AVALIAÇÃO DA TENACIDADE DE BLENDAS PRODUZIDAS A PARTIR DE EPS RECICLADO

Francis Oliveira de Menezes[1], Rebeca Conceição Silva Reis[1], Leticia Borges Santos[1], Zora Ionara Gama Santos[1]

[1]Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil
(francisodm97@gmail.com)

Resumo: Este trabalho avaliou o desempenho em tração de blendas de poliestireno expandido (EPS) reciclado com os elastômeros EPDM (20 e 30%) e SBS (10 e 20%), em massa. As misturas foram processadas por extrusão e injeção. Os resultados indicaram que a fase elastomérica reduziu o módulo de elasticidade e aumentou a ductilidade do EPS. O sistema EPS/SBS (90/10) apresentou aumento de 24% na tensão máxima, enquanto as blendas com EPDM mostraram redução nesta propriedade, indicando imiscibilidade.

Palavras-chave: EPS; EPDM; SBS; Reciclagem; Blendas.

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico na ciência dos polímeros trouxe inovações significativas em síntese e processamento, mas também impôs desafios quanto ao descarte sustentável desses materiais. Entre os termoplásticos de maior consumo mundial, destaca-se o poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como Isopor®, amplamente utilizado em embalagens, isolamento térmico e proteção de produtos devido a sua baixa densidade, leveza e elevada capacidade de absorção de impacto (Marten e Hicks, 2018). O crescimento da utilização desse material acompanha a expansão do setor de embalagens. De acordo com a Fortune Business Insights (2025), o mercado global de poliestireno expandido (EPS) foi avaliado em US$ 4 bilhões em 2025, com projeção de crescimento de US$ 4,18 bilhões em 2026 para cerca de US$ 6,48 bilhões até 2034, apresentando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 5,63% ao longo do período analisado.

Embora seja um material 100% reciclável, o EPS pós-consumo enfrenta dificuldades logísticas associadas à coleta, compactação e reutilização, tornando a busca por alternativas de valorização desse resíduo uma prioridade técnica e ambiental (Formela *et al*., 2022).

Nesse contexto, o desenvolvimento de blendas poliméricas apresenta-se como uma estratégia promissora para o reaproveitamento do EPS reciclado. As blendas poliméricas são definidas como misturas macroscopicamente homogêneas de dois ou mais polímeros (Alabi-Babalola, 2026; Sharma *et al*., 2025; Manson e Sperling, 1976). A produção de blendas é considerada uma rota mais simples e economicamente viável em comparação a síntese de novos copolímeros, possibilitando a obtenção de materiais com propriedades de engenharia superiores (Formela *et al*., 2022; Ivancic e Audus, 2024).

No entanto, o EPS reciclado é intrinsecamente frágil, o que limita suas aplicações estruturais. Para contornar essa limitação, a incorporação de elastômeros como fase dispersa é amplamente utilizada para promover um aumento na tenacidade da matriz vítrea, atuando como modificadores de impacto (Ma *et al*., 2023; Meng *et al*., 2023).

Entre os modificadores elastoméricos, a borracha de poli(etileno-propileno-dieno) (EPDM) destaca-se pela excelente resistência ao intemperismo e oxidação, sendo ideal para aplicações em ambientes externos (Costa *et al*., 2024). Outra alternativa amplamente utilizada é o copolímero triplo em bloco de poli(estireno-butadieno-estireno) (SBS), que possui blocos rígidos de poliestireno que garantem afinidade termodinâmica com a matriz de EPS, enquanto o bloco central de polibutadieno confere flexibilidade ao sistema (Ibrahim e Kadum, 2012). O desempenho mecânico dessas misturas depende fundamentalmente da miscibilidade e da adesão interfacial entre os componentes, fatores que determinam a eficácia da transferência de tensões durante solicitações mecânicas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver e caracterizar blendas de EPS reciclado com dois sistemas elastoméricos distintos: EPS/EPDM e EPS/SBS. De forma específica, busca-

se avaliar a influência da fase dispersa nas propriedades mecânicas de tração, analisando o efeito dos diferentes elastômeros e seus teores na rigidez e na capacidade de deformação do material reciclado, visando a transformação de resíduos em novos insumos para a cadeia produtiva, favorecendo a economia circular e impactando diretamente nas ODSs 11 e 12.

MATERIAL E MÉTODOS

Como matriz polimérica, utilizou-se o poliestireno expandido reciclado (EPSr). O material proveio de duas fontes distintas para garantir a confiabilidade dos dados: uma parcela doada pela Empresa Santa Luzia (identificada como EPS R1), já moída, e outra parcela reciclada em laboratório (EPS R2) a partir de resíduos de embalagens e protetores de eletrodomésticos.

De acordo com a Empresa Santa Luzia, a obtenção do EPS reciclado (EPS R1) se deu a partir da reciclagem secundária do "isopor", proveniente de diversas fontes. Inicialmente foi realizada a retirada do ar do "isopor" através de compactação dele, fazendo uso de máquinas de compactação e degasagem. Nesta etapa o EPS foi transformando em pequenos tarugos compactos e, posteriormente, estes tarugos foram moídos, estado este que foi recebido para a realização do trabalho.

Uma parte complementar do EPS reciclado (EPS R2) foi obtido com o processo de reciclagem secundária em laboratório. Para tanto foram utilizados pedaços de "isopor", proveniente de catação em condomínios, shoppings e residenciais. Este material foi então aquecido em uma estufa de modelo SOLAB SL 102/480 a uma temperatura de 150°C, temperatura suficiente para o polímero fluir e degaseificar a estrutura expandida, em seguida este material foi triturado em um moinho de facas, de marca Primotécnica e modelo p 1001, obtendo uma granulometria semelhante àquela fornecida pela Empresa Santa Luzia.

Os materiais, na forma de grânulos grosseiros, foram então extrudados e injetados separadamente com a finalidade de se realizar a identificação de suas propriedades individuais. A partir desta identificação individual foi possível preparar as composições a partir da mistura do EPS proveniente das duas fontes distintas (EPS R1 + EPS R2) em proporções variadas.

Foram preparadas seis amostras, duas como os EPSs puros, provenientes de fontes diferentes e, outras quatro, variando a quantidade e tipo de elastômero. Após análise dos EPSs reciclados proveniente de fontes diferentes, as demais composições foram preparadas a partir de uma mistura homogênea dos dois e passou a se identificar apenas como EPS reciclado. Uma descrição mais direta está disposta na Tabela 1.

Tabela 1. Amostras estudadas e suas respectivas composições.

Amostras	**Composição**		
	EPS Reciclado[a]	EPDM	SBS
EPS R 1	100	0	0
EPS R 2	100	0	0
EPS/EPDM (80/20)	80	20	0
EPS/EPDM (70/30)	70	30	0
EPS/SBS (90/10)	90	0	10
EPS/SBS (80/20)	80	0	20

a - O EPS Reciclado (EPS R 1 + EPS R 2) se refere ao poliestireno expandido reciclado, independente da fonte.

Como visto na Tabela 1, ambas as amostras de EPS reciclado, independente da fonte foram misturadas, para minimizar as dúvidas de confiabilidade em reprodução dos resultados, por se tratar de uso de um material reciclado, para validar a mistura, foram feitas análises e comparação prévia dos resultados obtidos para as amostras provenientes dos dois processos de reciclagem, que serão dispostas posteriormente na Figura 1.

Como fase dispersa e agentes modificadores, foram utilizados:

- EPDM: Elastômero termoplástico vulcanizado, cedido pela empresa Hydra Corona, caracterizado na Tabela 2;
- SBS: Copolímero triplo, em bloco, linear de estireno-butadieno-estireno (Kraton D1102 B), caracterizado na Tabela 3.

As propriedades das fazes dispersas adicionadas ao polímero reciclado, fornecidas pelos seus respectivos fabricantes, estão dispostas nas Tabelas 2 e 3 a seguir.

Tabela 2. Identificação e propriedades do EPDM, conforme o fabricante.

Fabricante	So.F.Ter.	
Nome e Código	FORPRENE NEUTRO 6NM001D40	
Tipo	Elastômero Termoplástico Vulcanizado	
Propriedades	**Método de Teste**	**Valor Típico (SI)**
Dureza Shore D, 15s	ASTM D2240	41
Densidade	ASTM D792	0,95 g/cm³

Resistência à tração	ASTM D412-C	17,0 MPa
Alongamento na ruptura	ASTM D412-C	630%
Módulo 100%	ASTM D412-C	8,1 MPa

Tabela 3. Identificação e propriedades do SBS, conforme o fabricante.

Fabricante	Kraton	
Nome e Código	Kraton D1102 B / K431DDc10LA	
Tipo	Copolímero triplo, em bloco e linear	
Propriedades	**Método de Teste**	**Valor Típico (SI)**
Dureza[a], ShoreA	ISO 868	70 b ShoreA (10 seg)
Densidade em massa	ASTM D 1895 B	0,4 kg/dm³
Resistência à tração	ISO 37	33 MPa
Alongamento na ruptura	ISO 37	880%
Módulo 300%	ISO 37	2,9 MPa

a- Medido em filmes moldados a partir de uma solução em tolueno.

As misturas foram pesadas e posteriormente processadas em uma extrusora monorosca Wortex (modelo MEX-30, L/D=34), operando a uma velocidade de 80 RPM. Os filamentos extrudados foram resfriados em água e granulados em forma de pellets, o perfil térmico da extrusão está descrito a seguir na Tabela 4.

Tabela 4. Perfil de temperatura adotado no processo de mistura via extrusão.

Zona de Extrusão	Temperatura (ºC)
Zona 1 - Cilindro	150 ºC
Zona 2 - Cilindro	160 ºC
Zona 3 - Cilindro	190 ºC
Zona 4 – Troca Tela	190 ºC
Zona 5 - Cabeçote	190 ºC

Após a extrusão, os *pellets* foram secos em estufa por 5 horas a 100°C. A confecção dos corpos de prova seguiu a norma ISO 294-1, utilizando uma injetora Battenfeld (modelo HM45). As condições estão expostas a seguir na Tabela 5.

Tabela 5. Condições de processamento na injetora.

Parâmetro	Valor Adotado
Pressão de Injeção	800 bar
Pressão de Recalque	600 bar
Temperatura de Dosagem	190°C
Temperatura de Compressão	170°C
Temperatura de Alimentação	110°C
Tempo de Ciclo	1 min

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de impacto Izod foi realizado em uma máquina de marca Instron, modelo CAST 9050 com martelo 2,7 J. Foram ensaiados seis corpos de prova para cada tipo de amostra. Os corpos de prova foram entalhados, com profundidade de 2 mm, conforme a norma ASTM-D256-97. Antes de começar o ensaio foi testada a resistência do ar, obtendo o valo de 0,1 J à temperatura de 25°C. Deste ensaio foram extraídos os valores da energia que o martelo gastou para romper o corpo de prova, em Joule. Para o tratamento dos dados foram médias as espessuras e largura de cada corpo de prova para o cálculo da área. Então, o valor da resistência ao impacto foi obtido pela razão entre a energia, medida no equipamento, e área útil do corpo de prova, levando em conta o entalhe.

Também foram realizados ensaios de tração, conforme a ISO 527-1, utilizando uma máquina universal de ensaio modelo DL 2000 da marca EMIC operando a uma velocidade de 50 mm/min e com uma célula de carga com capacidade máxima de 25kN. O ensaio foi realizado através do software Tesc versão 3.04, onde também foram extraídos os dados dos resultados do ensaio.

Foram usados 6 corpos de prova de cada amostra, previamente acondicionados à temperatura em torno de 23°C. Para a montagem dos gráficos, apresentados no trabalho, foi usado o software OriginPro 8 e o Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme dito, para minimizar as dúvidas de confiabilidade em reprodução dos resultados, quando se trata de uso de um material reciclado, os resultados obtidos para amostras, provenientes dos dois processos de reciclagem, estão expostos nas Figuras 1 e 2, exibindo, respectivamente, valores de Resistência ao Impacto e Módulo de Elasticidade.

Os valores da resistência ao impacto referente ao EPS R1 e EPS R2 demonstram que os valores das duas amostras de EPS reciclado são equivalentes, não representaram variação significativa.

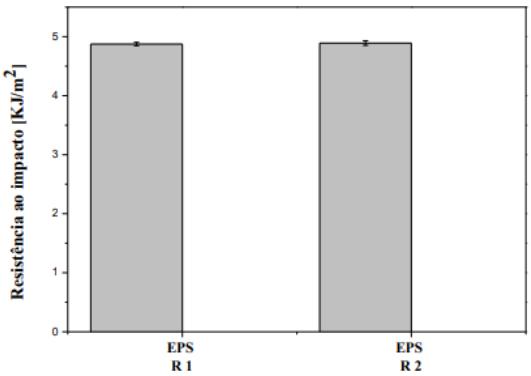


Figura 1. Resistência ao impacto das amostras de EPS R1, proveniente de doação da Santa Luzia e EPS R2, proveniente de reciclagem no laboratório.

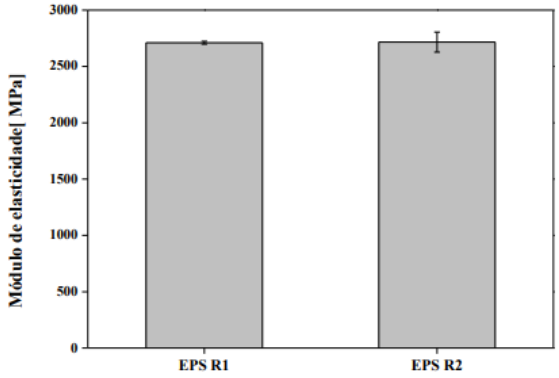


Figura 2. Módulo de elasticidade das amostras de EPS R1, proveniente de doação da Santa Luzia e EPS R2, proveniente de reciclagem no laboratório.

Foi feito um apanhado dos resultados obtidos do ensaio de impacto para o EPS reciclado puro e suas blendas EPS/EPDM e EPS/SBS estão representados na Figura 3.

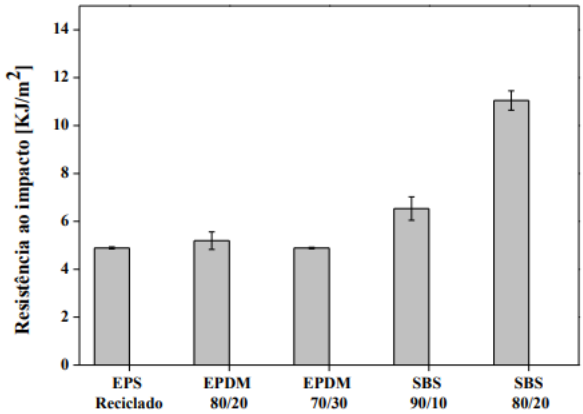


Figura 3. Resistência ao impacto das amostras de EPS reciclado e suas blendas.

Ao observar esses dados fica evidente que, para as blendas de EPS/EPDM, a presença deste último não promoveu variação significativa na resistência ao impacto do EPS reciclado puro, apenas deixa indícios de que a adição de 20% de EPDM pode levar a uma pequena melhoria (aumento em torno de 6%) no valor desta propriedade.

Em se tratando das blendas de EPS/SBS fica evidenciado que a adição de SBS proporcionou um aumento significativo na resposta à solicitação de impacto. Para a blenda contendo 10% de SBS a resistência ao impacto do EPS foi aumentada de 33,6 % e com a adição de 20% de SBS o aumento no valor desta propriedade foi de 125%.

O valor levemente maior de resistência ao impacto da blenda de EPDM 80/20 comparado ao polímero puro comprovou que a composição mais adequada para este tipo de blenda é com 20 % de EPDM, isto está de acordo com a literatura (Costa *et al*., 2024; Meng *et al.*, 2023; Libio, 2011), estudando PS virgem com este elastômero. Evidenciando que, para valores maiores que 20% de EPDM na blenda não há resposta significativa na resistência ao impacto, no caso do material continuar apresentando resposta frágil surge um indicativo de incompatibilidade da mistura, a qual se apresenta com fraca adesão interfacial das fases. Esse comportamento evidencia a necessidade da utilização de agentes compatibilizantes capazes de promover maior interação entre matriz e fase dispersa, favorecendo a transferência eficiente de tensões e a melhoria do desempenho mecânico das blendas poliméricas (Seier *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2023).

Os valores de resistência ao impacto elevados das blendas compostas por EPS e SBS mostram que o teor deste elastômero termoplástico interfere fortemente na resistência ao impacto da blenda final. De acordo com Ribeiro, 2012 e Rabello, 2000 os copolímeros em bloco de estireno-butadieno, em especial os formados por tri blocos, pelo fato de apresentarem propriedades similares à borracha vulcanizada, ou seja, alta resistência a tração, alta elongação na ruptura e rápida recuperação, tem elevado poder de atuar como modificadores de impacto do poliestireno. Além disso, esses aumentos possivelmente podem ser atribuídos à capacidade das partículas de borracha, que quando embebidas em polímeros vítreos e submetidas ao campo de tensões associadas a uma trinca que se propaga, de deformarem e cavitarem absorvendo energia de deformação elástica e plástica durante o processo de fratura.

Comparando a influência dos elastômeros EPDM e o SBS no aumento da tenacidade do EPS, observa-se que não houve total incompatibilidade. Apesar do EPDM não apresentar melhorias significativas na resposta do teste, este também não apresentou queda da propriedade de resistência ao impacto. O uso do EPDM na blenda dependerá do objetivo da propriedade final, sendo que será necessário a

introdução de um compatibilizante para melhorar esta propriedade.

O SBS revelou ser compatível ao EPS, além de obter elevada melhoria na propriedade de resistência ao impacto garantindo aumento de tenacidade ao material. Com o uso do SBS na blenda tanto não há necessidade de compatibilizante como este pode atuar sendo o próprio compatibilizante para a mistura, dependendo da composição da blenda com a matriz EPS.

Outro fator importante é a melhoria gradativa da propriedade, obedecendo a regra da mistura e tornando possível o controle da propriedade com o teor de SBS na blenda. É importante salientar que a principal dificuldade do uso de elastômeros para aumentar a tenacidade de um polímero frágil está na melhoria desta propriedade, não comprometendo as outras propriedades desejadas (Ibrahim, 2012).

Como resultado dos ensaios de tração foram obtidas curvas de tensão *versus* deformação (T x D) de todas as composições planejadas e do EPS puro. Conforme podemos observar na Figura 4.

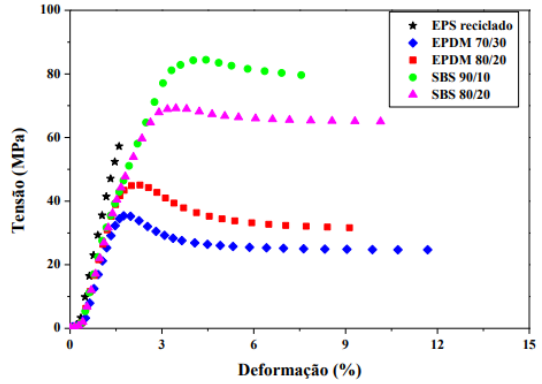


Figura 4. Curva tensão versus deformação do EPS reciclado e suas blendas.

Ao analisar esta figura, fica claro que a presença de uma fase borrachosa na matriz EPS rígida promoveu uma diminuição do módulo de elasticidade assim como um aumento da deformação na ruptura e consequente aumento da tenacidade desta matriz, para todas as composições com a presença de fase borrachosa. Verifica-se ainda que para as blendas contendo SBS obteve-se um aumento na tensão na força máxima em relação às demais composições. O que corrobora ainda mais a melhoria das propriedades mecânicas.

Comparando-se os valores desta propriedade entre as blendas EPS com EPDM e SBS, verifica-se que a blenda com SBS apresenta valor desta propriedade superior à blenda contendo EPDM, cerca de 48%. Conforme adiciona - se mais teor do composto elastomérico, a propriedade diminui, este comportamento era esperado, visto que, de maneira geral, a presença de elastômero em matriz vítrea proporciona que o material se deforme em tensões menores.

Observando a blenda de EPS/EPDM (80/20), apesar do teor de PS ser maior na mistura, a presença da fase dispersa foi mais manifestada na resposta da resistência a tração. Ao sobressair a propriedade da fase dispersa (baixa resistência na tensão máxima) pela propriedade da matriz, é forte indicador que a mistura resultou em uma blenda incompatível. A propriedade da mistura possui valores menores do que comparado com os compostos puros. Sendo incompatível, presume-se que para melhoria destas propriedades faz-se necessário a introdução de um agente compatibilizante.

CONCLUSÃO

Este estudo avaliou o potencial de aumento da tenacidade do poliestireno expandido reciclado (EPSr) através da incorporação dos elastômeros SBS e EPDM, permitindo as seguintes conclusões de acordo com os ensaios de impacto realizados:

Quanto a matriz de EPSr, o poliestireno expandido reciclado puro confirmou sua característica intrínseca de fragilidade, apresentando o menor valor de resistência ao impacto entre todas as amostras testadas (4,88 kJ/m²).

Sobre a eficácia do SBS, o elastômero mostrou-se um modificador de impacto altamente eficaz para a matriz reciclada. A blenda com 10% de SBS elevou a resistência em 33,6%, enquanto a blenda com 20% de SBS atingiu o melhor desempenho mecânico do estudo, com um ganho expressivo de 125% na absorção de energia em relação ao EPSr puro.

Já para a adição de EPDM, houve limitações, o sistema EPS/EPDM apresentou resultados modestos, indicando baixa interação entre as fases. A blenda com 20% de EPDM promoveu uma melhoria de apenas 6% e o teor de 30% não gerou variação significativa na propriedade de impacto, evidenciando a necessidade de agentes compatibilizantes para este sistema específico.

Há forte indicadores que o EPDM não forme uma blenda compatível como o EPSr, o que leva a ideia de, em um trabalho futuro, trabalhar essa blenda com um agente compatibilizante.

Os ensaios de tração também chegam para reforçar ainda mais a ideia de melhora em relação ao EPS puro, em todas as formulações houve ganho de tenacidade na tração e na ductilidade, mas forma geral o maior destaque foi na formulação SBS 90/10. Evidenciando ainda mais como a fase borrachosa contribuiu fortemente na viabilização da reciclagem competitiva do EPS.

No viés de viabilidade da reciclagem, o estudo comprovou que o reaproveitamento de resíduos de EPS para a produção de blendas poliméricas é uma rota técnica e economicamente viável. A adição gradativa de elastômeros, especialmente o SBS, permite transformar um resíduo frágil em um material com propriedades mecânicas superiores para novas aplicações industriais e de engenharia.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, em especial ao Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM) por disponibilizar a infraestrutura para realização do projeto.

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.

COSTA, N. L. *et al.* A Review of EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) Rubber-Based Nanocomposites: Properties and Progress. Polymers, v. 16, p. 1720, 2024.

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

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. *Expanded Polystyrene (EPS) Foam Packaging Market Size, Share & Industry Analysis*. [S. l.], 2025. Disponível em: https://www.fortunebusinessinsights.com/expanded-polystyrene-eps-foam-packaging-market-114007. Acesso em: mai. 2026.

IBRAHIM, B.A.; KADUM, K.M. Morphology studies and mechanical properties for PS/SBS blends. International Journal of Engineering & Technology, v. 12, n. 3, p. 19-27, 2012.

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

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.

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.

MANSON, J. A.; SPERLING, L. H. Polymer blends and composites. Plenum Press, Nova York, 1976.

MARTEN, B.; HICKS, A. Revisão da literatura sobre a análise do ciclo de vida do poliestireno expandido: uma análise para diferentes cenários de descarte. Sustainability: The Journal of Record, v. 11, n. 1, p. 29-35, 2018.

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.

RABELLO, M.S. Aditivação de Polímeros, São Paulo, Artliber Editora Ltda, 2000.

RIBEIRO, V. F.; DOMINGUES Jr., N.S.; RIEGEL, I. C. Estudo da recuperação das propriedades de poliestireno de alto impacto (HIPS) através da incorporação de borracha termoplástica tipo estireno-butadieno-estireno (SBS). Polímeros, v. 22, n. 2, pp. 186-192, 2012.

SEIER, M. *et al.* Effect of Different Compatibilization Systems on the Rheological, Mechanical and Morphological Properties of Polypropylene/Polystyrene Blends. Polymers, v. 12, p. 2335, 2020.

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