EFEITO DO AGENTE DE COMPATIBILIZAÇÃO SBS E DE PARTÍCULAS DE $CaCO_3$ NO DESEMPENHO MECÂNICO DE BLENDAS EPSr/ EPDM

Letícia B. Santos[1], Larissa O. Silva[1], Francis O. Menezes[1], Zora Ionara G. Santos[1]

[1]Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil (leticiaab001@gmail.com)

Resumo: Nesse trabalho, foram desenvolvidas blendas de poliestireno expandido reciclado (EPSr) com o copolímero de etileno-propileno-dieno EPDM - (EPSr/EPDM), contendo copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) como agente compatibilizante e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) como carga. Desta forma o objetivo principal foi avaliar a influência desses aditivos nas propriedades mecânicas e morfológicas desta blenda. As blendas foram processadas pelo processo de extrusão e os corpos de prova moldadas por injeção. Os resultados mostraram aumento da resistência ao impacto e melhor interação entre as fases na presença de SBS. As blendas EPSr/SBS/EPDM com $CaCO_3$ apresentam potencial para reciclagem de resíduos poliméricos e novas aplicações.

Palavras-chave: EPS reciclado; EPDM; SBS; blenda; carbonato de cálcio.

INTRODUÇÃO

Os polímeros são materiais utilizados nos mais variados setores da economia mundial devido à sua versatilidade, baixa massa específica, propriedades físicas e químicas, e por isso vem substituindo cada vez mais os materiais clássicos como vidros, cerâmicas e metais (Lu, 2023; Oladele *et al*., 2025; Palaoro, 2015).

A produção e o consumo de plásticos têm aumentado significativamente devido à sua versatilidade e durabilidade. Contudo, as baixas taxas de reciclagem e o descarte inadequado desses materiais têm gerado sérios impactos ambientais. Embora a reciclagem apresente potencial para gerar produtos de maior valor agregado, os métodos convencionais ainda possuem limitações relacionadas à sustentabilidade. Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis para o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos poliméricos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a promoção da economia circular (Alabi-Babalola, 2026; Martínez-Narro *et al.* 2024; Gabriel, 2016; Palaoro, 2015).

A crescente necessidade por inovações tecnológicas, pela redução de custos e dos impactos ambientais induziram ao desenvolvimento de misturas e modificações dos polímeros já existentes (Alabi-Babalola, 2026; Sharma *et al*., 2025). Uma maneira de modificar as propriedades dos materiais poliméricos é através da mistura física entre dois ou mais polímeros, constituindo assim, as blendas poliméricas. Essa mistura possibilita a obtenção de novos materiais com propriedades e características superiores às dos polímeros puros e, além disso, permite que os resíduos poliméricos que seriam descartados no meio ambiente sejam reaproveitados. Outras vantagens para a produção das blendas são a melhoria da processabilidade e de propriedades mecânicas, térmicas e/ou químicas, redução de custos e a tenacificação de polímeros frágeis (Luna *et al*., 2014, 2015a; Formela *et al.*, 2022; Ivancic e Audus, 2024).

A reciclagem dos resíduos poliméricos e a sua aplicação na cadeia produtiva compreende outra alternativa para a minimização dos impactos gerados ao meio ambiente. Além de reduzir o descarte inadequado dos rejeitos, a reciclagem ocasiona a redução de custos diretos e indiretos, em termos de energia, combustível e recursos naturais, como também da emissão de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera, contribuindo assim para a sustentabilidade (Borsoi, 2012; Grote e Silveira, 2015).

Atualmente, o reaproveitamento de termoplásticos, termofixos ou elastômeros tem sido amplamente estudado por meio da mistura destes resíduos, reciclados ou não, com polímeros virgens, cargas e aditivos, visando assim, a obtenção de blendas com

características úteis para diversas aplicações (Formela, 2024; Formela *et al.*, 2022).

O poliestireno (PS) é um polímero termoplástico, fusível, solúvel e reciclável. Devido as suas diversas características, constitui um dos polímeros mais utilizados nas indústrias de transformação. O PS possui uma boa processabilidade, baixo custo, boa estabilidade dimensional, alto módulo de elasticidade, excelentes propriedades elétricas e entre outras características que permitem a sua ampla utilização. Porém, apresenta propriedades mecânicas como ductilidade e resistência ao impacto limitadas. Assim, para contornar essa limitação, a incorporação de elastômeros como modificadores de impacto tem sido a principal técnica utilizada para tenacificação do poliestireno (Silva *et al.*, 2014).

Os elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPV) consistem um tipo de elastômeros termoplásticos (TPE) nos quais as partículas do elastômero são vulcanizadas dinamicamente e dispersas em um termoplástico fundido. Desta forma, os TPV's apresentam propriedades similares às borrachas vulcanizadas convencionais e a facilidade de processamento dos termoplásticos (Herrera, 2012; Kaesaman *et al*., 2023; Li *et al.*, 2025). O copolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM) é um elastômero termoplástico que possui características desejáveis em diversas aplicações, tais como: elevada elasticidade e flexibilidade, baixo custo, excelentes propriedades de resistência ao ozônio, aos raios ultravioletas, ao envelhecimento, ao oxigênio, ao calor e a intempéries, apresenta uma elevada capacidade de incorporar cargas e aditivos, e entre outras (Bhattacharya *et a*l., 2022; Ma *et al*., 2023).

A grande parte das blendas PS/elastômeros é imiscível, formando um sistema heterogêneo de duas ou mais fases. A incompatibilidade entre os constituintes da mistura polimérica é responsável por propriedades mecânicas inadequadas, resultante da alta tensão interfacial e baixa adesão entre as fases. Para contornar esse problema, agentes compatibilizantes podem ser adicionados à mistura para melhorar a interação entre as fases imiscíveis, ocasionando a redução da tensão superficial e favorecendo a adesão entre os polímeros. Desta forma, através da escolha correta do compatibilizante, é possível obter blendas utilizando resíduos poliméricos com boa dispersão e propriedades mecânicas superiores (Cai *et al.*, 2022; Formela, 2024; Luna *et al.,* 2018; Meng *et al.*, 2023).

MATERIAL E MÉTODOS

Reciclagem do Poliestireno Expandido (EPS)

Inicialmente foi feita a coleta do EPS (isopor) proveniente de produtos descartados como resíduos, tais como embalagens para alimentos, peças para proteção de eletrodomésticos, móveis e entre outros. Posteriormente, foram removidos adesivos, colas e demais "sujeiras" dos resíduos de EPS. Em seguida, o EPS pós-consumo foi quebrado manualmente em partes menores e submetido ao processo de compactação, que consiste na retirada do ar do polímero, visando o aumento da densidade aparente e possibilitando assim, a sua extrusão. Esta etapa de compactação foi realizada em uma estufa com circulação e renovação de ar da marca Sterilifer, onde o material foi aquecido a uma temperatura de 170°C, temperatura suficiente para o EPS fluir sem degradar. Em seguida, o material foi triturado em flocos pequenos através de um moinho de facas da marca Primotécnica e modelo P 1001. Após a moagem, o EPS triturado foi submetido à secagem em estufa por 4h a uma temperatura de 100°C. Por fim, esse material, na forma de grânulos grosseiros, foi processado por extrusão, para preparação das composições, e injeção para confecção dos corpos de prova.

Preparação da Composições

Inicialmente os materiais foram pesados separadamente, seguida de uma mistura por tamboreamento para que em seguida fossem alimentados no funil principal de uma extrusora monorosca da marca Wortex, modelo MEX 30 e L/D=34, operando com velocidade de rotação da rosca de 60 RPM. Em seguida, as misturas extrudadas foram resfriadas à temperatura ambiente e cortadas na forma de pellets. Após a extrusão, o material passou para o processo de secagem em estufa convencional por 3h a uma temperatura de 100°C.

Vale destacar que no momento da preparação das composições, primeiramente preparou-se blendas binárias EPSr/EPDM, com o objetivo de avaliar o efeito da adição do EPDM nas propriedades do EPS reciclado puro. Posteriormente, preparou-se blendas ternárias EPSr/EPDM/SBS, com e sem adição de carbonato de cálcio, visando avaliar o efeito do SBS como agente compatibilizante e do $CaCO_3$ como carga. Foram preparados também misturas de EPSr com $CaCO_3$, com e sem agente compatibilizante, visando avaliar as propriedades do polímero sem adição do elastômero. A Tabela 1 apresenta as formulações utilizadas para produção dos corpos de provas e as suas respectivas codificações.

Tabela 1. Formulação das Amostras.

Amostras	Composição (%)			
	EPSr *	EPDM	SBS **	$CaCo_3$ ***
EPSr	100	0	0	0
EPSr/EPDM	80	20	0	0

(80/20)				
EPSr/EPDM (70/30)	70	30	0	0
EPSr/EPDM/SBS (80/20)	70	20	10	0
EPSr/EPDM/SBS (70/30)	60	30	10	0
EPSr/EPDM/SBS/$CaCO_3$ (80/20)	60	20	10	10
EPSr/EPDM/SBS/$CaCO_3$ (70/30)	50	30	10	10
EPSr/$CaCO_3$ (90/10)	90	0	0	10
EPSr/SBS/$CaCO_3$ (90/10)	80	0	10	10

* EPSr refere-se ao poliestireno expandido reciclado.
** 10% do teor de EPDM na blenda.
*** 10% de $CaCo_3$ refere-se a massa total das misturas.

Caracterização Mecânica - Ensaio de Impacto Izod

Os corpos de provas utilizados para a caracterização das misturas foram obtidos pelo processo de injeção, de acordo com a norma ISO 294-1. Foi utilizada uma injetora da marca Battenfeld e modelo HM 45/210.

O ensaio de impacto Izod foi realizado utilizando uma máquina da marca Instron, modelo CAST 9050 com martelo 2,7J. Para avaliação da resistência ao impacto, foram utilizados 7 corpos de provas entalhados com 2 mm de profundidade e com um ângulo de 45°, de acordo com a norma ASTM D256.

Caracterização Morfológica - Microscopia Eletronica de Varredura (MEV)

A caracterização morfológica das amostras foi realizada utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca Jeol e modelo JSM 6510LV, sob alto vácuo e voltagem de 20 kV. As análises foram realizadas na superfície de fratura dos corpos de provas após o ensaio de impacto, onde as superfícies fraturadas foram previamente recobertas com carbono.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incorporação de elastômeros em uma matriz rígida consiste em uma das técnicas mais frequentemente utilizadas para tenacificação de polímeros frágeis. Assim, para avaliar a eficiência da borracha etileno-propileno-dieno (EPDM) como tenacificador do poliestireno expandido reciclado (EPSr); do copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) como agente compatibilizante e do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) como carga mineral não reforçante, foram realizadas caracterizações morfológicas e mecânicas das misturas binárias e ternárias cujos resultados estão descritos a seguir.

Caracterização Mecânica

A resistência ao impacto pode ser definida como a capacidade de um determinado material em absorver energia mecânica. Para o aumento da resistência ao impacto de polímeros frágeis através da incorporação de elastômeros, alguns fatores são considerados essenciais no desempenho mecânico das misturas, tais como fração volumétrica, tamanho da partícula da borracha e adesão entre a matriz e a fase dispersa reforçante (Luna *et al.*, 2014; Formela, 2024; Formela *et al*., 2022; Ivancic e Audus, 2024).

A Tabela 2 apresenta os valores médios e respectivos desvios de resistência ao impacto do EPS reciclado puro, das misturas binárias EPSr/EPDM e das misturas ternárias EPSr/EPDM/SBS.

Tabela 2. Resistência ao impacto do EPS puro e suas blendas.

Amostras	EPDM (%)	SBS (%)	Resistência ao Impacto (kJ/m^2)
EPSr	0	0	4,88 ± 0,01
EPSr/EPDM (80/20)	80	0	5,19 ± 0,4
EPSr/EPDM (70/30)	70	0	4,89 ± 0,03
EPSr/EPDM/SBS (80/20)	80	10	5,75 ± 0,3
EPSr/EPDM/SBS (70/30)	70	10	6,62 ± 0,7

Conforme a Tabela 2, observa-se que o EPS reciclado puro apresentou o menor valor de resistência ao impacto (4,88 kJ/m^2), o que já era esperado, visto que o PS é caracterizado como um polímero rígido e frágil. Este comportamento frágil do EPS pode ser atribuído ao ancoramento da cadeia polimérica, que devido a presença de grupos laterais volumosos tendem a aumentar a rigidez e consequentemente, dificulta a dissipação da energia sob impacto (Barreto *et al*., 2015; Bezerra *et al*., 2016; Luna *et al.*, 2016; Cai *et al*., 2022; Luna *et al.*, 2018).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, percebe-se um discreto aumento na resistência ao impacto para as blendas binárias EPSr/EPDM quando comparadas com o EPS reciclado puro.

Provavelmente, não ocorreu um aumento significativo visto que, geralmente, a mistura poliestireno com este elastômero é imiscível. É possível observar que a composição com 20% de EPDM apresentou um pequeno aumento em torno de 6% e para a blenda com 30% de EPDM o aumento foi insignificante, indicando assim uma baixa adesão interfacial e incompatibilidade entre as fases poliméricas. Porém, vale destacar que as misturas com EPDM não apresentaram total incompatibilidade, visto que não houve redução nos valores de resistência ao impacto das blendas (Bezerra *et al*., 2016; Luna *et al*., 2015b, 2016; Rodrigues *et al.*, 2024).

As blendas desenvolvidas com o agente compatibilizante SBS apresentaram maior resistência ao impacto do que as blendas não compatibilizadas, o que já era previsto. Conforme a Tabela 2, a adição de 10% de SBS nas misturas binárias provocou um aumento na resistência ao impacto de aproximadamente 18% para as blendas com 20% de EPDM e de 36% para as blendas com 30% de EPDM, quando comparadas com o EPS reciclado puro. O valor de impacto da blenda EPSr/EPDM (70/30) significativamente maior que o da EPSr/EPDM (80/20) pode estar relacionado com o maior teor do elastômero e devido à presença do agente compatibilizante que proporcionou uma melhor interação entre os polímeros.

A incorporação de um material tenaz e flexível, como o EPDM e o SBS, provoca um aumento na tenacidade das misturas, e consequentemente, na resistência ao impacto. Isso ocorre devido à capacidade das partículas de borracha em alterar a propagação de tricas, absorvendo a energia de impacto e dissipando parte desta sob a forma de calor. O restante da energia é dissipada sob a forma de microfissuras na interface da matriz, as quais irão propagar-se até encontrar uma nova partícula de borracha, onde a energia será novamente dissipada e o processo repetido até ocorrer a fratura do material. Além disso, pode-se dizer que o SBS aumentou a compatibilidade das blendas EPSr/EPDM, promovendo a diminuição da tensão interfacial e melhorando a adesão entre as fases (Luna *et al*., 2015a; Ma *et al*., 2023).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de impacto para o EPS reciclado, para as blendas binárias e ternárias com adição de carbonato de cálcio.

Tabela 3. Resistência ao impacto do EPS puro e das misturas contendo carbonato de cálcio.

Amostras	EPDM (%)	SBS (%)	$CaCo_3$ (%)	Resistência ao Impacto (kJ/m^2)
EPSr	0	0	0	4,88 ± 0,01
EPSr/$CaCo_3$	0	0	10	4,28 ± 0,01
EPSr/SBS/$CaCo_3$	0	10	10	4,28 ± 0,007
EPSr/EPDM/SBS/$CaCo_3$ (80/20)	20	10	10	5,64 ± 0,3
EPSr/EPDM/SBS/$CaCo_3$ (70/30)	30	10	10	6,40 ± 0,3

Ao comparar os valores da mistura EPSr/$CaCO_3$ e EPSr/SBS/$CaCO_3$ fica evidente que praticamente não houve variação no comportamento de resistência ao impacto e que a presença do SBS não influenciou nesta propriedade, mostrando que não existe interação entre o $CaCO_3$ e o SBS. Porém, verificou-se que ocorreu uma redução na resistência ao impacto das misturas quando comparadas com o EPS reciclado puro, o que já esperado devido a diminuição da mobilidade das cadeias poliméricas com a presença da carga.

Ao analisar a influência da adição do $CaCO_3$ nas blendas EPSr/EPDM/SBS é possível observar na Tabela 3 que os resultados das blendas com as composições de 20 e 30% de EPDM, ambas compatibilizadas, apresentaram uma pequena redução na resistência ao impacto ao incorporar o carbonato de cálcio, quando comparadas com os valores dessas blendas apresentados na Tabela 2. Esse comportamento já era esperado, visto que o carbonato de cálcio é considerado uma carga particulada não reforçante e que são incorporadas aos polímeros em quantidades suficientes para diminuir custos, melhorar a estabilidade dimensional e a resistência mecânica sob tração, flexão ou compressão. Porém, a adição de cargas particuladas diminui a mobilidade das cadeias poliméricas, introduzindo regiões de baixa adesão interfacial e concentração de tensão na mistura, provocando assim, a diminuição da absorção da energia de impacto (Poletto, 2009).

Vale destacar que a redução da resistência ao impacto foi relativamente pequena, correspondendo a apenas 1,9% para as blendas contendo 20% de EPDM e 3,3% para aquelas com 30% de EPDM. Dessa forma, deve-se considerar que a blenda estudada utiliza como matriz um polímero reciclado e que a incorporação de 10% de carbonato de cálcio contribui não apenas para a redução dos custos de matéria-prima, mas também para a melhoria da estabilidade térmica das misturas. E com isso, pode-

se dizer que a produção de blendas EPSr/EPDM/SBS com $CaCO_3$ é uma alternativa econômica e sustentável, além de resultar em um material com boas propriedades de resistência ao impacto.

Caracterização Morfológica

Visto que as propriedades finais de uma blenda polimérica estão diretamente relacionadas com a sua morfologia foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura nas superfícies fraturadas das amostras após o teste de impacto, objetivando correlacionar a microestrutura obtida com as propriedades mecânicas das composições estudadas.

É importante ressaltar que o formato, o tamanho e a distribuição das fases poliméricas são influenciados pelas características intrínsecas dos constituintes das blendas e pelas condições de processamento utilizadas. Assim, diversos fatores podem influenciar na morfologia final da blenda, tais como: composição, razão de viscosidade, razão de elasticidade e propriedades interfaciais dos constituintes, como também o tempo de processamento, temperatura e velocidade de rotação da rosca (Laurindo, 2012; Giakoumakis *et al.*, 2023).

Na Figura 1 estão apresentadas as micrografias obtidas por MEV do EPS reciclado puro e das composições contendo a carga e o agente compatibilizante.

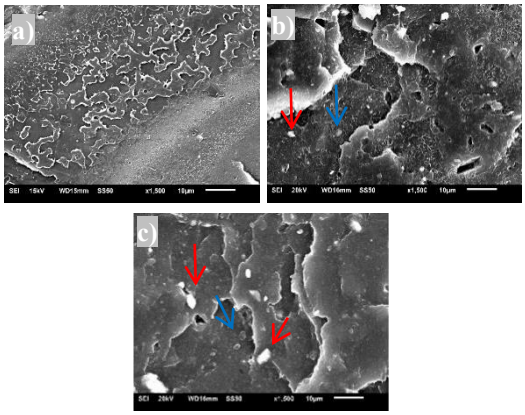

Figura 1. Imagem por MEV das superfícies de fratura pós-impacto do EPSr (a), EPSr/$CaCO_3$ (b) e EPSr/SBS/$CaCO_3$ (c).

Observa-se, na Figura 1. (a) a superfície de fratura do EPSr, na qual é possível perceber uma morfologia relativamente lisa, típica de uma fratura frágil. A Figura 1. (b) e (c) representa a micrografia da mistura EPSr/$CaCO_3$ sem e com agente compatibilizante SBS, respectivamente, onde é possível verificar partículas de carbonato de cálcio distribuídas aleatoriamente na matriz polimérica (seta vermelha), verifica-se também que algumas partículas estão envolvidas pela matriz (seta azul). Observa-se ainda, na Figura 1. (a, b e c) a presença de alguns vazios provenientes do processamento, e marcas de estrias e degraus provenientes das trincas que foram nucleadas a partir do entalhe, as quais levaram à ruptura do corpo de prova. Essas características morfológicas confirmam o baixo valor obtido no ensaio de impacto das amostras (Tabela 2) (Luna *et al.*, 2015a, 2016; Nikhade e Jaiswal, 2025).

A Figura 2. (a) apresenta a micrografia da blenda EPSr/EPDM (80/20), onde é possível perceber um aspecto superficial mais rugoso e a presença de pequenos domínios característicos da fase elastomérica na matriz de EPSr, confirmando assim a imiscibilidade da blenda. Percebe-se também vários vazios dispersos pela superfície da matriz, os quais resultaram do descolamento das partículas de EPDM durante o teste de impacto, indicando uma baixa adesão interfacial entre as duas fases. Na Figura 2 (b e c) estão apresentadas as micrografias da blenda EPSr/EPDM (80/20) compatibilizadas com SBS, sem e com adição de $CaCO_3$, respectivamente. Observa-se nessas imagens uma morfologia irregular, com um aspecto superficial muito mais rugoso, indicando que as misturas absorveram mais energia no ensaio de resistência ao impacto do que a blenda não compatibilizada, corroborando com os resultados apresentados nas tabelas 2 e 3.

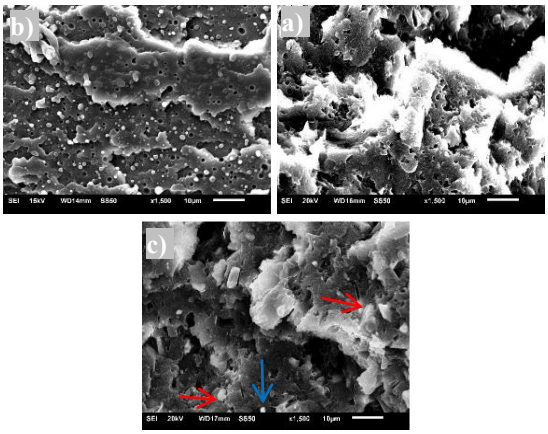

Figura 2. Imagem por MEV das superfícies de fratura pós-impacto do EPSr/EPDM (80/20) (a), EPSr/EPDM/SBS (80/20) (b) e EPSr/EPDM/SBS/$CaCO_3$ (80/20).

Na Figura 3. (a) está representada a superfície de fratura da blenda EPSr/EPDM (70/30), onde verifica-se uma morfologia irregular e com grandes cavidades dispersas na matriz EPSr, indicando uma incompatibilidade entre os componentes da blenda e justificando assim a resistência ao impacto inferior à blenda com 20% de EPDM. Na Figura 3. (b e c) observou-se uma maior homogeneidade entre as fases e uma redução significativa no tamanho e na quantidade de vazios dispersos pela matriz, indicando que o agente compatibilizante proporcionou a diminuição da tensão interfacial e uma boa interação entre as fases. Dessa forma, a boa compatibilização

refletiu na obtenção dos maiores resultados no ensaio de impacto para as blendas 70/30 (Tabela 2 e 3).

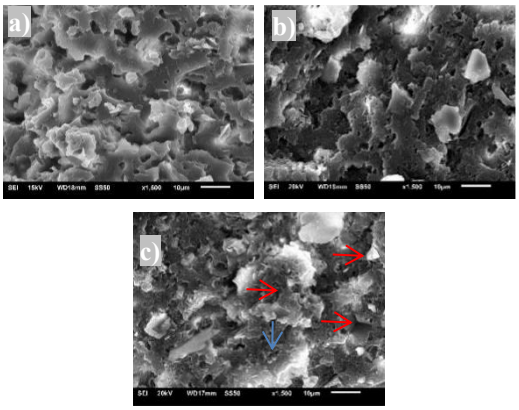

Figura 3. Imagem por MEV das superfícies de fratura pós-impacto do EPSr/EPDM (70/30) (a), EPSr/EPDM/SBS (70/30) (b) e EPSr/EPDM/SBS/$CaCO_3$ (70/30).

Todas as micrografias das blendas contendo EPDM mostraram regiões de maior relevo na superfície de fratura, lembrando fases co-continuas, nas quais não foi possível diferenciar a fase vítrea e a elastomérica. Exceto a blenda EPSr/EPDM 80/20 que apresentou partículas de EPDM dispersas na matriz. De acordo com a literatura, é comum acontecer a solubilidade das cadeias de uma fase na outra fase em blendas parcialmente miscíveis (Nicolini, 2008).

Como o esperado, não foi possível verificar as partículas de SBS nas misturas compatibilizadas devido à semelhança na estrutura entre os blocos estirênicos do SBS com o EPS, tornando os dois polímeros miscíveis (Libio, 2011).

Vale destacar que não foram observados aglomerados de carbonato de cálcio em nenhuma composição, na qual é possível verificar nas Figura 1. (b e c), Figura 2. (c) e Figura 3. (c) que as partículas estão distribuídas de forma aleatória, indicando uma boa dispersão da carga na matriz e contribuindo assim para a obtenção de boa resistência ao impacto das blendas ternárias.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho evidenciaram que a adição do SBS como agente compatibilizante e da carga carbonato de cálcio na preparação de blendas com poliestireno expandido reciclado e borracha EPDM torna possível a obtenção de materiais com boa resistência ao impacto e permite a conversão dos polímeros pós consumo em matérias primas viáveis para aplicações úteis.
Dessa forma, por meio das técnicas de caracterização utilizadas foi possível concluir que:

- A adição de 10% de SBS como compatibilizante não provocou alterações na resistência ao impacto das misturas de EPSr com $CaCO_3$;
- Na ausência de compatibilizante, a blenda EPSr/EPDM 80/20 foi a que apresentou a melhor resistência ao impacto. Ambas as blendas não compatibilizadas mostraram ser imiscíveis;
- A adição de 10% de SBS como agente compatibilizante proporcionou um aumento na resistência ao impacto das blendas EPSr/EPDM.
- Em relação ao EPS reciclado puro, as blendas EPSr/EPDM/SBS com 20% de EPDM apresentaram um aumento na resistência ao impacto de ~18%, enquanto que nas blendas com 30% de EPDM o aumento foi de ~36%;
- A adição de 10% de carbonato de cálcio às misturas poliméricas proporcionou uma redução da resistência ao impacto praticamente desprezível, visto que pelo fato de utilizar uma matriz reciclada, a presença da carga diminui ainda mais os custos de matéria-prima e ainda permite uma maior estabilização térmica das misturas;
- A redução do comportamento de impacto foi de apenas 1,9% para as blendas com 20% de EPDM e de 3,3% para as blendas com 30% de EPDM.

REFERÊNCIAS

ALABI-BABALOLA, O. Polymer and plastic waste recycling: Challenges and prospects towards a circular economy. **Chemical Engineering Journal Advances**, v. 26, p. 101177, 2026.

BARRETO, C. B. L. *et al*. Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 1, p. 67, 2015.

BEZERRA, E. B. *et al.* Propriedades mecânicas e termomecânicas das blendas de poliestireno/poli(Ɛ -caprolactona)/SEBS-g-MA. **22° CBECIMAT**, p. 8162-8173, 2016.

BHATTACHARYA, A. B. *et al.* Influence of different mixing sequence on UHMW-EPDM based thermoplastic vulcanizates: Mechanical, rheological and morphological characteristics. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 139, n. 21, 2022.

BORSOI, C. Compósitos de Poliestireno e Poliestireno Expandido Reciclado Reforçado com Fibras de Curauá: Propriedades e Degradação. 2012. Dissertação (Mestrado em Processos e Tecnologias), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2012.

CAI, D. *et al*. Reinforcing and toughening blends of recycled acrylonitrile-butadiene-styrene/recycled

high-impact polystyrene through ionic crosslinking. **Surfaces and Interfaces**, v. 28, p. 101607, 2022.

FORMELA, K. Strategies for compatibilization of polymer/waste tire rubber systems prepared via melt-blending. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 7, n. 4, p. 466-481, 2024.

FORMELA, K.; KURAŃSKA, M.; BARCZEWSKI, M. Recent Advances in Development of Waste-Based Polymer Materials: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 5, 2022.

GABRIEL, L. Preparação, irradiação e caracterização de blendas PEAD reciclado/EPDM. 2016. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GIAKOUMAKIS, N. S. *et al.* Total revalorization of high impact polystyrene (HIPS): enhancing styrene recovery and upcycling of the rubber phase. **Green Chemistry**, v. 26, n. 1, p. 340-352, 2023.

GROTE, Z. V; SILVEIRA, J. L. Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor). **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, p. 9-27, 2015.

HERRERA, J. C. A. Desenvolvimento de borracha termoplastica por vulcanização dinâmica TPV-(NBR+PP). 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

IVANCIC, R. J. S.; AUDUS, D. J. Predicting compatibilized polymer blend toughness. **Science Advances**, v. 10, n. 25, 2024.

KAESAMAN, A.; LAMLEAH, S.; NAKASON, C. Influence of vulcanization system on curing, mechanical, dynamic and morphological properties of maleated natural rubber and its thermoplastic vulcanizate with thermoplastic copolyester elastomer. **Express Polymer Letters**, v. 17, n. 7, p. 675-689, 2023.

LAURINDO, V. Desenvolvimento de blendas poliméricas Policarbonato/Poli (tereftalato de butileno) (PC/PBT) compatibilizadas e nanoestruturadas. 2012. Disseração (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

LI, C. *et al*. Microstructure-Driven mechanical behavior and recovery mechanism of thermoplastic vulcanizates: A multi-scale analysis. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 192, p. 108776, 2025.

LIBIO, I. C. Efeito de agentes de compatibilização em blendas de PS/EPDM. 2011. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

LU, J. Polymer Materials in Daily Life : Classification, Applications, and Future Prospects. **E3S Web of Conferences**, v. 406, art. 01034, 2023.

LUNA, C. B. B. *et al.* Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 1, p. 67, 2015b.

LUNA, C. B. B. *et al.* Efeito do Compatibilizante SBS e da Granulometria nas Propriedades Mecânicas de Blendas de PS/Resíduo de Borracha (SBRr). **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 35, n. 2, p. 149, 2014.

LUNA, C. B. B. *et al*. Efeito dos agentes de compatibilização SBS e SEBS-MA no desempenho de misturas de poliestireno/resíduo de borracha de SBR. **Revista Materia**, v. 21, n. 3, p. 632-646, 2016.

LUNA, C. B. B. *et al.* Influência da sequência de mistura nas propriedades de blendas de PS/SBRr compatibilizada com SBS. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 12, n. 1, p. 3-11, 2015a.

LUNA, C. B. B. *et al.* Toughening of polystyrene using styrene-butadiene rubber (SBRR) waste from the shoe industry. **Revista Escola de Minas**, v. 71, n. 2, p. 253-260, 2018.

MA, L.; LI, C.; LIU, C. Construct the relationship of the interface structure-properties for TPV via micromechanical method based on cohesive zone model. **Polymer**, v. 286, p. 126348, 2023.

MARTÍNEZ-NARRO, G.; HASSAN, S.; PHAN, A. N. Chemical recycling of plastic waste for sustainable polymer manufacturing: A critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 2, 2024.

MENG, X. *et al.* Compatibilizing and toughening blends of recycled acrylonitrile-butadiene-styrene/recycled high impact polystyrene blends via styrene-butadiene-glycidyl methacrylate terpolymer. **Polymer**, v. 272, p. 125856, 2023.

NICOLINI, A. Desenvolvimento de Elastomeros Termoplasticos a partir de PP e EPDM. 2008. Dissertação (Metrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NIKHADE, R.; JAISWAL, A. Advancements in Polymer Modification: A Comprehensive Review on Techniques. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine**, v. 10, n. 1, p. 50-68, 2025.

OLADELE, I. O. *et al.* Sustainable polymer and polymer-based composite materials for extreme conditions and demanding applications: a review on pushing boundaries in materials science. **Next Materials**, v. 8, p. 100775, 2025.

PALAORO, D. Desenvolvimento de uma metodologia experimental para obtenção e caracterização de formulações de compostos de borracha EPDM. 2015. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.

POLETTO, M. Obtenção e caracterização de compósitos preparados com poliestireno expandido reciclado e pó de madeira. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2009.

RODRIGUES, P. V. *et al.* Investigation of Toughening Mechanisms in Elastomeric Polycarbonate Blends through Morphological and Mechanical Characterization at Small and Medium Strain Rates. **Polymers**, v. 16, n. 16, 2024.

SHARMA, R. K. *et al.* Sustainable approach for recycling metal-polymer composites using foaming technology. **Chemical Engineering Journal**, v. 512, 2025.

SILVA, D. F. *et al.* Avaliação das propriedades mecânicas de blendas de poliestireno/composto de borracha reciclada (SBRr). **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 92-97, 2014.