

Efeito da mistura entre resíduos de EVA e borracha regenerada para aplicação em piso de instalação animal

Effect of the mixture between EVA waste and regenerated rubber for application in animal facility flooring

Silvia Noelly Ramos de Araújo¹ , José Pinheiro Lopes Neto¹, José Wallace Barbosa do Nascimento¹, Dermeval Araújo Furtado¹, Maria Luiza de Souza Rezende², Tiago Gonçalves Pereira de Araújo³

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Laboratório de Construções Rurais e Ambiente. Rua Aprígio Veloso, 882, 58429-900, Bodocongó, Campina Grande, PB, Brasil.

²Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção. Rua Aprígio Veloso, 882, 58429-900, Bodocongó, Campina Grande, PB, Brasil.

³Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento. Rua Francisco Braz, 58540-000, Vazia, Sumé, PB, Brasil.

e-mail: noelly_cg@hotmail.com, lopesneto@gmail.com, wallacebosa@hotmail.com, araujodermeval@gmail.com, tiago.goncalves@professor.ufcg.edu.br, mluizarezende@hotmail.com

RESUMO

A escolha do tipo de piso dentro do sistema de produção animal é um fator importante, já que está associado a grande incidência de alterações na locomoção, lesões de cascos e descarte de rebanho, o que tem levado aos produtores modificar o tipo de piso por materiais mais confortáveis, duráveis e secos, como é o caso dos emborrachado, no entanto, a matéria-prima torna o investimento muito alto. Devido os resíduos poliméricos serem potencialmente recicláveis, apresentar boas propriedades térmicas e mecânicas, torna-se viável o desenvolvimento de pesquisas que visem caracteriza-los de modo a verificar sua viabilidade de aplicação como piso para instalação de produção animal. A presente pesquisa analisou a combinação entre o resíduo de EVA e a borracha regenerada oriunda de pneus, onde foram produzidas amostras em 4 diferentes concentrações: 0, 25, 50 e 75% de borracha regenerada. As amostras foram analisadas através da microscopia eletrônica de varredura e submetida a testes de tração, deformação permanente à compressão, abrasão e dureza. A amostra com 75% apresentou maior maciez e menor deformação residual, sendo este um efeito positivo devido a redução da rigidez devido a inserção de borracha aos compostos, no entanto, devido a incompatibilidade das blendas e declínio significativo das propriedades mecânicas analisadas, a amostra sem borracha regenerada apresenta melhor potencial de reciclagem e de aplicação a qual a pesquisa a destina. Estima-se que a melhoria de propriedade pode ser alcançada com uso de agente compatibilizante que favoreça a adesão entre os materiais.

Palavras-chave: pisos; resíduos poliméricos; reciclagem; construções rurais.

ABSTRACT

The choice of floor type within the animal production system is an important factor, as it is associated with a high incidence of changes in locomotion, hoof injuries and herd disposal, which has led producers to modify the type of flooring for more comfortable, durable and dry materials, such as rubber, however, the raw material makes the investment very high. Because polymeric waste is potentially recyclable and has good thermal and mechanical properties, it is feasible to develop research aimed at characterizing them in order to verify their feasibility of application as flooring for animal production installations. The present research analyzed the combination between the EVA residue and the regenerated rubber from tires, where samples were produced in 4 different concentrations: 0, 25, 50 and 75% of regenerated rubber. The samples were analyzed by scanning electron microscopy and submitted to tensile, permanent deformation under compression, abrasion and hardness tests. The sample with 75% showed greater softness and less residual deformation, which is a positive effect due to the reduction of stiffness due to the insertion of rubber in the compounds. However, due to the incompatibility

of the blends and a significant decline in the mechanical properties, the sample without regenerated rubber has a greater potential for recycling and application for which the research aimed for. It is estimated that the property improvement can be achieved with the use of a compatibilizing agent that favors the adhesion between the materials.

Keywords: floors; polymeric waste; recycling; rural constructions.

1. INTRODUÇÃO

Em termos gerais, nos sistemas intensivos de produção animal que exigem elevado padrão de qualidade e melhores ganhos produtivos, é imprescindível o planejamento de instalações que prezem pelo bem-estar animal, de modo a evitar que sejam ativados mecanismos fisiológicas e comportamentais como resposta as características da instalação que causam desconforto.

No projeto de instalações para produção animal, o piso em concreto ainda é muito utilizado por ser durável, apresentar facilidade de limpeza e baixo custo, em contrapartida, promove trocas excessivas de calor do animal com o ambiente, possui alta abrasividade e dureza, de acordo com CARVALHO *et al.* [1]. Fatores como esses causam impacto significativo na produção e tem direcionado os criadores a modificar o sistema de piso, adotando materiais mais confortáveis, duráveis e secos, como é o caso dos emborrachados. No entanto, STULL *et al.* [2] transcorre que os tapetes de borracha fabricados para essa finalidade possuem alto custo de venda. A alternativa encontrada é a reciclagem [3] de resíduos poliméricos, já que são materiais leves e macios, que resistente ao desgaste, além de ter baixo custo [4].

A síntese de novos materiais a partir da mistura entre resíduos poliméricos tem demonstrado uma alternativa viável quando feita a escolha adequada entre os componentes, sendo capaz de reunir em um único material, melhores características do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, conforme descrito por LUNA *et al.* [5].

O resíduo de EVA são provenientes principalmente da indústria calçadista, gerados a partir do corte e lixamento de placas expandidas para confecção dos calçados, além do descarte de solas, correias e solados; são materiais leves, duráveis, estáveis a elevadas temperaturas, e possuem células fechadas o que diminui a absorção de água [6], e bom absorvedor de choques, mas é um material que apresenta características próprias de termorrígidos [7], como baixa resistência a propagação de trincas e baixa capacidade de alongamento [8], os autores citam ainda que é possível aumentar a tenacidade desses materiais por meio da adição de agentes modificadores/tenacificantes tais como elastômeros ou termoplásticos, que promovem uma maior capacidade de deformação do polímero e aumento da energia de fratura.

Sendo assim, o presente trabalho se propôs avaliar a influência da borracha de pneu regenerada junto ao resíduo de EVA correlacionando a concentração ao desempenho de cada propriedade analisada, de modo a verificar a viabilidade do composto como matéria-prima de piso em instalação para produção animal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo envolveu o efeito da adição da baracha regenerada junto ao resíduo de EVA, de modo a verificar seu efeito sob as características mecânicas e morfológica, e assim verificar a viabilidade da reciclagem do material para aplicação em pisos nas instalações de produção animal. A seguir são pormenorizadas cada uma das etapas empregadas na metodologia.

2.1. Material utilizado

Para realização da pesquisa foram utilizados resíduos de etileno acetato de vinila (EVA) e borracha de pneu regenerada (Figura 1), ambos em grânulos. Os resíduos de EVA (RE) são provenientes do corte e lixamento de correias e sandálias, e a borracha regenerada (BR) proveniente dos pneus inservíveis.

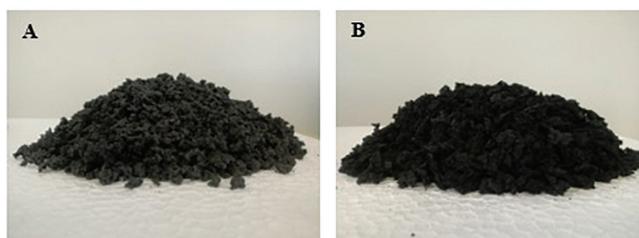


Figura 1: (A) resíduos de EVA (RE); (B) borracha de pneu regenerada (BR).

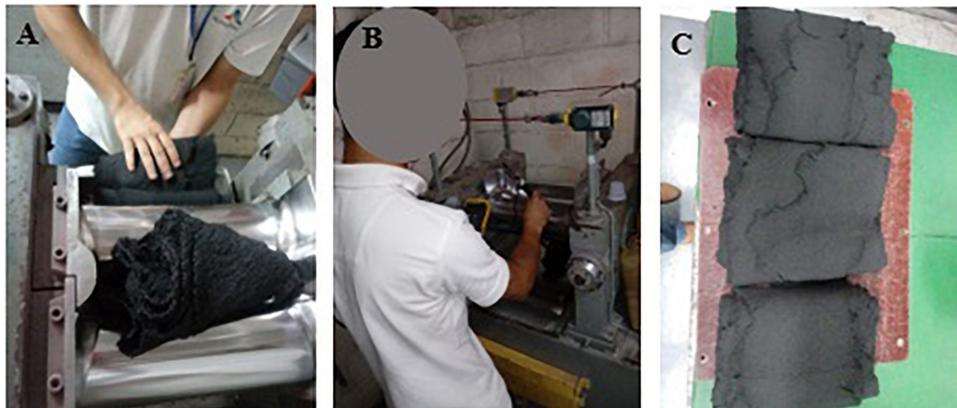


Figura 2: (A) Mistura do material em cilindro aberto; (B) monitoramento da temperatura dos cilindros; (C) lâminas homogeneizadas.

Foram preparadas amostras variando-se a concentração em massa dos materiais, entre RE e BR, respectivamente: 100 e 0% (RE/BR0); 75 e 25% (RE/BR25); 50 e 50% (RE/BR50); 25 e 75% (RE/BR75).

2.2. Processamento do resíduo

A mistura do material foi realizada no laboratório da Empresa de Calçados e Produtos Desportivos – Alpargatas S/A, no cilindro em rolo (Figura 2a), a mistura seguiu sem submeter anteriormente a qualquer tipo de trituração ou peneiramento, ou seja, foram misturados como recebidos, na forma de flocos.

Os cilindros operaram com temperatura variando entre 35 e 40 °C, seguindo os procedimentos constantes na norma ASTM D3182-16 [9]. O monitoramento da temperatura dos cilindros foi realizado ao iniciar e finalizar a mistura (Figura 2b). A mistura de cada amostra ocorreu ao longo de 10 min, tempo necessário para adquirir lâminas com partículas bem distribuídas, ou seja, mais homogêneas (Figura 2c).

2.3. Granulometria

Para determinar a distribuição percentual do tamanho dos grãos poliméricos que compõe a massa total do resíduo de EVA e da borracha regenerada, foi utilizado a metodologia estabelecida pela NBR NM 248-03 [10]. O ensaio foi realizado no laboratório de construções rurais e ambiência (LaCRA). Os resíduos foram previamente secos em estufa a 50 °C por 24 h. Após resfriados, foi iniciado o ensaio para obtenção da granulometria utilizado mesa vibratória composta por um conjunto de seis peneiras com abertura de 9,5 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e fundo coletor.

Após o ensaio, foram calculadas a massa retida (Equação 1) e as porcentagens dos materiais retidos e acumulados em cada peneira:

$$\Delta\varphi = \frac{mr}{mt} \quad (1)$$

Em que:

$\Delta\varphi$ = fração em massa de material retido;

mr = massa retida na peneira (g);

mt = massa total (g).

2.4. Ensaio de tração

Para os testes de tração, foi utilizado corpos de prova do tipo 4 (espessura de $3,0 \pm 0,2$ mm, largura de $6,0 \pm 0,2$ mm e comprimento de $11,5 \pm 0,2$ cm), conforme especificação da ASTM D638-08 [11]. Utilizou-se o equipamento EMIC DL2000, pertencente ao laboratório de Engenharia de materiais (LCM) da UFCG. O equipamento foi programado para operar com velocidade de $50,0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e carga de 2000 kgf, com ensaios conduzidos em temperatura ambiente.

Neste ensaio foram determinados o módulo de elasticidade, a tensão de escoamento e o alongamento no ponto de escoamento. Os valores foram obtidos a partir da média de cinco corpos de prova ensaiados por composição.

2.5. Ensaio de deformação permanente à compressão

As análises de deformação permanente à compressão foram realizadas no SENAI – CETEPO, seguido os preceitos descritos da ASTM D395-18 [12] método B (que utiliza a compressão para deformação constante. A temperatura de realização do ensaio foi de 70 °C com o material submetido à compressão por 22 h.

Os corpos de prova foram comprimidos a 25% da espessura original e a deformação residual foi calculada a partir da diferença entre a espessura inicial e final do corpo de prova após ensaio (Equação 2), o resultado foi obtido a partir da média das amostras e expresso em porcentagem. Os ensaios foram realizados em triplicata.

$$DPC = \frac{ei - ef}{ei - ee} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

ei = espessura inicial do corpo de prova (mm);

ef = espessura final do corpo de prova (mm);

ee = espessura das barras espaçadoras (mm).

2.6. Ensaio de abrasão

Os testes de resistência ao desgaste foram realizados a partir da determinação da perda de volume conforme norma ISO 4649-14 [13], que determina a resistência à abrasão de polímeros vulcanizados utilizando um dispositivo de tambor cilíndrico rotativo e superfície coberta por material abrasivo, tipo folha de lixa, relacionado o desgaste a um índice expresso em mm³.

Os ensaios foram realizados no SENAI do Centro de Formação Profissional do Couro e do Calçado Albano Franco (CTCC) a temperatura ambiente com uso do equipamento de abrasão DIN – fabricante IPT. Foi determinado também a densidade dos corpos de prova seguindo os preceitos contidos na NBR ISO 2781-15 [14] (método A), que determina a densidade da amostra através do volume de água deslocado no béquer. Foram ensaiados cinco corpos de prova por composição.

2.7. Ensaio de dureza

Para a determinação da profundidade de penetração nas placas foram seguidos os requisitos constantes na NBR 14454-20 [15], utilizando o durômetro Shore A. O ensaio foi realizado no SENAI – CTCC onde foram realizados utilizando as faixas de tolerância para as condições ambientais conforme estabelece a ABNT 10455-21 [16] na climatização de amostras de materiais usados na fabricação de calçados e correlatos no período mínimo de 24 h, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 50 ± 5%. A análise foi realizada em triplicata.

2.8. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises morfológicas das amostras em estudo foram realizadas por microscopia eletrônica de varredura, a partir da superfície de fratura dos corpos de prova submetidos aos ensaios de tração. As análises foram realizadas utilizando o equipamento da SSX-550 Superscan – Shimadzu pertencente ao LCM de engenharia de materiais da UFCG.

A partir das imagens obtidas por MEV foi possível analisar a microestruturação das partículas das amostras que refletiram o estado de agregação do material e a região ocupada por poros, fatores que influenciam diretamente as propriedades térmicas e mecânicas dos materiais em estudo.

2.9. Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, utilizando quatro tratamentos em função do teor de borracha nas composições. Os dados obtidos foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, quando inferior a esse valor, o tratamento difere estatisticamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se que os resíduos de EVA (RE) possuem uma faixa ampla de distribuição granulométrica, com partículas retidas nas peneiras com malha de 0,3 a 9,5 mm, e embora 92% do material tenha se concentrado entre as peneiras de 2,4 e 4,8 mm, a predominância (65,49%) foi de partículas com diâmetro de 4,8 mm (Figura 3).

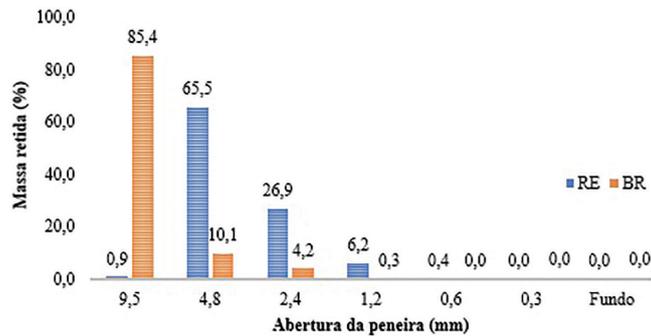


Figura 3: Granulometria dos resíduos utilizados na pesquisa.

A borracha regenerada (BR) apresentou variação das partículas entre 1,2 e 9,5 mm, com predominância de 85,4% partículas com diâmetro máximo de 9,5 mm. É importante apontar, que a BR apresenta um tipo de liga que une naturalmente o material dando um aspecto esponjoso o que dificulta quantificar a distribuição granulométrica.

Grânulos menores de borracha, como o pó, possuem maior facilidade de adesão à matriz devido a maior área superficial. ZULKEPLI *et al.* [17] citam que podem ocorrer pontos de acúmulos e aglomerados de pequenas partículas, que tendem a prejudicar as propriedades mecânicas do material. Como observado por Pessoa [18] compostos de borracha produzidos com granulometria inferior a 80 mesh (0,18 mm), apresentam aglomerações de partículas, originando elevado contato partícula-partícula, e gerando fraca interação entre pó e matriz, e finaliza que esse fenômeno pode prejudicar propriedades como a tensão de ruptura.

A seguir tem-se as micrografias obtidas por MEV, com ampliação de 100× e 1000×, utilizando a superfície de fratura dos corpos de prova submetidos aos ensaios de tração (Figura 4 a 7).

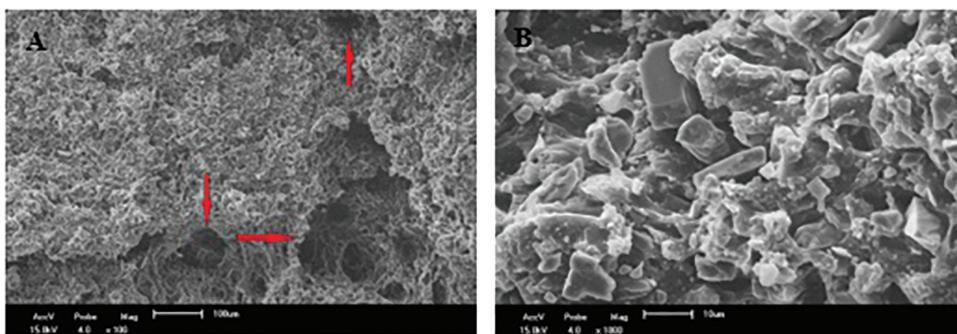


Figura 4: Micrografia da blenda RE/BR0: (A) aspecto geral – ampliação de 100× (B) aspecto da interface – ampliação de 1000×. Referência: setas em vermelho apresentam os vazios.

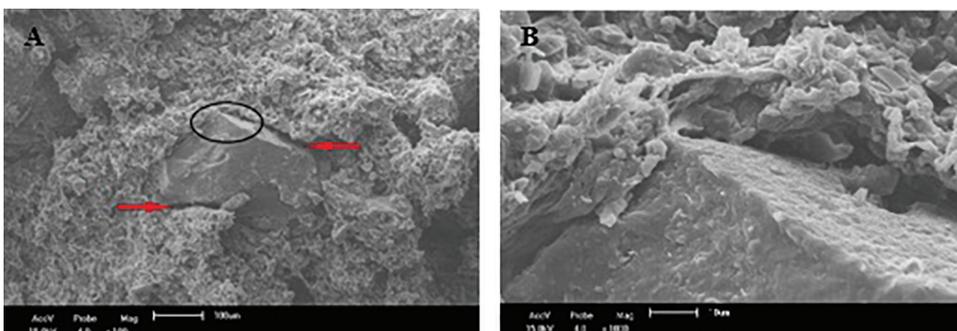


Figura 5: Micrografia da blenda RE/BR25: (A) aspecto geral – ampliação de 100× (B) aspecto da interface – ampliação de 1000×. Referência: setas em vermelho apresentam os vazios. Círculo em preto apresenta a área ampliada na figura b.

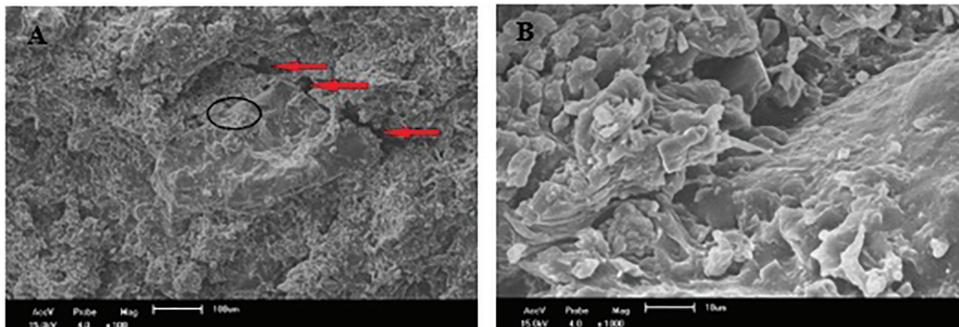


Figura 6: Micrografia da blenda RE/BR50: (A) aspecto geral – ampliação de 100× (B) aspecto da interface – ampliação de 1000×. Referência: setas em vermelho apresentam os vazios. Círculo em preto apresenta a área ampliada na figura b.

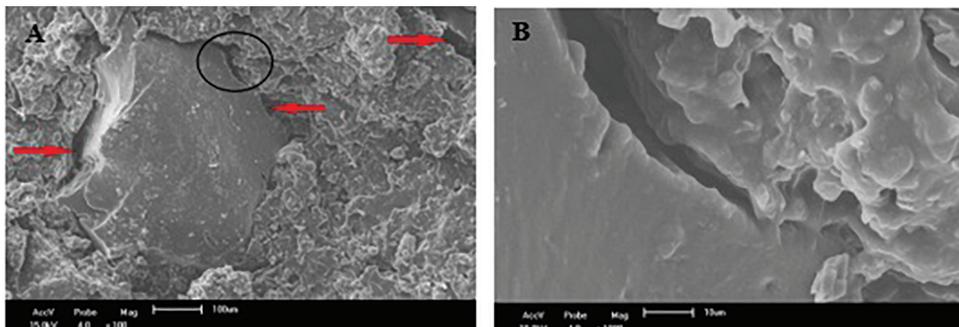


Figura 7: Micrografia da blenda RE/BR75: (A) aspecto geral – ampliação de 100× (B) aspecto da interface – ampliação de 1000×. Referência: setas em vermelho apresentam os vazios. Círculo em preto apresenta a área ampliada na figura b.

As micrografias da superfície de fratura apresentaram amostras com morfologia semelhante, com aspecto topográfico rugoso, as blendas em específico, apresentaram-se heterogêneas e a presença interfaces com pouca ou nenhuma adesão, sendo estes indicativos de má adesão entre os componentes. Esse resultado está de acordo com o apresentado por LUNA *et al.* [5] ao afirmarem que a morfologia irregular e as superfícies bem definidas dos vazios indicam baixa interação interfacial entre os dois polímeros. A baixa adesão superficial obtida tornou fácil a identificação da região de fronteira, evidenciada pela superfície lisa das partículas de borracha devido ao baixo recobrimento feito pelo RE; esse aspecto pode ter corroborado para que a fratura nas blendas prosseguisse pela interface. O resultado morfológico caracteriza a incompatibilidade da blenda RE/BR.

É possível constatar nas imagens a presença de morfologia dispersa das partículas de borracha junto ao RE, não sendo possível confirmar se houve alteração da morfologia da mistura com a inversão de fase devido ao aumento do teor de borracha.

Ao avaliarem a morfologia de blendas compostas por EPDM/EVA sem uso de compatibilizante, KHALAF *et al.* [19] afirmaram que elas eram heterogêneas (incompatíveis). RADHAKRISHNAN *et al.* [20] ao estudarem o efeito sobre a morfologia da mistura da blenda SBR/EVA, e verificaram imiscibilidade do sistema. SOARES e OLIVEIRA [21] citam que em geral, misturas poliméricas envolvendo um elastômero e um termoplástico são imiscíveis e podem apresentar morfologias do tipo fase dispersa ou co-contínua. BHATTACHARYYA *et al.* [22] e ROCETTO *et al.* [23] afirmaram que uma mistura de um polímero com um elastômero com o objetivo de tenacificação, o ideal é que se obtenha uma morfologia de duas fases, a matriz do polímero e os domínios dispersos do elastômero ao longo da matriz. SOUZA [24] e LUNA *et al.* [25] observaram que é possível melhorar a adesão entre as fases de uma blenda incompatível com uso de compatibilizante, sendo esses agentes capazes de reduzir a tensão interfacial e estabilizar a interface da blenda. TORRECILLAS [26] afirmou que essa técnica pode resultar em uma blenda polimérica compatível.

Com relação ao resultado das propriedades mecânicas sob tração dos materiais em estudo, na Tabela 1 encontram-se os valores obtidos. Foi possível constatar que a inserção da BR junto ao RE apresentou comportamento linear e inversamente proporcional entre o teor de borracha e a resistência sob tração das amostras, reforçando o resultado da morfologia que apontou em incompatibilidade entre os sistemas, no entanto, houve efeito positivo sobre a redução da rigidez das amostras.

Tabela 1: Propriedades mecânicas de tração para todas as composições.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	ALONGAMENTO ATÉ RUPTURA (%)	MÓDULO ELÁSTICO (MPa)
RE/BR0	7,05 ± 0,52a	221,12 ± 23,81a	15,18 ± 0,96a
RE/BR25	3,62 ± 0,28b	145,60 ± 6,90b	8,04 ± 0,86b
RE/BR50	2,05 ± 0,09c	110,55 ± 4,64c	5,80 ± 0,92c
RE/BR75	1,12 ± 0,09d	96,13 ± 7,09d	3,30 ± 0,09d
Valor P	<.0001	<.0001	<.0001

Comparando a redução de propriedade da blenda composta por 75% de BR a amostra pura, em termos percentuais, houve redução de 84 e 57% para tensão máxima e alongamento até ruptura, em contrapartida, ganho de 80% sobre o módulo elástico. Esse resultado converge com os apresentados por FIGUEIRA [27] que observou que a tensão de ruptura tende a aumentar com a diminuição do conteúdo da fase borrachosa nas suas blendas analisadas. De acordo com SOUZA *et al.* [28] a especificação técnica para a resistência à tração mínima para o composto elastomérico deve ser ≥ 5 MPa e o alongamento $\geq 400\%$. Reichert [29] recomenda que artefatos fabricados com borracha termoplástica devem apresentar tensão de ruptura mínima de 5 N/mm².

Percebe-se que o alongamento na ruptura diminuiu gradativamente com a inserção de borracha, resultado similar foi obtido por OLIVEIRA *et al.* [30] ao trabalharem com a blenda de borracha natural e resíduo de EVA, reportando que esse resultado pode ser atribuído à incompatibilidade entre os dois componentes, favorecida pela diferença de polaridade.

Ao avaliarem as propriedades sob tração de blendas compostas por polietileno de baixa densidade com EVA contendo variação de 10–50% de SBRr, REZENDE *et al.* [31] obtiveram valores de tensão máxima variando entre 6,0 e 8,0 Mpa e a deformação na ruptura de 125 a 300%, concluindo que a queda de propriedade nas misturas foram proporcionais ao teor incorporado de resíduo de SBR.

Graficamente, através das curvas de tensão versus deformação (Figura 8) percebe-se a capacidade de fluir das cadeias que cada material apresentou quando solicitado mecanicamente. Verificou-se que a presença da BR torna o material gradativamente menos resistente à ruptura o que pode estar relacionado a fraca interação interfacial que dificulta a transferência de tensões entre as fases, o que corrobora com o resultado morfológico devido a incompatibilidade da blenda RE/BR. As imagens mostraram as partículas de borracha concentradas em aglomerados, o que enfraquece a interação entre os materiais e reduz o alongamento e tensão de ruptura com o aumento do teor de borracha.

Conforme SOUZA [24], quando um material é submetido a um esforço mecânico, a transferência de tensão de uma fase para outra ocorre na interface, e se a interação entre as fases for baixa, nesta região ocorrerá um acúmulo de tensões que acabará originando uma fratura. Esse resultado está de acordo com a análise microscópica das amostras e converge com estudos de LUNA *et al.* [5] ao avaliarem a tenacificação de blendas com inserção de elastômeros.

Ainda em concordância com o resultado apresentado, NEIS *et al.* [32] ao avaliar a influência do resíduo de pneu em matriz de SEBS observou que a tensão de ruptura diminuiu com a presença do resíduo, o autor associou o resultado a origem de pontos de maior concentração de tensões provenientes da presença do resíduo

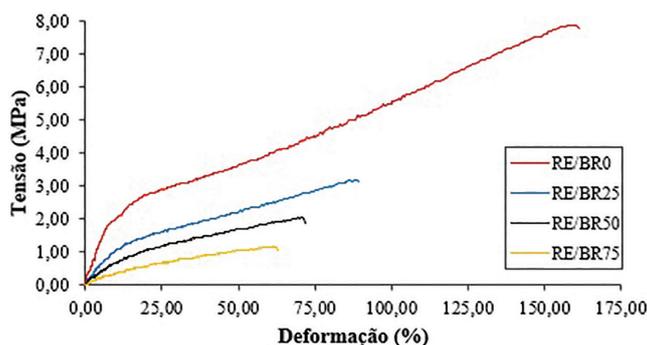


Figura 8: Curvas tensão versus deformação de cada composição.

de borracha, esse acúmulo de tensões pode ter sido responsável pelo início das trincas que acarretaram a ruptura do material, o autor complementa que o percentual de deformação do composto está relacionado com as descon- tinuidades e imperfeições do composto, além de estar também correlacionado com a adesão e compatibilidade entre a carga e a matriz polimérica. ROCETTO *et al.* [23] observaram que a modificação de polímero tenacifi- cado com elastômero, em geral, resultam em baixa miscibilidade e incompatibilidade, orientando para o uso de compatibilizante nas análises, que pode melhorar a adesão e a transferência de tesões entre as fases.

Conforme NEIS *et al.* [32], uma boa adesão é fundamental para garantir que os esforços mecânicos sejam distribuídos uniformemente no material, evitando pontos de elevada tensão que possam vir a fragilizar a matriz e causar a ruptura mais facilmente do material.

Do ponto de vista das propriedades mecânicas, concluiu-se que a inserção de BR reduz a rigidez do material, em contrapartida, diminui significativamente sua resistência sob tração. Embora todas as composi- ções tenham apresentado valores característicos de polímeros dúcteis, com baixo módulo de elasticidade e boa deformação elástica, as melhores propriedades foram conferidas a amostra pura. LUNA *et al.* [5] afirmaram que quando se está utilizando resíduos industriais com uma mistura complexa, é aceitável a queda de propriedades devendo ser levado em consideração que a utilização de resíduos, do ponto de vista tecnológico, propicia uma boa perspectiva de aplicação, e podem reduzir custos e efeitos nocivos sobre o meio ambiente além de agregar valor a um produto que seria descartado.

Com relação a análise DPC, na Tabela 2 consta os valores obtidos no ensaio. Analisando os valores médios de observou-se o aumento significativo da resistência conforme adição de borracha, com ganho máximo de 39% na resistência. Portanto, a amostra RE/BR75 apresentou maior absorção de energia quando submetida à compressão permanente, tendo menos dificuldade de retornar a sua espessura original, apresentado assim maior resistência à compressão permanente. FAGUNDES e JACOBI [33] citam que os elastômeros/termoplásticos apresentam valores de DPC elevados, principalmente aquelas de dureza mais alta.

Tabela 2: Deformação permanente à compressão das composições em estudo.

COMPOSIÇÃO	ESPESSURA INICIAL (mm)	ESPESSURA FINAL (mm)	DEFORMAÇÃO (%)
RE/BR0	11,76 ± 0,36a	9,67 ± 0,09b	76,70 ± 0,61a
RE/BR25	10,39 ± 0,19c	8,83 ± 0,06d	61,87 ± 0,38b
RE/BR50	10,68 ± 0,09bc	9,24 ± 0,06c	57,17 ± 1,47c
RE/BR75	11,28 ± 0,22ab	10,04 ± 0,12a	46,83 ± 0,29d
Valor P	0,0003	<.0001	<.0001

A amostra pura apresentou um comportamento mais plástico dentre as composições, com recuperação elástica parcial. Já as blendas, em decorrência da fração de borracha, notam-se que a DPC diminuiu, obtendo uma melhor recuperação elástica principalmente a amostra com 75% de BR, estando esse valor em conformi- dade com os exigidos pela especificação técnica citado por SOUZA *et al.* [28], que deve ser ≤50%.

Ao avaliarem a DPC de amostras puras e blendas compostas por PVC/NBR convencionais e vulcaniza- das verificaram melhora da resistência à compressão com a presença da borracha nitrílica (NBR) quando com- parada a amostra pura de PVC, [34] observaram ainda que o processo de formação de ligações cruzadas diminui as propriedades elásticas do material tornando o elastômero menos resistente à compressão. Essa afirmação corrobora com que ficou demonstrado nesse resultado devido a incompatibilidade dos componentes das blendas, quanto maior a quantidade de borracha mais fraca a interação, resultando em menor formação de ligações, o que favoreceu aumento das propriedades elásticas e consequentemente menor deformação residual.

Para análise de resistência ao desgaste das amostras em estudos, os valores estão apresentados na Tabela 3 abaixo. Percebe-se que a adição de BR ao sistema teve influência significativa sobre essa propriedade, indicando o aumento na perda de partículas por abrasão conforme aumento percentual em massa de BR. O resultado segue um comportamento quase gradativo, porém, com um pequeno decréscimo ainda que não significativo da amostra com 75% de BR.

A perda de volume por abrasão é uma característica importante na especificação de pisos, uma vez que influenciam diretamente na durabilidade do mesmo. Conforme resultado, o aumento no volume de perda por abrasão pode ser atribuído a menor quantidade de ligações cruzadas devido a incorporação de BR nas amos- tras, a baixa interação mecânica resultou em menor resistência ao desgaste. Quando feita a adição de 25% de BR a perda de partícula por abrasão fica em torno de 40% quando comparada com a amostra pura. Quando

Tabela 3: Perda de volume por abrasão da amostra pura e suas blendas.

COMPOSIÇÃO	DENSIDADE (g.cm ⁻³)	ABRASÃO (mm ³)
RE/BR0	1,32 ± 0,001a	292,82 ± 10,41c
RE/BR25	1,24 ± 0,001b	487,91 ± 13,78b
RE/BR50	1,22 ± 0,003c	595,61 ± 41,09a
RE/BR75	1,19 ± 0,006d	578,31 ± 40,15a
Valor P	<.0001	<.0001

adicionados 50 ou 75% de BR essa porcentagem passa para 50% de perda e se estabelece nesse valor. [35] ao avaliar compósitos composto por borracha natural com negro de fumo e resíduos de couro a serem aplicados como pisos e revestimentos, afirmou que 250 mm³ é normatizado como abrasão limite para materiais poliméricos. Neste sentido, nenhum dos resultados apresentados atenderam ao limite de desgaste estabelecido, havendo restrição para aplicação como piso de instalação animal.

Estudos realizados por [36] mostraram que o material virgem de estireno-butadieno-estireno (SBS) tem menos partículas cisalhadas do que quando adicionado a borracha de pneu, os autores observaram que houve aumento das partículas cisalhadas nas misturas com 20% e 25% de pneu e decréscimo quando adicionado 30% para valores próximos ao SBS virgem. NEIS *et al.* [32] ao avaliar a influência do resíduo de pneu junto ao copolímero estireno-etileno-butileno-estireno (SEBS) para aplicação em pisos industriais, os testes de abrasão mostraram que o resíduo também prejudicou essa propriedade com aumento no volume de perda proporcional a inserção de resíduo.

Com relação a dureza, a inserção de BR reduziu significativamente a rigidez dos compostos em relação ao material de referência (Tabela 4), conforme reportado por [37] nos elastômeros essa propriedade está associada a densidade de ligações cruzadas, quanto maior a densidade de ligações, maior dureza. Esse resultado indica que a diminuição de reticulação foi proporcional ao acréscimo de BR no sistema. Comparando a amostra pura a amostra com maior teor (75%), temos uma redução na dureza em torno de 36%.

Tabela 4: Valor de dureza das amostras em função do teor de BR.

COMPOSIÇÃO	DUREZA (SHORE A)
RE/BR0	78,33 ± 1,50a
RE/BR25	68,11 ± 0,78b
RE/BR50	62,44 ± 0,73c
RE/BR75	50,00 ± 0,00d
Valor P	<.0001

Conforme afirma [38], à medida que o grau de cristalinidade de um polímero aumenta, a dureza também aumenta, essa afirmação converge com o que foi analisado em DSC e Conforme Zattera, Zeni e Ferreira [6] afirmaram que existe uma relação direta entre a cristalinidade do material com o teor de acetato de vinila no EVA. De acordo com [39] o teor de acetato de vinila no EVA é variável na ordem entre 5 e 60%, a medida em que esse teor aumenta, diminui a cristalinidade e aumenta a flexibilidade. Para o material em estudo, foi reportado pelo fornecedor que o resíduo de EVA 5208 apresenta teoricamente 21% de acetato de vinila, podendo esse teor ser variável já que o processo de formação de ligações cruzadas do EVA altera suas propriedades térmicas e mecânicas. Essa menor concentração de acetato de vinila torna mais cristalino, justificando a maior rigidez das amostras puras. ZATTERA *et al.* [6] afirmaram que materiais com teor em torno de 20% a dureza é similar ao PVC flexível.

A pesquisa desenvolvida por [40] com blenda de SBR/EVA obtiveram valores de dureza variando entre 61,7 e 72,2, concluindo que o material apresenta dureza média. [35] em sua pesquisa para o desenvolvimento de pisos a partir de compósito de borracha natural e couro, apontou resultado de dureza variando entre 42,0 e 76,0 shore A. Para SOUZA *et al.* [28] a especificação técnica apresentada para dureza de compostos elastoméricos deve variar entre 40 ± 5 Shore A.

A partir dos resultados, é possível classificar cada uma das formulações de acordo com o resultado de dureza obtido. A composição com 75% de BR é o material de dureza macia, característica importante para aplicação como pisos em ambientes de confinamento em que o animal necessita de conforto, pois passa a maior parte do dia com restrição de movimento. Já as demais composições podem ser classificadas como dureza média.

5. CONCLUSÕES

As blendas RE/BR são incompatíveis nas 3 concentrações propostas desta pesquisa, o que torna um material menos resistente a esforços sob tração e aumenta da perda de partícula por abrasão, apresentando efeito positivo sobre a redução da dureza e resistência a compressão prolongada das placas. Como sugestão para aumentar a adesão entre os materiais, pode ser analisado a incorporação de agente compatibilizante ao sistema, o que pode promover aumento da compatibilidade e a estabilidade morfológica da blenda.

Embora a composição com 75% de BR tenha apresentado mais macia e com melhor recuperação elástica, características importantes para o conforto dos animais em ambientes de confinamento, e sua composição possibilite uma produção mais sustentável, um piso com essa composição teria a durabilidade comprometida o que representaria maiores custos para o produtor com a manutenção do piso. Concluindo assim, que a amostra sem borracha apresentou melhor potencial de reciclagem podendo ser aplicado como piso para instalação animal.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. A Alpargatas, a Metal Américas e ao Grupo Amazonas por ceder os resíduos e processar o material.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] CARVALHO, C.M.C., ANTUNES, R.C., CARVALHO, A.P., *et al.*, “Bem estar na suinocultura”, *Nutritime*, v. 11, n. 2, pp. 2272–2286, Abr. 2013.
- [2] STULL, C., RODIEK, C., COLEMAN, R., *et al.*, “Horses”, In: American Society of Animal Science. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching, 4th ed., Champaign, IL, American Society of Animal Science, pp. 90–100, 2020.
- [3] GOMES, E.G.S., MELO, A.B., “Caracterização do fluxo de calor em alvenaria com blocos EVA”, *Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 9, n. 4, pp. 290–304, Dez. 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v9i4.8651603>.
- [4] TUTIKIAN, B.F., ZUCHETTO, L.K., SOUZA, R.P., *et al.*, “Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais”, *Ambiente Construído*, v. 17, n. 3, pp. 295–306, Set. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300177>.
- [5] LUNA, C.B.B., SILVA, D.F., ARAÚJO, E.M., *et al.*, “Estudo do comportamento mecânico, termomecânico e morfológico de misturas de poliestireno/composto de borracha reciclada (SBR)”, *Revista Matéria*, v. 20, n. 2, pp. 322–334, Jun. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0033>.
- [6] ZATTERA, A J., ZENI, M., FERREIRA, C.A., “Caracterização de resíduos de Copolímeros de Etileno-acetato de vinila – EVA”, *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n. 1, pp. 73–78, Mar. 2005.
- [7] GARLET, G. *Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil*. Dissertação de D.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 1998.
- [8] SILVA, H.N., DUARTE, C.R., CARDOSO, H.P., *et al.* Aplicação de Resíduos de EVA da Indústria de Calçados Como Agente de Tenacificação de Polímeros Termorrígidos. In: *XXII CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Natal, 2016.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM D 3182 Standard Practice for Rubber – Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets*, West Conshohocken, ASTM, 2016.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR NM 248 Agregados – Determinação da Composição Granulométrica*, Rio de Janeiro, ABNT, 2003.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM D 638 M Standard Test Methods for Compressive Properties of Rigid Plastic*, West Conshohocken, ASTM, 2008.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM D 395 Standard Test Methods for Rubber Property – Compression Set. Method B*, West Conshohocken, ASTM, 2018.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT ISO 4649 Borracha, Vulcanizada ou Termoplástica – Determinação da Resistência à Abrasão Usando um Dispositivo de Tambor Cilíndrico Rotativo*, Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT ISO 2781 Borracha Vulcanizada ou Termoplástica – Determinação da Densidade Método A*, Rio de Janeiro, ABNT, 2015.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 14454 Construção Inferior do Calçado – Solas, Solados e Materiais Afins – Determinação da Dureza Shore A e D*, Rio de Janeiro, ABNT, 2020.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 10455 Climatização de Materiais Usados na Fabricação de Calçados e Correlatos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2021.
- [17] ZULKEPLI, N.N., ISMAIL, H., RASHID, A.A., “Effects of diferente particle sizes of recycled acrylonitrile-butadiene rubber and its blend ratios on Mechanical and Morphological properties and curing characteristics of SBR/NBR blends”, *Iranian Polymer Journal*, v. 18, n. 2, pp. 139–148, Jan. 2009.
- [18] PESSOA, D.F., “*Pó de borracha reutilizado na confecção de compostos de borracha natural para produção de peças de engenharia do setor automotivo*,” Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2012.
- [19] KHALAF, A.I., WARD, A.A., ROZIK, N.N., “Investigation of physical properties and morphology of compatibilized EPDM/EVA blends”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 31, n. 3, pp. 376–391, Abr. 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0892705717704486>.
- [20] RADHAKRISHNAN, C.K., SUJITH, A., UNNIKRISHNAN, G., *et al.*, “Effects of the blend ratio and crosslinking systems on the curing behavior, morphology, and mechanical properties of styrene-butadiene rubber/poly(ethylene-co-vinyl acetate) blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 94, n. 2, pp. 827–837, Ago. 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/app.20939>.
- [21] SOARES, B.G., OLIVEIRA, P.J., “Efeito da compatibilização da mistura NBR/EVA sobre sua morfologia de fase co-contínua”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 1, pp. 28–35, Jan. 2003. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282003000100008>.
- [22] BHATTACHARYYA, A.R., GHOSH, A.K., MISRA, A., *et al.*, “Reactively compatibilised polyamide6/ethylene-co-vinyl acetate blends: mechanical properties and morphology”, *Polymer*, v. 46, n. 5, pp. 1661–1674, Fev. 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2004.12.012>.
- [23] ROCETTO, L.B., ZENI, M., BRANDALISE, R.N., “Utilização de elastômeros como modificadores de impacto em poliamidas,” *Scientia Cum Industria*, v. 4, n. 3, pp. 135–147, Nov. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss3p135>.
- [24] SOUZA, D.D., “*Desenvolvimento de Blendas de Poliestireno/Poli(Ecaprolactona)*”, Tese de D.Sc., Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2016.
- [25] LUNA, C.B.B., SILVA, D.F., ARAÚJO, E.M., *et al.*, “Comportamento reológico, mecânico, termomecânico e morfológico de blendas de poliestireno/resíduo de calçados com diferentes granulometrias,” *Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 14, n. 3, pp. 219–226, Set. 2017.
- [26] TORRECILLAS, H.V., “Influência da sequência de processamento nas propriedades de engenharia da blenda PP/SEBS contendo argila montmorilonita,” Dissertação de M.Sc., Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, SP, Brasil, 2014.
- [27] FIGUEIRA, R.C.R., “*Análise da processabilidade de blendas PBT/ABS compatibilizadas in situ com copolímeros acrílicos*”, Tese de D.Sc., Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2007.
- [28] SOUZA, S.G., HERBST, G., SILVEIRA, M.L.L., *et al.*, “Avaliação de diferentes formulações de compostos elastoméricos SBR/NR visando minimizar a pré-vulcanização”, *Revista Matéria*, v. 23, n. 4, pp. 1–11, Maio. 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0592>.
- [29] REICHERT, I.K., *Dossiê técnico: normas de ensaios de controle da qualidade em calçados e especificações*, SBRT, 2006. <http://sbrt.ibict.br>, acessado em outubro de 2022.
- [30] OLIVEIRA, M.G., VIRGOLINO, M.H., GOMES, A.C.O., *et al.*, “Caracterização das propriedades reológicas e dinâmicas de composições de borracha natural com resíduo de EVA”, *Revista Polímeros*, v. 14, n. 5, pp. 301–306, Dez. 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282004000500005>.
- [31] REZENDE, R.L., SILVA, A.L.S., CANTO, L.B., *et al.*, “Propriedades mecânicas e morfologia de misturas de EVA e LDPE com incorporação de resíduos industriais de EVA e de SBR”, In: *IX CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros*, Campina Grande, Out. 2007.
- [32] NEIS, M., SANTANA, R.M.C., MORISSO, F.D.P., “Influência da adição de resíduo de pneu em matriz de SEBS para aplicação em pisos industriais”, *Revista Matéria*, v. 27, n. 1, pp. e13139, Ago. 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620220001.1339>.

- [33] FAGUNDES, E.C.M., JACOBI, M.A.M., “TPVs PA/NBR: sistema de reticulação e propriedades”, *Revista Polímeros*, v. 22, n. 2, pp. 206–212, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282012005000021>.
- [34] PASSADOR, F.R., PESSAN, L.A., RODOLFO JUNIOR, A., “Blendas PVC/NBR por processamento reativo II: caracterização físico-mecânica e morfológica”, *Revista Polímeros*, v. 18, n. 2, pp. 87–91, Jun. 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000200004>.
- [35] RUIZ, M.R., “Caracterização do compósito obtido a partir de borracha natural com negro de fumo e resíduos de couro aplicado como pisos e revestimentos”, Tese de DS.c., Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, Brasil, 2014.
- [36] MACHADO, L.S.B., PROCHNOW, E.A., TUBINO, R., *et al.*, “Influência do teor de pneu inservível micronizado nas propriedades físicas de borracha termoplástica para fabricação de placa podotátil”, In: *XXI CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Cuiabá, 2014.
- [37] CANAZZA, M.A., “Reciclagem de elastômeros via micro-ondas”, Dissertação de DS.c., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/D.3.2019.tde-22082019-135510>.
- [38] ROJAS, G.J.A., “Utilização da borracha natural no desenvolvimento de elastômeros termoplásticos”, Dissertação de DS.c., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil, 2010.
- [39] COLOMBO, M.A., ZIMMERMANN, M.V.G., PIAZZA, D., *et al.*, Influência do grau de reticulação no poli (etileno-coacetato de vinila) (EVA) com diferentes teores de 1,1 Di (Terbutilperoxi) 3,3,5 Trimetilciclohexano) (Tmch), In: *XXII CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Natal, 2016.
- [40] RAVEVERMA, P., IBRAHIM, M., SA’UDE, N., *et al.* Mechanical behaviour study on SBR/EVA composite for FDM feedstock fabrication, In: *Conference Proceedings*, v. 1831, n. 1, pp. 020011, Abr. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4981152>.