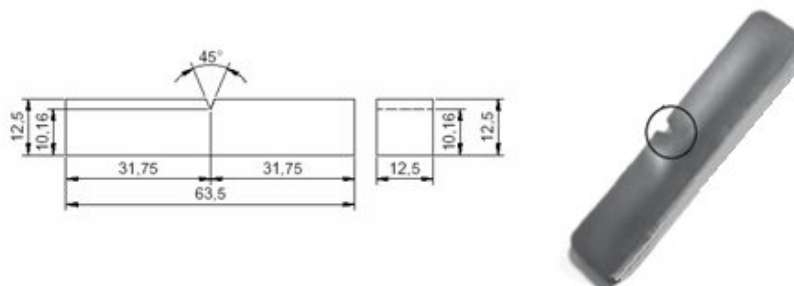


Figura 11 – Dimensões dos corpos de prova para resistência ao impacto IZOD [22].

Índice de Fluidez

No ensaio de índice de fluidez o polímero é forçado a passar por um orifício de dimensões normatizadas, a uma determinada temperatura, onde uma carga também

normatizada tem a função de forçar o polímero a fluir, sendo então determinada a massa por unidade de tempo.

Foram feitas medidas de índice de fluidez (IF) nas misturas formuladas com diferentes proporções. Os ensaios foram feitos em um plastômetro marca NZ Philpolymer, modelo XRL-400C, conforme figura 12, localizado na empresa Trauen (São José dos Campos - SP) de acordo com a norma ASTM D-1238 [23]. As condições para o ensaio foram: massa inicial de 5 g, peso aplicado 5 kg, temperatura de ensaio de 200 °C e tempo de pré-aquecimento 360 seg. O equipamento possui um sistema de medida automatizado, não exigindo cortes manuais.

Os resultados obtidos são a média de cinco ensaios individuais em cada amostra. Para as três proporções foram utilizadas as mesmas condições de teste para que fosse possível a comparação dos resultados obtidos.



Figura 12 – Plastômetro para ensaio de Índice de Fluidez.

Ponto de Fusão

Quando aquecidos, os polímeros podem vir a fundir. No estado líquido, os polímeros podem ser moldados. Na T_m a energia do sistema atinge níveis necessários para vencer as forças intermoleculares das cadeias da fase cristalina, destruindo a estrutura regular do empacotamento, passando o polímero do estado borrachoso para o estado viscoso. A temperatura de fusão cristalina só se aplica a polímeros semicristalinos.

Foram feitos ensaios de medida de ponto de fusão em um equipamento de ponto de fusão a seco marca QUIMIS, modelo Q340S, conforme figura 13, localizado na empresa Incorp do Vale (Caçapava-SP) de acordo com a norma ASTM D-3418 [24]. Os pellets foram colocados em um capilar e submetidos ao aquecimento. Através de uma lente de aumento acoplada ao equipamento foi realizada a leitura da temperatura de fusão no termômetro.

Os resultados obtidos são a média de cinco ensaios individuais em cada amostra. Para as três proporções foram utilizadas as mesmas condições de teste para que fosse possível a comparação dos resultados obtidos.

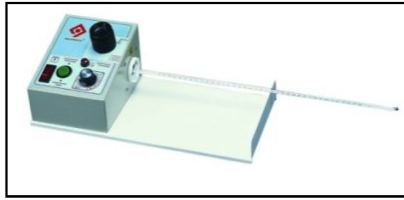


Figura 13 – Medidor de Ponto de Fusão a seco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparação do HIPS virgem e reciclado

A avaliação dos ensaios do HIPS reciclado, submetido a um ciclo de reprocessamento e sem adição de copolímero SBS é susceptível a uma acentuada degradação, que se verifica pela baixa resistência ao impacto quando comparados aos valores típicos destas propriedades no HIPS virgem, 115 J/m. [11].

A figura 14 ilustra a queda do valor da resistência ao impacto IZOD do HIPS reciclado utilizado nesse trabalho, quando comparado ao valor típico médio de resistência ao impacto de referências de HIPS, indicados para uso na indústria eletrônica.

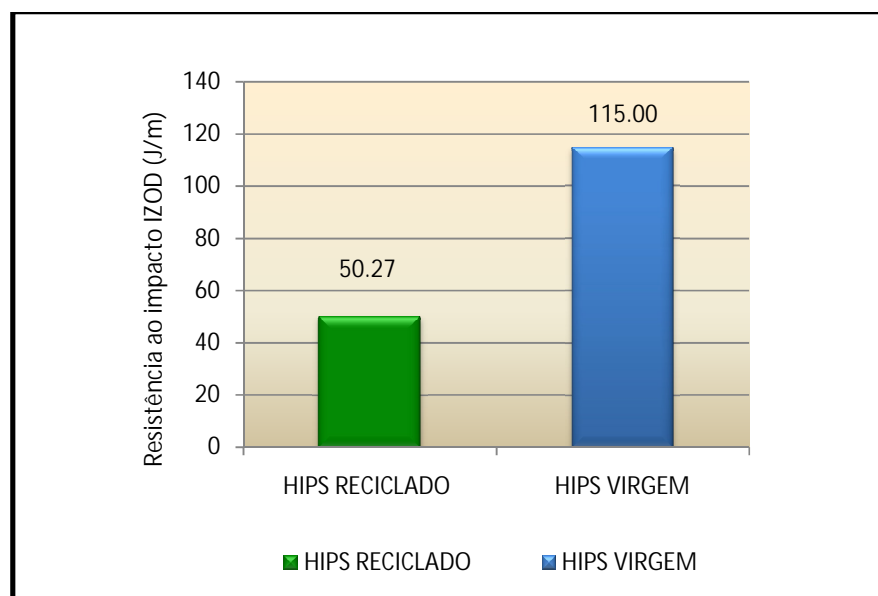


Figura 14 – Valores de resistência ao impacto IZOD típica de HIPS virgem e do HIPS reciclado.

Resistência ao Impacto IZOD

Na tabela 6 estão listados os resultados encontrados de resistência ao impacto IZOD. Todas as proporções testadas apresentaram fratura completa, definida pela norma ASTM D-256.

Tabela 6 – Resistência ao impacto IZOD.

Identificação	Proporção HIPS reciclado/SBS (% massa)	Resistência ao Impacto (J/m)
Amostra I	97/3	56,26 ± 2,91
Amostra II	95/5	66,15 ± 2,77
Amostra III	90/10	79,91 ± 1,90

A resistência ao impacto representa a tenacidade ou a resistência de um material rígido a deformação numa velocidade muito alta. O comportamento de polímeros tenacificados com elastômeros está relacionado com a sua morfologia e a concentração do elastômero [25].

A figura 15 mostra que o aumento do teor de SBS nas misturas com HIPS, promoveu o aumento da resistência ao impacto dos materiais.

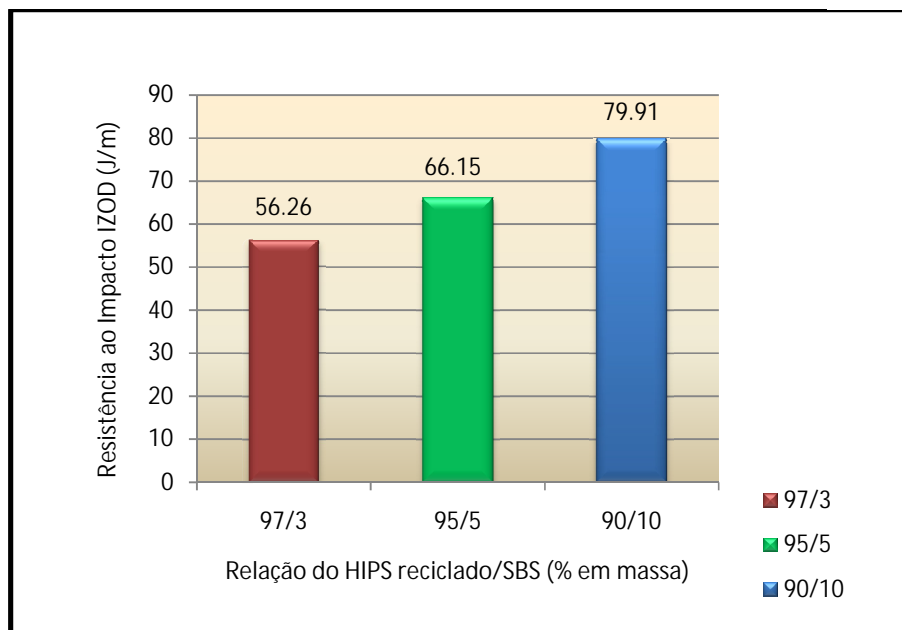


Figura 15 – Variação da resistência ao impacto IZOD das misturas HIPS reciclado/SBS.

Comparados ao valor típico médio de resistência ao impacto do HIPS, indicado ao uso na indústria eletrônica [11], a adição de 10% de SBS, promoveu a melhoria da resistência ao impacto do HIPS reciclado para valores de 67% da resistência ao impacto do HIPS virgem com o uso de SBS linear.

Ensaio de Tração

Na tabela 7 estão listados os resultados de resistência à tração, alongação máxima na ruptura e módulo de elasticidade em tração dos ensaios das amostras testadas.

Tabela 7 – Propriedades de tração.

Identificação	Proporção HIPS reciclado/SBS (% massa)	Resistência a Tração (MPa)	Módulo de elasticidade em tração (MPa)	Elongação máxima na ruptura (%)
Amostra I	97/3	23,44 ± 0,38	1564 ± 86	2,16 ± 0,57
Amostra II	95/5	21,78 ± 0,87	1491 ± 44	10,24 ± 0,77
Amostra III	90/10	20,05 ± 0,96	1362 ± 41	14,72 ± 1,06

Resistência à Tração

Como pode ser verificada na figura 16, a adição de SBS não afetou significativamente à resistência a tração das misturas.

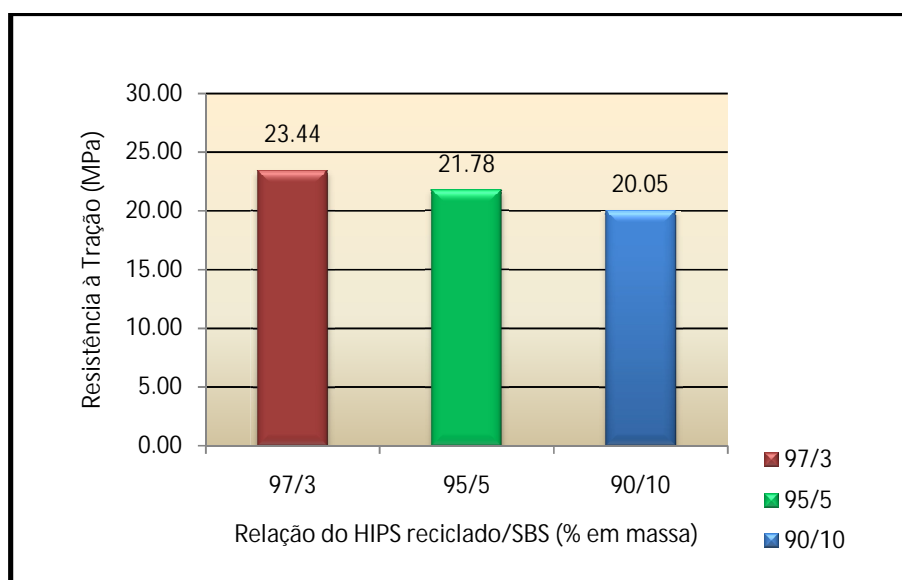


Figura 16 – Variação da resistência à tração das misturas HIPS reciclado/SBS.

O elevado teor de elastômero na mistura diminui a interação das fases de HIPS/SBS, o que pode enfraquecer a interface do sistema e dificultar a transferência de tensões entre as fases, diminuindo a resistência das misturas [18].

Módulo de Elasticidade

A figura 17 mostra os valores do módulo de elasticidade em tração das amostras estudadas em função da adição de SBS.

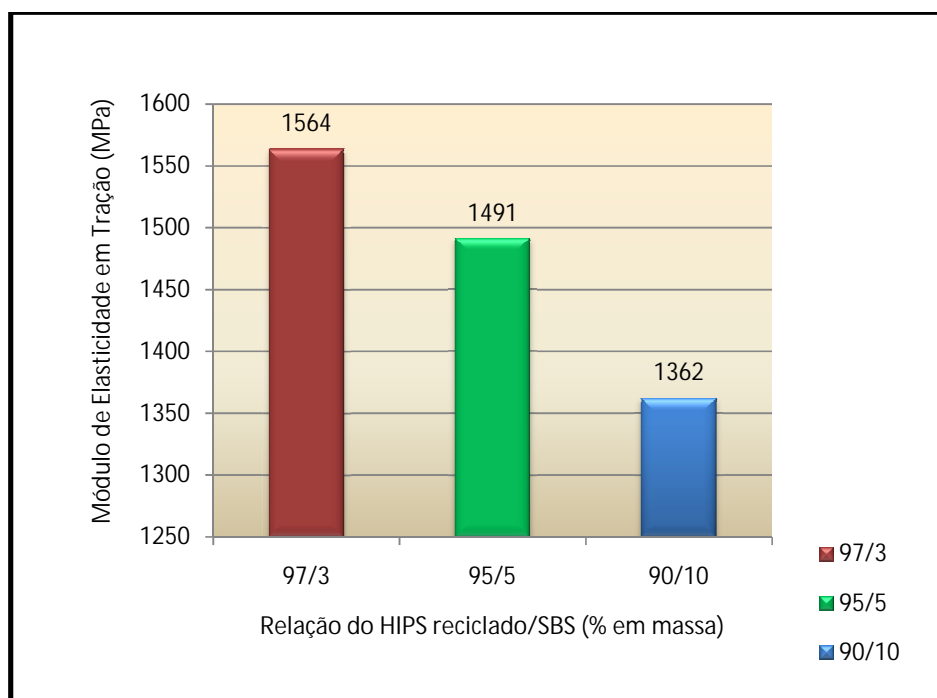


Figura 17 – Variação do módulo de elasticidade das misturas HIPS reciclado/SBS.

Comparando-se ao HIPS reciclado, na composição com 3% SBS, não se notou uma variação significativa de módulo. Já na composição com 10%, ocorreu uma queda de 15% desta propriedade.

Os módulos elásticos das misturas dependem dos valores dos módulos dos componentes. Como os elastômeros SBS possuem baixo módulo, e a temperatura ambiente encontram-se no estado borrachoso, à medida que se aumenta o teor de elastômero na mistura, diminui-se o módulo elástico [18].

Elongação na ruptura

A adição dos copolímeros SBS, provocou o aumento da elongação na ruptura em todas as misturas testadas. Conforme demonstrado na figura 18, exceto na mistura HIPS reciclado com 3%, onde houve um pequeno aumento na elongação, em todas as outras amostras obteve-se um aumento significativo da elongação da ruptura.

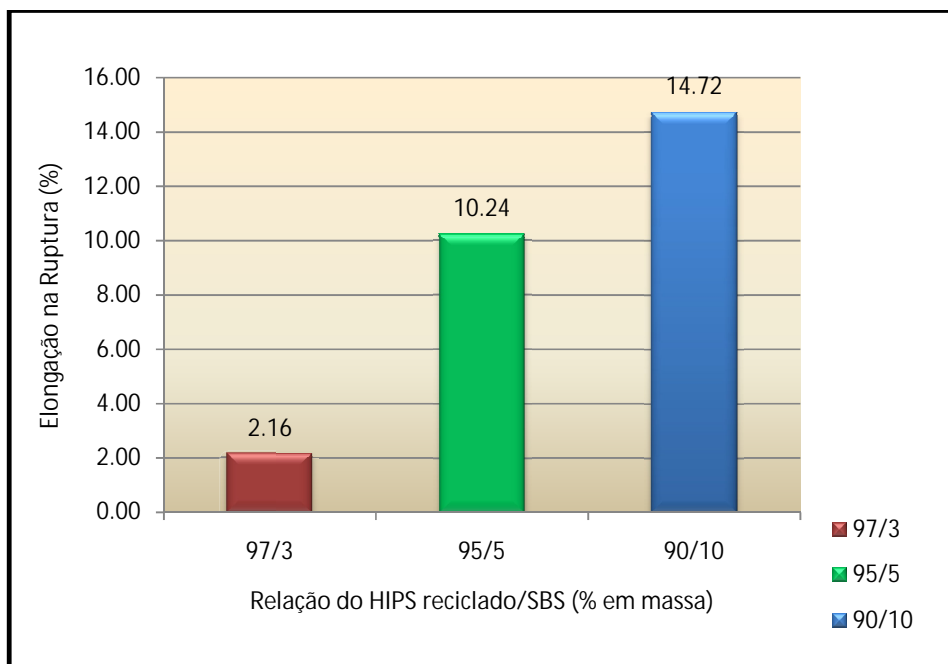


Figura 18 – Variação da elongação na ruptura das misturas HIPS reciclado/SBS.

A elongação de cada mistura é dependente do teor e do tamanho das partículas de borracha. A elongação na ruptura dos copolímeros SBS é da ordem de 800%, o que explicaria o aumento da elongação na ruptura com o aumento do teor de copolímero na mistura [18].

Índice de Fluidez

Na tabela 8 estão listados os resultados encontrados de índice de fluidez para as composições de poliestireno alto impacto reciclado com a borracha SBS, conforme Norma ASTM D-1238.

Tabela 8 – Índice de Fluidez.

Identificação	Proporção HIPS reciclado/SBS (% massa)	Índice de Fluidez (g/10min)
Amostra I	97/3	6,54 ± 0,17
Amostra II	95/5	6,73 ± 0,13
Amostra III	90/10	8,06 ± 0,12

Como pode ser verificado na figura 19, observou-se um aumento do índice de fluidez com o aumento do teor de SBS.

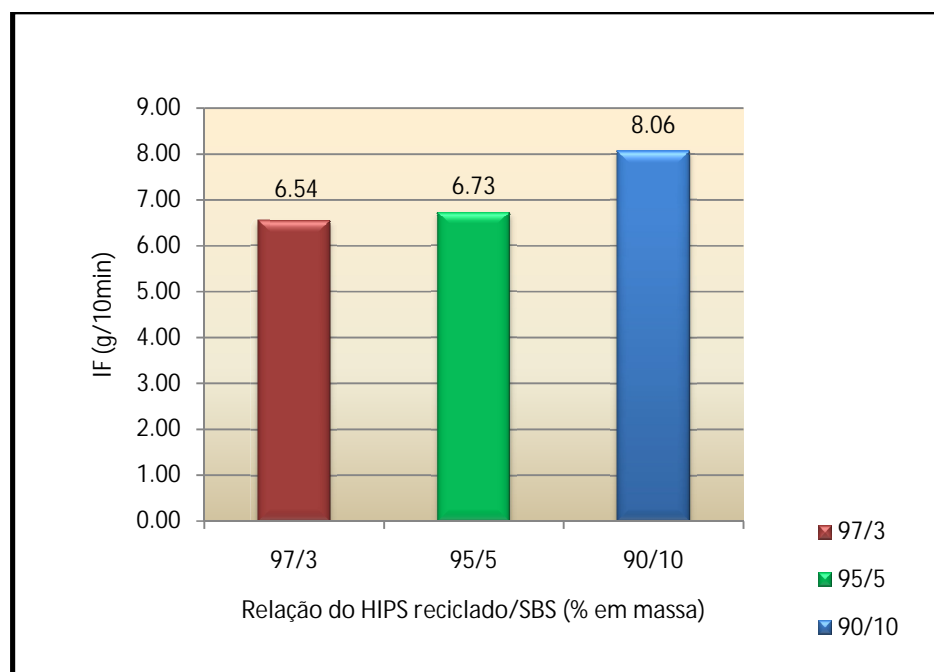


Figura 19 – Variação do índice de fluidez (IF) das misturas HIPS reciclado/SBS.

O incremento do índice de fluidez com o aumento do teor de SBS nas composições com HIPS reciclado, possivelmente esta relacionado à quebra das cadeias do copolímero durante o processamento, passando os fragmentos de cadeia com menor massa molecular a agirem como auxiliares de fluxo, aumentando a fluidez das composições [2].

Ponto de Fusão

Na tabela 9 estão listados os resultados encontrados de ponto de fusão para as composições de poliestireno alto impacto reciclado com copolímero estireno-butadieno SBS.

Tabela 9 – Ponto de Fusão.

Identificação	Proporção HIPS reciclado/SBS (% massa)	Ponto de Fusão (°C)
Amostra I	97/3	231
Amostra II	95/5	232
Amostra III	90/10	232

De acordo com os resultados térmicos, conforme figura 20, pode-se concluir que não houve diferenças nos valores de ponto de fusão. Isto permite que o material reprocessado com proporções de SBS opere em temperaturas de aplicações similares ao material virgem [11].

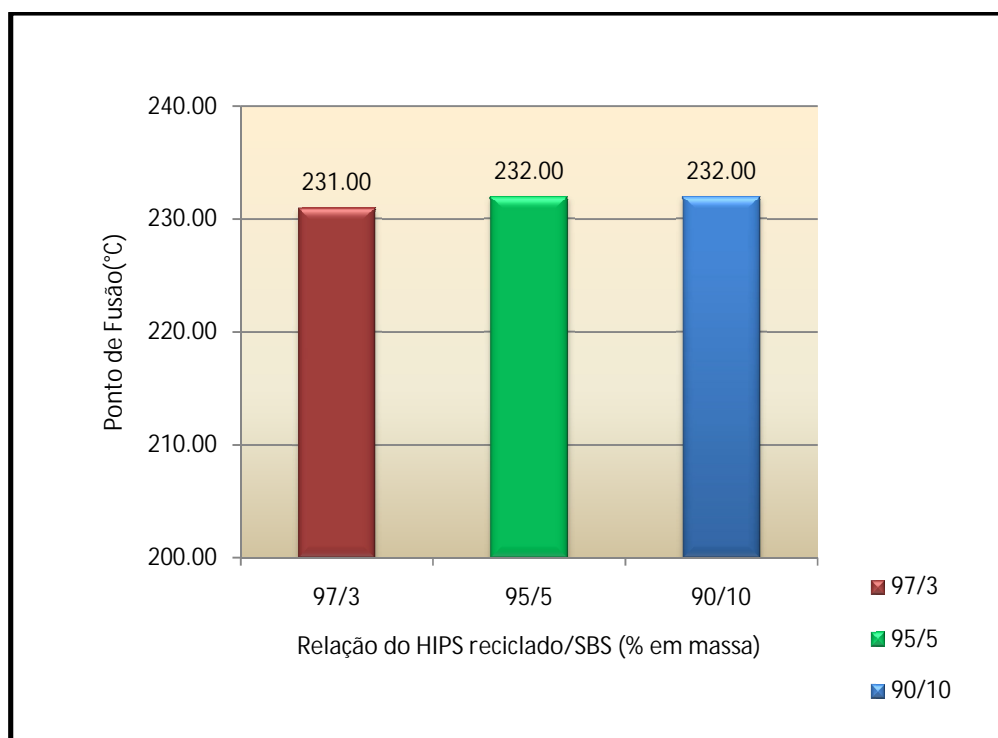


Figura 20 – Variação do ponto de fusão das misturas HIPS reciclado/SBS.

5. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados permitiram avaliar a modificação das propriedades do HIPS reciclado, submetido a um ciclo de reprocessamento com a adição do copolímero em bloco (SBS) linear. A adição de copolímeros de SBS comprovou ser uma boa opção de recuperação de propriedades mecânicas de HIPS reprocessado.

A maior recuperação de propriedades foi verificada com a adição de 10% em massa do elastômero termoplástico, e neste teor, verificou-se o aumento da resistência ao impacto do HIPS reciclado de 50,27 J/m para 79,91 J/m, resultando em 67% de recuperação da resistência ao impacto quando comparado ao HIPS virgem, recomendado para o uso na indústria eletrônica.

Os ensaios de tração indicaram uma diminuição na rigidez das amostras, com o aumento do teor de elastômero SBS.

Os ensaios de índice de fluidez e ponto de fusão não apresentaram significativas alterações, permitindo que o material reprocessado com proporções de SBS opere com os parâmetros de processo similares ao material virgem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. VILAPLANA F; RIBES-GREUS, A.; KARLSSON, S. Degradation of recycled high-impact polystyrene. Simulation by reprocessing and thermo-oxidation. **Polymer degradation and stability**, v. 91, p. 2163-2170, 2006.
- [2]. FERREIRA, Vanda R. **Estudo da recuperação das propriedades mecânicas de poliestireno alto impacto reciclado através da incorporação de borracha termoplástica tipo estireno- butadieno-estireno**. Nova Hamburgo: 2008 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Feevale, Nova Hamburgo, 2008.
- [3]. CANEVAROLO Jr, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 1. Ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2002, 183p.
- [4]. NUNES, Luciano R. **Tecnologia do PVC**. 2. Ed. São Paulo: Pró Editores, 2006, p. 448.
- [5]. BIER, Felipe M. **Compatibilização, Propriedades e Processamento por Rodomoldagem**. Porto Alegre: 2010 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre, 2010.
- [6]. GHELUWE, P. V., FAVIS, B. D., CHALIFOUX, J.P., Morphological and mechanical properties of extruded polypropylene / nylon-6 blends. **Journal of Materials Science**, v. 23, p. 3910-3920, 1998.
- [7]. UTRACKI, L. A., **Polymer Blends Handbook**. 1st. Ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8]. ROVERE, J., CORREA, C, A., GRASSI, V. G., DAL PIZZOL, M. F., Role of the rubber particle and polibutadiene cis content on the toughness of high impact polystyrene. **Journal of Materials Science**, v. 43, p. 952-959, 2008.
- [9]. CHOI, J. H., AHN, K. H., KIM, S. Y., Effects of the degree of graft on the tensile and dynamic behavior of high impact polystyrene. **Polymer**, v. 41, p. 5229-5235, 2000.

- [10]. LOVELL, Peter A. **Rubber Toughened plastics: strategies for their preparation e evaluation.** Disponível em: <http://academic.sun.ac.za/unes:co/PolymerED2001/Contributions/LecUNESCO/Lovell.pdf>, consultado em 10 de outubro de 2011.
- [11]. Boletim técnico. Disponível em: <http://www.innova.ind.br>; Consultado em: 10 de novembro de 2011.
- [12]. ASALETA, R., Kumaran, M. G., Thomas, S., **Thermoplastic Elastomers from blends of polystyrene and natural rubber: Morphology and mechanical Properties**, European Polymer Journal, v. 35, p. 253-271, 1999.
- [13]. JOSEPH, S., Oommen, Z., Thomas, S., **Melt Elasticity and Extrudate Characteristics of Polystyrene/Polybutadiene Blends**, Materials letters, v.53, p.268-276, 2002.
- [14]. WANG, T., Huang, F., **Preparation and characterization of Novel Thermoplastic Elastomers by Step / Chain Transformation Polymerization**, Polymer, v.41, p.5219-5228, 2000.
- [15]. KRATON Polymers, Catálogo técnico Polímeros. **Kraton**, p.1-10, 2004.
- [16]. SATAS, DONATAS, Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, Second edition, **VNR publishers**, c. 13, p. 316-373, c. 20, p. 528-544, 1989.
- [17]. SILVA, Patrica A. **Nanocompósitos de borracha termoplástica do tipo poli (estireno-b-butadieno-b-estireno)-SBS e poli (estireno-butadieno) SBR.** Porto Alegre: 2007. 97p. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- [18]. VERONESE, Vinicius B. **Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de poliestireno (PS) e copolímeros em bloco de estireno-butadieno-estireno (SBS).** Porto Alegre: 2003 80p. Tese (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

- [19]. FERNANDES, Monica. R. S.; FORTE, Maria. M. C.; LEITE, Leni. F. M. **Caracterização de asfaltos modificados com SBS**. In: 12º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2007, Manaus, Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set1606.pdf>, Consultado em: 10 de outubro de 2011.
- [20]. Boletim técnico. Disponível em: <http://www.kraton.com.br>; Consultado em: 10 de novembro de 2011.
- [21]. ASTM D 638 – **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics**, American Standard for Testing and Materials, EUA, 2003, 12p.
- [22]. ASTM D 256 – **Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**, American Standard for Testing and Materials, EUA, 2003, 20p.
- [23]. ASTM D 1238 – **Standard Test method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer**, American Standard for Testing and Materials, EUA, 2001, 10p.
- [24]. ASTM D 3418 – **Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry**, American Standard for Testing and Materials, EUA, 2003, 07p.
- [25]. RABELO, Marcelo S. **Aditivação de Polímeros**. 1.ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2000, 242p.