



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA



**COMPÓSITOS DE BORRACHA REGENERADA E RESÍDUOS DE EVA
PARA REVESTIMENTO EM INSTALAÇÕES RURAIS**

Campina Grande – PB

Julho, 2022.

COMPÓSITOS DE BORRACHA REGENERADA E RESÍDUOS DE EVA PARA REVESTIMENTO EM INSTALAÇÕES RURAIS

Silvia Noelly Ramos de Araújo

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA/UFPG, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: **Construções Rurais e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto

Campina Grande – PB

Julho, 2022.

A663c

Araújo, Silvia Noelly Ramos de.

Compósitos de borracha regenerada e resíduos de eva para revestimento em instalações rurais / Silvia Noelly Ramos de Araújo. – Campina Grande, 2022.

105 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto".

Referências.

1. Construções Rurais. 2. Pisos. 3. Resíduos. 4. Polímeros. 5. Reciclagem. 6. Instalação Rural. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 631.21 (043)

Silvia Noelly Ramos de Araújo

COMPÓSITOS DE BORRACHA REGENERADA E RESÍDUOS DE EVA PARA REVESTIMENTO EM INSTALAÇÕES RURAIS

Aprovada em: 29/07/2022

José Pinheiro Lopes Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

José Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Dermeval Araújo Furtado - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Luiza de Souza Rezende - Examinador(a) Externo(a) - UAEP/CTRN/UFCG

Tiago Gonçalves Pereira Araújo - Examinador(a) Externo(a) – UATEC/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em

15/08/2022, às 10:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, COORDENADOR(A) ADMINISTRATIVO(A)**, em 15/08/2022, às 10:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 16/08/2022, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **TIAGO GONCALVES PEREIRA ARAUJO, PROFESSOR(A) DOMAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/11/2022, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA LUIZA DE SOUZA REZENDE, PROFESSOR(A) DOMAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/11/2022, às 12:14,



conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2626892** e o código CRC **7973F4F1**.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Neto, meu orientador, pela parceria desde o mestrado e por acreditar nessa pesquisa. Agradeço pela compreensão e pela partilha de seus conhecimentos ao longo desses anos.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao CNPq pelo apoio financeiro na pesquisa.

A minha mãe, Fátima, por ser essa fortaleza de força, um verdadeiro exemplo de mulher guerreira. Estendo também a Vanessa, minha irmã, por todo seu amor.

As minhas filhas Heloísa e Isabella, que despertaram minha força e coragem e foram inspiração para continuar trilhando meu caminho com firmeza.

A Adriano pelo companheirismo e parceria nessa caminhada.

Estendo o agradecimento a minha família que de alguma forma contribuíram para que essa etapa fosse realizada, mas em especial as primas Bárbara e Suellen.

Ao grupo Amazonas, em nome de Abner, por ceder os resíduos de EVA utilizados nessa pesquisa.

A empresa Metal Américas, em nome de Priscila e Moshiko, que da mesma forma cedeu os resíduos de borracha regenerada.

A empresa Alpargatas, em nome de Aécio, Daniel, Deangelis, Robson, Frank e Leonardo pelo auxílio para processamento do material e por toda atenção dispensada durante todo o processo.

Ao professor Kegenaldo Alves que fez a ponte para meu acesso a Alpargatas para processamento dos materiais utilizados nessa pesquisa.

Ao laboratório de caracterização de materiais da UFCG, pelas análises realizadas nas amostras e pela colaboração de Emanuel, Jean, Fabiana, Dayanne, Prof. Tomás Jeferson e Prof^a. Crislene Morais.

A professora Laura Hecker que de forma tão gentil me recebeu em sua sala e partilhou informações tão importantes para realização deste trabalho.

Ao apoio de técnicos da UFCG, em nome de Joselito e Thiago que contribuíram para realização desta pesquisa.

Aos amigos e amigas da UFCG, pelo incentivo e parceria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Representação das cadeias dos polímeros: linear sem ramificação (a); linear com ramificação (b); tridimensional com ligações cruzadas (c).....	20
Figura 2.	Morfologia de blendas poliméricas imiscíveis: dispersa com domínio esférico/gotas (a); co-contínuo (b) e estratificada ou fibrosa (c).....	31
Figura 3.	Fluxograma das etapas seguidas nesta pesquisa.....	41
Figura 4.	Resíduos de EVA (a) e Borracha de pneu regenerada (b).....	42
Figura 5.	Mistura do material em cilindro aberto (a); monitoramento da temperatura dos cilindros (b); Lâminas homogeneizadas (c).....	43
Figura 6.	Amostra para estudo reológico (a); reômetro de cavidade oscilante (b); amostra testada (c).....	44
Figura 7.	Lâminas para vulcanização (a); prensa térmica utilizada (b); Resultado final das placas (c).....	45
Figura 8.	Amostras imersas em água destilada (a); amostras para secagem com papel toalha (b) e amostra sendo pesada após secagem (c).....	47
Figura 9.	Equipamento TA-600 da Shimadzu.....	47
Figura 10.	Equipamento DSC-Q20 da TA Instruments.....	48
Figura 11.	Caixa térmica utilizada para análise do coeficiente de condutividade das placas (a), (b), (c) e (d).....	49
Figura 12.	EMIC DL 2000 (a); corpos de prova para tração (b).....	54
Figura 13.	Equipamento e corpos de prova para ensaio de deformação permanente à compressão – Método B.....	55
Figura 14.	Corpos de prova utilizados no ensaio de dureza.....	56
Figura 15.	Metalizador (a); SSX-500 Superscan (b).....	57
Figura 16.	Granulometria dos resíduos utilizados na pesquisa.....	60
Figura 17.	Micrografia do RE/BR0: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x.....	60
Figura 18.	Micrografia da blenda RE/BR25: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x.....	60
Figura 19.	Micrografia da blenda RE/BR50: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x.....	60
Figura 20.	Micrografia da blenda RE/BR75: (a) aspecto geral – ampliação de 100x	61

	(b) aspecto da interface – ampliação de 1000x.....	
Figura 21.	Absorção de água dos materiais até atingir saturação.....	62
Figura 22.	Análise de TGA e DTG do resíduo de EVA e suas blendas.....	65
Figura 23.	Termograma de DSC de aquecimento das amostras de resíduo de EVA e suas blendas.....	67
Figura 24.	Termograma de DSC de resfriamento das amostras de resíduo de EVA e suas blendas.....	68
Figura 25.	Diferença de temperatura entre as faces da placa de cada composição.....	69
Figura 26.	Atraso térmico das placas em estudo: (a) RE/BR0; (b) RE/BR25; (c) RE/BR50; (d) RE/BR75.....	75
Figura 27.	Curvas tensão versus deformação de cada composição.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades mecânicas do resíduo de EVA.....	25
Tabela 2. Tipos de contaminantes constantes nos pneus	27
Tabela 3. Informações dos materiais utilizados na pesquisa.....	44
Tabela 4. Composição mássica dos corpos de prova	45
Tabela 5. Estabilidade térmica das amostras em estudo	67
Tabela 6. Dados de DSC da amostra pura e suas blendas.....	69
Tabela 7. Propriedades termofísicas dos materiais em estudo.	71
Tabela 8. Propriedades térmicas das placas	73
Tabela 9. Parâmetros reométricos das amostras analisadas.	78
Tabela 10. Propriedades mecânicas de tração para todas as composições.....	80
Tabela 11. Deformação permanente à compressão das composições em estudo.....	83
Tabela 12. Perda de volume por abrasão da amostra pura e suas blendas	84
Tabela 13. Valor de dureza das amostras em função do teor de BR.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/UNIDADES

ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
BR	Polibutadieno
cm	Centímetro
Cl ⁻	Cloreto
DSC	Calorimétricas exploratória diferencial
EPDM	Etileno-propileno-dieno monómero
EVA	Etileno-acetato de vinila
h	Horas
HIPS	Poliestireno de alto impacto
Kg.m ⁻³	Kilograma por metro cúbico
kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	Kilojoule por quilograma kelvin
LaCRA	Laboratório de Construções Rurais e Ambiência
LCM	Laboratório de Caracterização de Materiais
mm	Milímetros
m ²	Metro quadrado
mm ³	Milímetros cúbicos
Mg ²⁺	Magnésio
MDF	Medium density fiberboard
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MGE	Metacrilato de metila-co-metacrilato de glicidila-co-acrilato de etila
N	Newton
NBR	Borracha acrilonitrila butadieno
NH ⁴⁺	Amônia
NR	Borracha natural
PBT	Poli (tereftalato de butileno)
PCL	Poli(ϵ -caprolactona)
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Poli(cloreto de vinila)

RPM	Rotações por minuto
SO ₄ ²⁻	Sulfato
SEBS	Copolímero estireno-etileno-butileno-estireno
SBS	Estireno-butadieno-estireno
SBR	Borracha de butadieno estireno
Tg	Temperatura de transição vítrea
TGA	Termogravimétrica
Tm	Temperatura de fusão cristalina
u	Unidade de massa atômica
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UR	Umidade relativa do ar
W.m ⁻²	Watt por metro quadrado
W.m ⁻¹ .K ⁻¹	Watt por metro kelvin

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/UNIDADES.....	9
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo Geral.....	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1. Polímeros.....	18
3.1.1. Classificação dos Polímeros.....	19
3.2. Resíduos de Etileno Acetato de Vinila - EVA.....	21
3.3. Borracha de Pneu Regenerada.....	24
3.4. Blendas Poliméricas.....	26
3.4.1. Tenacificação de Polímeros.....	28
3.4.2. Morfologia das Blendas Imiscíveis.....	30
3.5. Caracterização Microestrutural do Material por MEV.....	31
3.6. Pisos para Instalação de Produção Animal.....	32
3.6.1. Propriedades Mecânicas do Material.....	34
3.6.2. Propriedades Termo Físicas do Material.....	36
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1. Materiais da Pesquisa.....	42
4.2. Concentração dos Materiais.....	42
4.3. Confeção dos Corpos de Prova.....	43
4.3.1. Mistura do Material.....	43
4.3.2. Reometria de Torque.....	43
4.3.3. Vulcanização das Lâminas.....	44
4.4. Caracterização Física.....	44
4.4.1. Granulometria.....	44
4.4.2. Absorção de Água.....	45
4.5. Caracterização Térmica.....	46

4.5.1.	Termogravimetria – TGA.....	47
4.5.2.	Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC.....	47
4.5.3.	Desempenho Térmico.....	48
4.6.	Caracterização Mecânica.....	54
4.6.1.	Tração.....	55
4.6.2.	Deformação Permanente à Compressão - DPC.....	55
4.6.3.	Abrasão.....	55
4.6.4.	Dureza.....	56
4.7.	Caracterização Morfológica.....	57
4.7.1.	Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV.....	57
4.8.	Estatística.....	58
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1.	Distribuição Granulométrica.....	59
5.2.	Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV.....	60
5.3.	Absorção de Água.....	62
5.4.	Termogravimetria – TGA.....	64
5.5.	Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC.....	66
5.6.	Desempenho Térmico.....	68
5.7.	Análise Reométrica.....	75
5.8.	Tração.....	77
5.9.	Deformação Permanente à Compressão - DPC.....	80
5.10.	Abrasão.....	81
5.11.	Dureza.....	82
6.	CONCLUSÕES.....	85
7.	TRABALHOS FUTUROS.....	86
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
	APÊNDICE.....	103
	Apêndice A – Curvas de reometria de torque para amostra pura e suas blendas.....	103
	ANEXO A.....	104
	Ficha técnica do resíduo de EVA.....	104
	ANEXO B.....	105
	Ficha técnica da borracha de pneu regenerada.....	105

RESUMO

Nos sistemas de produção rural é crescente a necessidade por instalações que propiciem bem-estar dos animais, utilizando novos materiais com características tecnológicas específicas, que una baixo custo, alta eficiência e sustentabilidade. Os resíduos poliméricos são materiais potencialmente recicláveis, que possuem boas propriedades térmicas e mecânicas, alto valor agregado e podem ser aplicados nas instalações como piso, de modo a reduzir o desconforto do confinamento. Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a combinação entre o resíduo de EVA e a borracha regenerada oriunda de pneus, avaliando-se a viabilidade do composto a ser aplicado como piso em instalação de produção animal. Foram produzidas amostras em 4 diferentes concentrações de 0, 25, 50 e 75% de borracha, verificando-se que o as composições iniciam sua fusão aos 40 °C e começa a degrada a partir dos 220 °C. Dentre as blendas, ficou evidenciado que adicionando até 25% de borracha o material absorve menos de 1% de água. Com 75% apresenta-se macio, com menor deformação residual e maior atraso térmico. Para todas as blendas verificou-se a incompatibilidade entre os componentes com perda de propriedade mecânica sob tração dos compostos, demonstrando efeito positivo sobre a redução de sua dureza. Estima-se que a melhoria de propriedade pode ser alcançada com uso de agente compatibilizante que favoreça a adesão entre os materiais. Conclui-se que, embora a inserção de borracha regenerada junto ao resíduo de EVA possibilite uma produção mais sustentável, houve declínio significativo das propriedades mecânicas para este fim, portanto, as composições têm potencial para aplicação como piso de instalação de produção animal, contudo a amostra sem borracha apresentou melhor potencial de reutilização.

Palavras-chave: Pisos, resíduos, polímeros, reciclagem, instalação rural.

ABSTRACT

In rural production systems, there is a growing need for facilities that provide animal welfare, using new materials with specific technological characteristics that combine low cost, high efficiency and sustainability. Polymeric waste is a potentially recyclable material that has good thermal and mechanical properties, high added value, and can be applied in facilities as flooring, in order to reduce the discomfort of confinement. In this sense, this research aimed to characterize the combination of EVA waste and regenerated rubber from tires, evaluating the feasibility of the compound to be applied as flooring in animal production facilities. Samples were produced in four different concentrations of 0, 25, 50 and 75% rubber, and it was verified that the compositions begin their melting at 40 °C and begin to degrade from 220 °C. Among the blends, it was evident that by adding up to 25% rubber the material absorbs less than 1% water. With 75% it is soft, with lower residual deformation and longer thermal delay. For all the blends it was verified the incompatibility between the components with loss of mechanical property under traction of the compounds, demonstrating a positive effect on the reduction of its hardness. It is estimated that the property improvement can be achieved with the use of a compatibilizing agent that favors the adhesion between the materials. It is concluded that, although the insertion of regenerated rubber along with the EVA waste enables a more sustainable production, there was a significant decline in mechanical properties for this purpose, therefore, the compositions have potential for application as flooring of animal production facility, however the sample without rubber showed better potential for reuse.

Keywords: Floors, waste, polymers, recycling, rural installation.

1. INTRODUÇÃO

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 fisiológicos e comportamentais em resposta as características da instalação que podem causar desconforto. Embora o bem-estar animal esteja associado a multi fatores, sabe-se da sua relação direta com os elementos construtivos da instalação, necessitando muitas vezes de maior atenção e mais investimentos do produtor. Dentre os elementos, o piso pode ser considerado um dos pontos críticos do projeto, devendo reunir um conjunto de características que ofereçam conforto para colaborar com o bom desempenho produtivo e reprodutivo do rebanho.

As instalações projetadas nos sistemas de produção animal, o piso em concreto é amplamente utilizado por ser durável, apresentar facilidade de limpeza e baixo custo, em contrapartida, possui baixa capacidade de isolamento térmico o que promove trocas excessivas de calor do animal com o ambiente, causando desconforto principalmente em animais jovens; possui alta abrasividade e dureza, o que o torna responsável pelas lesões nos cascos e na pele dos animais; é um tipo de piso que concentra umidade com facilidade, podendo manter os cascos amolecidos e favorecer o crescimento de bactérias. 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, o alto custo com a matéria-prima torna o investimento inicial maior que outros tipos de pisos disponíveis no mercado. Neste sentido, seguindo a tendência mundial com soluções eficientes aplicadas à construção a partir do uso de materiais alternativos, faz-se necessário tornar também essa uma meta para as atividades do meio rural.

O crescente aumento na fabricação de produtos poliméricos de origem sintética gerou, conseqüentemente, a preocupação com o descarte dos resíduos gerados, já que materiais desta natureza levam um longo período para sua degradação total. É importante salientar que resíduos possuem alto valor agregado e podem em sua maioria serem reprocessados e transformados em novos produtos.

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. Nesse contexto, é crescente o número de pesquisas feitas

com a incorporação de resíduos elastoméricos junto à termoplásticos ou termofixos, o que tem sido descritos como método de otimização capaz de ampliar a faixa de utilização de alguns materiais e obter produtos de maior resistência. Entretanto, tornar o material de aplicação prática ainda é um desafio, pois só a mistura polímero-polímero não garante sucesso no resultado, devendo ocorrer uma análise criteriosa quanto a interações entre os materiais.

O etileno acetato de vinila (EVA) é um polímero amplamente empregado nas indústrias calçadista e de materiais esportivos e, embora uma porcentagem do resíduo seja incorporada novamente no processo produtivo, o volume de resíduos sem um destino correto é ainda muito grande. O EVA é classificado como polímero termofixo/termoplástico, o que confere uma estrutura mais rígida, resultando em um material com alta resistência química e mecânica; é poroso, o que lhe torna leve, absorvedor de choques e ótimo isolante térmico; possui células fechadas o que confere ao material maior dificuldade na absorção de água.

A borracha é classificada como elastômero e quando vulcanizada para ser utilizada como pneu, por exemplo, transforma-se em termofixo, o que lhe confere forma e propriedade adequada para sua finalidade. Quando inservível, o pneu pode provocar sérios danos ambientais e, a reciclagem de materiais dessa natureza representa um problema devido a impossibilidade de conformação térmica com o material vulcanizado. Embora existam disponíveis alternativas de reaproveitamento em alguns seguimentos da indústria utilizando a borracha vulcanizada, a alta demanda de descarte torna a atividade ainda incipiente, e dependendo da aplicação é necessário que seja feita a quebra das ligações cruzadas para tornar o material passivo de ser remoldado.

Alguns pisos são produzidos a partir da reciclagem de materiais poliméricos onde são normalmente aplicados em lugares públicos como parques, condomínios residenciais, metrô e calçadas. 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. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência em diferentes concentrações de resíduo de EVA/borracha de pneu regenerada sobre as características físicas, térmicas, mecânicas e morfológicas a fim de verificar sua viabilidade de aplicação como piso para instalações de produção animal.

2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver blendas de resíduo de EVA/borracha de pneu regenerada como alternativa de material de piso para instalação de produção animal;
- Avaliar a influência da borracha de pneu regenerada, variando a concentração em 25, 50 e 75% sobre as propriedades das blendas propostas, tomando como referência a amostra sem borracha;
- Utilizar resíduos de EVA e a borracha de pneu regenerada para caracterizar a interação do composto por meio de ensaio físico (granulometria, densidade, absorção de água), reológico, térmico (desempenho, TGA e DSC), mecânico (tração, deformação, abrasão e dureza) e morfológico (MEV);

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Polímeros

A palavra polímero origina-se do grego, *poli* (muitos) e *meros* (partes de repetição), assim, um polímero é uma macromolécula composta por milhares de unidades de repetição denominadas meros, ligados entre si através de ligação covalente (Canevarolo Jr., 2010). A matéria-prima para a produção do polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma unidade de repetição, que dependendo da estrutura química desse monômero, do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, pode-se dividir os polímeros em três grandes classes: como plásticos, borrachas e fibras. Os polímeros podem ser materiais de origem orgânica ou inorgânica, com alto peso molecular e com variedades estruturais repetitivas, existindo no estado amorfo, ocorrendo na disposição desordenadas das moléculas, ou no estado cristalino em que há uma ordenação tridimensional (Passatore, 2013).

As macromoléculas possuem alto peso molecular, e quanto maiores, melhores as propriedades mecânicas do polímero, isto em razão das ligações das longascadeias de moléculas que são formadas por milhares ou milhões de átomos que se entrelaçam e interagem fortemente (Passatore, 2013). Manrich (2005) afirmou que a faixa média de pesos moleculares de alguns polímeros variam entre 20.000u para o PEBD a 300.000u para a celulose, tendo os polímeros de interesse comercial, massa molecular média superior a 10.000u. Se as cadeias de macromoléculas estiverem não apenas entrelaçadas, mas unidas através de ligações químicas, as chamadas ligações cruzadas, a resistência mecânica é aumentada, permitindo a confecção de peças e objetos bastante resistentes, capazes de suportar condições relativamente drásticas de uso, como choques, atritos ou tração (Passatore, 2013).

Por possuírem alto peso molecular ou cadeias muito compridas, os polímeros quase nunca se cristalizam completamente e, seu estado físico pode ser líquido (total amorfismo ou ausência de cristalinidade) ou sólido (cristalinidade parcial). A partir do estado físico, pode-se definir duas grandezas de vital importância para os polímeros: Temperatura de Fusão Cristalina (T_m) e Temperatura de Transição Vítrea (T_g). Conforme Carvalho (2009) na T_m ocorre uma transição de primeira ordem termodinâmica, pois há uma mudança de estado, ou mudança de fase (cristalina para amorfa), ocorrendo mudança de entalpia e de volume. O autor aponta ainda que os polímeros possuem T_g , e os polímeros essencialmente amorfos não possuem T_m , pois fusão significa a transformação da fase cristalina sólida em fase líquida. Os

polímeros amorfos não têm fusão, mas migram do estado vítreo para o estado fluido ao passarem por T_g (Passatore, 2013).

Os diferentes polímeros, blendas e compostos existentes apresentam um largo espectro de propriedades, e em função dessas propriedades são definidas também as escolhas para as múltiplas aplicações (Manrich, 2005). Passatore (2013) cita que os polímeros são materiais porosos, o que lhe confere baixa densidade, baixa condutibilidade térmica/elétrica quando comparados a outros materiais; são resistentes à corrosão por oxigênio ou a produtos químicos; são flexíveis, resistentes ao impacto e processados a baixa temperatura.

Sua densidade varia em uma faixa de aproximadamente 0,9 a 2,3 g.cm^{-3} , sendo mais leves que os metais ou a cerâmica. São mal condutores térmico e elétrico, estando a baixa condutividade relacionada à falta de elétrons livres, sendo, portanto, materiais altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, com condutividade que varia entre 0,15 a 0,5 $\text{W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$. Possuem flexibilidade variável em uma faixa bastante ampla, conforme o tipo de polímero e os aditivos utilizados na sua formulação. E quanto a temperatura de processamento para conformação de peças, requer aquecimento variando entre a temperatura ambiente e 250 °C, o que decorre de baixo consumo de energia, equipamentos mais simples e não tão caros (Passatore, 2013).

3.1.1. Classificação dos polímeros

Os polímeros podem ser classificados de diferentes maneiras, dependendo do objetivo de quem os classifica. A partir das formas mais comuns de classificação, Melo (2014) cita-os em função de quatro aspectos: método de preparação, características tecnológicas, estrutura química e comportamento mecânico.

Através do método de preparação, os polímeros são classificados em polímeros de adição e de condensação, sendo os de adição aqueles formados a partir de um único monômero através de uma reação de adição sem apresentar subprodutos; já os polímeros de condensação são formados por monômeros diferentes através de uma reação de condensação apresentando subprodutos (Melo, 2014).

Através das características tecnológicas, tem-se associação a forma estrutural da cadeia polimérica que influencia as características físicas do polímero (Callister Jr., 2015; Canevarolo Jr., 2010), o qual podemos classificá-los em:

- a) Termoplásticos: apresentam cadeias lineares ou ramificadas e tornam-se mais maleáveis ou fundem-se quando aquecidos, sendo fácil seu processamento. Esta família pertence ao Poliéster saturado (PET), Policloreto de Viníla (PVC), Polietileno (PE), Polipropileno (PP), etc.
- b) Termorrígidos: apresentam estrutura tridimensional ou reticulada, com ligações cruzadas que após o resfriamento não conseguem mais voltar à forma original, tornando-se insolúveis e infusíveis como as resinas tipo epóxi;
- c) Elastômeros: no seu estado primário são pegajosos e apresentam fluência nas temperaturas ambiente, apresentam grande deformação elástica reversível, como a borracha (Bower, 2002).

É possível perceber (Figura 1) a representação que dependendo da estrutura da cadeia dos polímeros, eles podem ser classificados como lineares com ramificação e sem ramificação ou com ligações cruzadas, que formam uma rede tridimensional de cadeias poliméricas (Bower, 2002).

Figura 1. Representação das cadeias dos polímeros: linear sem ramificação (a); linear com ramificação (b); tridimensional com ligações cruzadas (c).



Fonte: Alexandre (2005).

Com relação à constituição química dos meros, os polímeros são classificados como homopolímeros ou copolímeros (Sperling, 2001). Homopolímero é um polímero formado a partir de um único monômero, isto é, um único mero constitui a cadeia principal (Callister Jr., 2015; Canevarolo Jr., 2010). São exemplos de homopolímeros o polietileno (PE) e o polipropileno (PP). Os pesquisadores citam ainda que o copolímero é um polímero constituído de mais de um tipo de unidade de repetição, ou seja, possui em sua estrutura mais de um tipo de monômero repetido, estando divididos em uma série de classes dependendo da forma em que as diferentes unidades de repetição são distribuídas ao longo da cadeia polimérica, sendo o EVA um exemplo de copolímero.

E por fim, quanto ao comportamento mecânico temos os polímeros com propriedades bastante diferenciadas a depender de variáveis externas e da estrutura dos mesmos. Os materiais de baixa massa molecular apresentam o comportamento mecânico de duas formas após a retirada de esforços externos: sólido elástico (Hookeano), quando este retorna a sua forma inicial ou líquido viscoso (Newtoniano), quando a deformação é irreversível. Desta forma, os polímeros apresentam um comportamento mecânico entre sólido elástico e o líquido viscoso, dependendo da temperatura e tempo de permanência na mesma; tal característica é denominada de viscoelasticidade (Melo, 2014).

O comportamento mecânico dos polímeros tem como característica principal a sua resistência a deformação que depende diretamente da carga aplicada, da velocidade de carregamento e da temperatura de transição, aumentando a temperatura ocorrerá uma diminuição do módulo de elasticidade, da tensão de fratura e aumento da elasticidade, uma vez que o material poderá atingir a temperatura de transição. Quanto a velocidade de carregamento, observa-se que para altas velocidades o material se comporta como frágil, devido ao curto espaço de tempo que as cadeias têm para se deformar (Melo, 2014).

Desta forma, conforme citado por Massucato et al. (2009) dependendo do comportamento mecânico dos polímeros os mesmos podem classificar-se em: polímeros frágeis que fraturam quando deformados elasticamente; materiais plásticos que se comportam de maneira semelhante aos metais; e as borrachas que apresentam apenas deformação elástica.

3.2. Resíduos de Etileno Acetato de Vinila - EVA

O etileno acetato de vinila (EVA) é um polímero parte termofixo e parte termoplástico, possuindo, portanto, uma estrutura mais rígida, resultado do teor de acetato de vinila que pode variar entre 2% e 45% (Oliveira et al., 2007). Na medida em que se tem maior quantidade de acetato de vinila, suas propriedades se assemelham às da borracha e, diminuindo esta quantidade, o EVA assume características similares ao polietileno de baixa densidade (Gomes, 2015). No Brasil, são produzidas resinas com teor de acetato de vinila de no máximo 28%, para materiais com teor em torno de 20% a dureza é similar ao PVC flexível (Zattera et al., 2005).

Os resíduos 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. Conforme Gomes (2015) esses resíduos não são biodegradáveis e não podem ser reprocessados pois são polímeros termofixos, ou seja, após moldado sob uma

determinada pressão e temperatura sua reciclagem torna-se difícil, e por isso, segundo Oliveira (2009a) são conhecidos poucos programas ou meios de reaproveitamento que absorvam esses resíduos, o que geram problemas ambientais devido ao longo período que levam até a degradação. Em regiões que possuem polos industriais de calçados, a preocupação é ainda maior e a incineração não é recomendada devido à liberação de gases tóxicos (Lima Filho, 2008), portanto, a alternativa encontrada é a reciclagem (Gomes & Melo, 2018).

A reciclagem desses resíduos se torna interessante pois é um material leve e macio, que resiste ao desgaste, além de ter baixo custo (Tutikian et al., 2017). Devido a sua porosidade, o EVA apresenta baixa condutividade térmica, elétrica e acústica. Além disso, é flexível, resistente às quebras sob tensões ambientais e, pode ser facilmente moldado por extrusão, injeção ou filmagem (tubular) (Medeiros, 2018).

Quanto as características térmicas, a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) especificou que o EVA possui condutividade térmica (k) = $0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, densidade aparente (ρ) = $118,48 \text{ kg/m}^3$ e calor específico = $2,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Tendo a faixa de valores de condutividade térmica dos materiais variando entre $0,020 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a espuma de poliuretano a $426 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a prata (González Cruz, 2002), desta forma, o EVA pode ser considerado um mal condutor térmico. A condutividade térmica é uma característica física que varia de acordo com as propriedades dos materiais, e que determina sua capacidade de deixar o fluxo de calor atravessar com maior ou menor facilidade.

Araújo et al. (2017b) avaliaram o conforto térmico de leitões proporcionados por placas com resíduos de EVA sobre o piso e constataram que devido a maior resistência do material, a temperatura da superfície do piso foi superior comparada ao piso plástico, o que pode ter reduzido de forma eficiente o desconforto térmico por contato entre o piso-animal. Essa característica do material influenciou na menor incidência de comportamento agonístico entre os animais (Araújo et al., 2017a).

Em estudo realizado por Silva et al. (2012) avaliando o desempenho térmico de blocos confeccionados com EVA, destacaram que nos ensaios com amostras nas proporções de 60 e 80% de EVA, obtiveram o resultado $0,77 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ e $0,66 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, respectivamente, confirmando que quanto maior o teor de EVA, menor a condutividade térmica do produto.

Gomes & Melo (2018) avaliaram o desempenho de isolamento térmico em vedações executadas com blocos de EVA em diferentes teores e espessuras e compararam aos blocos convencionais, cerâmicos e de concreto, e a análise demonstrou que o maior fluxo de calor apresentado foi para o bloco de concreto de 9 cm com valor de 2.511 W, em contrapartida, as amostras com maior resistência térmica foram para o bloco cerâmico de 9 cm de espessura

seguido pelo bloco de EVA com maior teor de material (80%) e 12,5 cm de espessura apresentando valor de fluxo de 1.276 e 1.467 W, respectivamente.

Quanto as propriedades mecânicas, o EVA possui uma estrutura mais rígida que alguns polímeros, apresenta boa resistência a compressão e boa ductibilidade quando submetido a cargas. Se comparado com o polietileno de baixa densidade (PEBD) de mesma massa molar, o EVA apresenta maior valor de alongação na ruptura e de resistência ao impacto, e menor módulo de elasticidade (Zattera et al., 2005). A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas do resíduo de EVA:

Tabela 1. Propriedades mecânicas do resíduo de EVA

Propriedades	Resíduos de EVA
Módulo de elasticidade (MPa)	41,0 ± 1,0
Deformação na ruptura (%)	238 ± 19
Resistência ao impacto izod (J/m)	179 ± 9
Dureza (Shore D)	48 ± 2

Fonte: Zattera et al. (2005)

Embora o EVA seja leve, durável, estável a elevadas temperaturas, possua células fechadas o que diminui a absorção de água (Zattera et al., 2005), e seja bom absorvedor de choques, o material apresenta características próprias de materiais termorrígidos (Garlet, 1998), como baixa resistência a propagação de trincas e baixa capacidade de alongamento. Silva et al. (2016a) citam 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.

Luna et al. (2017) ao avaliarem a influência mecânica e morfológica da tenacificação do poliestireno (PS) com resíduos de borracha de calçados (SBRr), concluíram que a adição de um material tenaz e flexível a uma matriz rígida e amorfa provoca aumento na resistência ao impacto de até 133% nas blendas binárias e diminuição drástica no valor do módulo de elasticidade sob flexão, deformando em tensões muito menores que o material referência (PS). Quanto a micrografia, foi possível observar os espaços vazios entre as fases o que indica fraca adesão entre os componentes, e gera uma interface com baixa resistência.

A mistura entre polímeros pode oferecer efeito antagônico devido a incompatibilidade entre os componentes, o que pode resultar na diminuição gradativa das propriedades

mecânicas conforme o aumento do teor dos agentes tenacificantes. Oliveira et al. (2004) chegaram a essa conclusão ao avaliarem o efeito da carga do resíduo de EVA (EVA_r) em diferentes teores junto a borracha natural (NR), onde os autores atribuíram que a incompatibilidade foi favorecida pela diferença de polaridade entre os materiais o que dificultou a dispersão do EVA_r na matriz de NR.

3.3. Borracha de pneu regenerada

Uma vez que o pneu já não esteja em boas condições de rodagem, ele pode ser submetido a processos de recapagem, recauchutagem ou ainda remoldagem. Entretanto, se nenhuma destas alternativas for viável, apresentando o pneu danos irreparáveis em sua estrutura, ele passa a ser considerado inservível (CONAMA, 2009). Segundo ANIP (2009), do total de pneus usados, 46,8% são recuperados e voltam a rodar e 53,2% têm o término de sua vida útil.

De acordo com relatório de pneumáticos de 2020, através da Reciclanip, entidade que gerencia o processo de logística reversa, foram coletadas no Brasil mais de 471 mil toneladas de pneus inservíveis no ano de 2019, com 56,83% do volume correspondendo a região Sudeste, 21,17% a região Sul, e na sequência Centro-Oeste, Nordeste e Norte, com 9,77%, 9,05% e 3,17%, respectivamente. Essas unidades foram recicladas e destinadas para uso como matéria-prima para produção de outros produtos, como componentes de vedação, solados de calçados, pisos industriais e tapetes automotivos (ANIP, 2017). Este número só não é maior porque em muitos casos, os pneus são despejados em locais inapropriados como rios, córregos e terrenos abertos, o que dificulta o seu reaproveitamento e acarretam impactos negativos ao meio ambiente e a população (Trombeta, 2007).

Embora o pneu seja classificado na Classe II-B como um produto não perigoso e inerte, é necessário ter muita cautela ao se utilizar pneus em processos de reaproveitamento. Ao se analisar o processo de queima de pneus para produção de clínquer, por exemplo, calcula-se que ocorra a emissão de 2,5 ton de CO₂ e 26 kg de SO₂ na atmosfera, conforme relatório publicado pela companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2016). Além disso, há problemas com os compostos tóxicos e metais pesados presentes no material (Tabela 2), vale ressaltar ainda que as concentrações de compostos contaminantes variam muito em função do fabricante e do tipo de composição utilizada (Neis, 2018).

Tabela 2. Tipos de contaminantes constantes nos pneus

Componente	Propriedades	%
Cobre	Melhorar a qualidade do aço de reforço	0,02
Zinco	Óxido de zinco (ZnO) usado na borracha	1,0
Cádmio	Traço contaminante de óxido de zinco	0,001 (máx)
Chumbo	Traço contaminante de óxido de zinco	0,005 (máx)
Componentes ácidos	Ácido esteárico na forma sólida	0,3
Compostos hidrocarbonetos halogenados	Borracha do tipo clorobutil	0,1

Fonte: Adaptado de Mainier et al. (2013).

Os elastômeros utilizados em pneus são predominantemente misturas físicas de borracha natural (NR), borracha estireno-butadieno (SBR) e polibutadieno (BR). A reciclagem dos elastômeros tem demonstrado maior complexidade quando comparada aos demais materiais poliméricos e, a dificuldade desses materiais está relacionada com o reprocessamento devido sua estrutura de ligações cruzadas que impedem que com simples aquecimento, recuperem as suas características originais sem antes sofrer degradação, além de serem insolúveis infusíveis (Lagarinhos & Tenório, 2008). Ainda conforme os autores, para que o material seja novamente processado é necessário que a rede tridimensional da borracha seja desfeita, ou seja, quebrando as ligações cruzadas de carbono-enxofre e enxofre-enxofre.

O processo de desvulcanização utilizado comercialmente é o de desvulcanização química que envolve duas etapas distintas: a redução de tamanho da borracha até transformação em pó-de-borracha. A segunda etapa compreende a quebra de ligações com o rompimento das pontes de enxofre-enxofre e carbono-enxofre por meio de autoclaves rotativos, onde o material recebe oxigênio e é submetido a temperatura de 180 °C e pressão de 15 bar, assim, a borracha é transformada em material passível de novas formulações (Lagarinhos & Tenório, 2008).

Weber (2006) cita que a regeneração de resíduos de borracha ocorre a conversão de um polímero termorrígido, insolúvel e infusível, de estrutura tridimensional, em um produto essencialmente termoplástico, mais pegajoso, processável e vulcanizável, possuindo várias das propriedades da borracha virgem.

Após regenerada a borracha, sua incorporação pode ser vantajosa no desenvolvimento de novas formulações. Quando utilizada individualmente, pode produzir artefatos que não apresentem exigência técnica muito elevada. Compostos dessa natureza, podem ser aplicados como tapetes automotivos, pisos para assoalho, etc. Quando se deseja artigos com melhor

qualidade técnica, pode ser moldado em combinação a outros elastômeros ou a termoplásticos. De forma combinada a outros polímeros, a borracha regenerada pode atuar como carga flexível para melhoria de alguma propriedade da blenda.

3.4. Blendas poliméricas

A produção comercial de termoplásticos teve início na década de 30. Nas décadas seguintes a evolução dos processos de polimerização e dos sistemas de catálise possibilitou o desenvolvimento de uma série de novos polímeros comercialmente disponíveis. Durante esse período descobriu-se que também seria tecnológica e economicamente vantajoso o desenvolvimento de técnicas para modificar polímeros já existentes. Além do processo de copolimerização, utilizou-se também outra tecnologia de modificação muito importante, ou seja, a fabricação de blendas poliméricas (Oliveira, 2009).

As blendas poliméricas são materiais projetados e produzidos por uma mistura de dois ou mais polímeros e/ ou copolímeros (Bezerra et al., 2013) surgindo como alternativa ao desenvolvimento de novos sistemas poliméricos, combinando as propriedades dos polímeros já existentes para alcançar as propriedades desejadas (Luna et al., 2015a). A síntese de novos materiais a partir do desenvolvimento de blendas poliméricas é um método bastante atrativo, pois atende as aplicações de mercado com menor custo.

As blendas podem ser classificadas segundo os métodos de obtenção, existindo três tipos: mistura por solução, por redes poliméricas interpenetrantes (IPN) e por mistura mecânica no estado fundido (Silva et al., 2016b). As blendas por solução envolvem a utilização de um solvente comum para preparar soluções de ambos os polímeros, em seguida essas soluções são misturadas até a obtenção de uma mistura homogênea. Esta técnica de mistura é bastante utilizada quando aplicada em escala de laboratório (Silva et al., 2016b). Os IPN são obtidos pela mistura de polímeros, onde pelo menos um dos componentes apresenta uma estrutura reticulada/tridimensional (Silva et al., 2016b), desta forma os dois polímeros serão reticulados um em presença do outro de tal forma que os reticulados se interpenetrem, sem que haja qualquer reação química entre eles. Por fim, a mistura mecânica envolve aquecimento que leva ao amolecimento ou fusão dos componentes, e alto cisalhamento, que é o principal responsável pela mistura em si (Hage Jr. & Pessan, 2001). Ainda segundo os autores, esse é o método mais utilizado industrialmente por razões econômicas e porque permite a mistura de polímeros em grande escala.

Só a mistura entre polímeros não garante o sucesso de uma blenda polimérica, já que conforme citado por Ribeiro et al. (2012) a mistura de diferentes tipos de polímeros pode resultar na perda das propriedades mecânicas do material, principalmente pela incompatibilidade entre os polímeros da blenda. Sendo necessário, em muitos casos a depender da aplicação, que as características de miscibilidade e compatibilidade sejam analisadas de forma crítica.

O termo miscibilidade pode ser comparado ao termo solubilidade, que corresponde ao grau de interação a nível molecular entre os componentes da blenda, esse parâmetro definirá o comportamento de fluxo, orientação, morfologia e o desempenho do produto (Oliveira, 2009), e segundo Silva (2014) depende diretamente de três fatores: da compatibilidade, da proporção relativa em que os componentes estão na mistura e das condições de processo (temperatura, pressão, solvente, etc.) em que foram preparadas. Luna et al. (2015c) descreveram que a mistura de diferentes tipos de polímeros produz blendas miscíveis, imiscíveis ou parcialmente miscíveis.

Um importante critério para avaliação da miscibilidade é a verificação das transições térmicas: temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura de fusão cristalina (T_m) (Pellicano et al., 2009). Uma blenda miscível apresenta uma única temperatura de T_g para o material (Sperling, 2001), não havendo separação de fases, sendo um componente solúvel no outro (Paul & Newman, 1978; Hage Jr. & Pessan, 2001). As blendas imiscíveis apresentam separação de fases, com duas temperaturas T_g 's relativo aos valores dos polímeros individuais; e as blendas parcialmente miscíveis apresentam também duas temperaturas de T_g 's, porém, os valores estarão compreendidos entre as T_g 's dos constituintes puros (Sperling, 2001; Pellicano et al., 2009).

Quanto a compatibilidade, essa característica é mais relativa e abrangente, pois representa estados de mistura onde as propriedades finais da blenda estão ou não de acordo com os valores desejados, ou seja, o maior grau de compatibilidade nem sempre pode significar as melhores propriedades na engenharia. Do ponto de vista tecnológico, uma blenda é compatível quando suas propriedades finais apresentam um comportamento aditivo ou sinérgico em relação aos valores apresentados pelos componentes individuais, já um sistema incompatível é aquele que apresenta valores de propriedades inferiores aos apresentados pelos componentes individuais, tratando-se neste caso de efeito antagônico (Casarin, 2004).

Sendo assim, uma blenda pode ser miscível e incompatível, bem como imiscível e, no entanto, compatível (Paul & Newman, 1978; Hage Jr. & Pessan, 2001), neste último caso, apesar de apresentar segregação de fases, as propriedades de interesse apresentam comportamento satisfatório, desejado comercialmente (Casarin, 2004). Segundo Luna et al. (2015a) é crescente o interesse dos pesquisadores e da indústria por sistemas poliméricos como esse. Os autores complementam ainda que, o interesse de modificar termoplásticos com elastômeros se deve à atraente relação custo/benefício e a possibilidade de aumento significativo da tenacidade de polímeros frágeis.

3.4.1. Tenacificação de polímeros

Diversos polímeros termoplásticos e termofixos apresentam como característica comum a baixa tenacidade, ou seja, baixa capacidade de se deformar sob solitação mecânica e, e conforme afirmou Seljan (2016) grande parte desses polímeros apresentam-se frágeis, com baixa resistência ao impacto. Um dos processos de modificação mais efetivo para aumento da tenacidade de polímeros é o de transformar os materiais frágeis em dúcteis, sendo conhecido como tenacificação (Oliveira, 2009).

Para muitas aplicações na engenharia, a tenacidade é um fator decisivo no projeto de um produto, isto porque materiais com elevada tenacidade são capazes de sofrer grandes deformações permanentes e o processo de ruptura ocorre através da fratura dúctil, o que proporciona maior controle de falha. Materiais com baixa tenacidade não suportam deformações plásticas e sofrem um processo de ruptura frágil totalmente descontrolado, pois uma vez iniciado o processo de falha nunca se sabe quando o material entrará em processo de ruptura. Este tipo de fenômeno é indesejável para aplicações estruturais (Oliveira, 2009).

Existem várias alternativas para tenacificar polímeros, entre eles, como afirmou Bolba (2018) estão a utilização de plastificantes, incorporação de reforços fibrosos (fibras de carbono) e a incorporação de elastômeros. Em geral, os elastômeros podem ser adicionados a termoplásticos ou termorrígidos com o objetivo de tenacificá-los e este efeito pode ser esperado independente do material ser reciclado ou não (Oliveira, 2009). O uso de borracha de pneus inservíveis em misturas com matrizes poliméricas tem ampla aplicação tecnológica e científica porque são capazes de produzir novos materiais com facilidade de processamento e boas propriedades elásticas (Luna et al., 2017).

Conforme citado por Costa (2009) materiais tenacificados por elastômeros representam um grande desafio na produção, não somente sobre a melhora na resistência à

fratura, mas também sobre a aquisição desta propriedade com a mínima perda de outras (resistência à tração, módulo de elasticidade, viscosidade, transparência) a custos razoáveis. A tenacificação de polímero modificado pela presença de uma fase borrachosa foi proposto por Merz et al. (1956) constituindo-se na ideia da absorção de energia pelas partículas de borracha, sugerindo que as fibrilas do copolímero estireno-butadieno do HIPS alojavam-se ao longo da trinca de forma a não permitir que esta se tornasse catastrófica. A quantidade de energia absorvida no impacto foi atribuída à soma da energia para fraturar a matriz vítrea com o trabalho para quebrar as partículas de borracha.

Todavia, segundo Figueira (2007) a principal desvantagem dessa teoria proposta é que eles consideram mais as partículas de borracha e não valorizam o papel da matriz na absorção de energia. Além disso, a energia total associada à deformação da fase borrachosa contribui em não mais que uma pequena fração da energia acrescentada durante o impacto e, sistemas com a presença da fase borrachosa a miscibilidade é indesejável, pois os mecanismos que geram aumento da tenacidade no produto final ocorrem com no mínimo duas fases distintas: a fase matriz e a fase borrachosa (que fica dispersa na matriz). Sendo assim, a grande maioria das misturas poliméricas úteis apresentam uma morfologia de fases separadas, que segundo Liu et al. (1998) a dispersão das partículas da fase borrachosa se apresentam em três estados:

- Morfologia pseudonetwork: nível de dispersão intermediário com altíssima eficiência na tenacificação.
- Morfologia uniforme: o estado de distribuição das partículas é uniforme e com alta eficiência na tenacificação.
- Morfologia aglomeradas: corresponde a uma dispersão pobre de partículas de borracha com baixa capacidade de tenacificação.

Em geral, alguns fatores são imprescindíveis para confecção de uma blenda polimérica adequada, nos polímeros modificados com borracha por exemplo, alguns fatores podem afetar a tenacidade e a morfologia final que segundo Fiegenbaum (2007) estão ligados a natureza química do material, a condição de processamento, a composição e a razão de viscosidade. Weber et al. (2008) e Serrano (2009) citam ainda que a granulometria da borracha, quantidade de borracha adicionada, teor de negro de fumo na borracha, entre outros, são fatores que podem influenciar a mistura. Portanto, a escolha adequada dos parâmetros pode otimizar as propriedades do material (Luna et al., 2017).

Quanto a viscosidade, tem-se que quanto mais próxima as viscosidades entre os componentes nas condições de processamento, melhor a dispersão. Fiegenbaum (2007) afirmou que fatores associados ao tamanho, forma e a distribuição das partículas na fase dispersa são resultantes de efeito no estado amorfo-viscoso ou efeito viscoelástico, equilibrados pela tensão interfacial e condição de mistura. Silva (2013) complementou que a redução no tamanho da fase dispersa dentro de certo limite é importante no resultado final, pois aumenta a área interfacial e melhora a transferência de tensões impostas ao sistema. Segundo Oliveira (2009) uma maneira de melhor compreensão da morfologia gerada é através da correlação desta com o comportamento reológico das blendas.

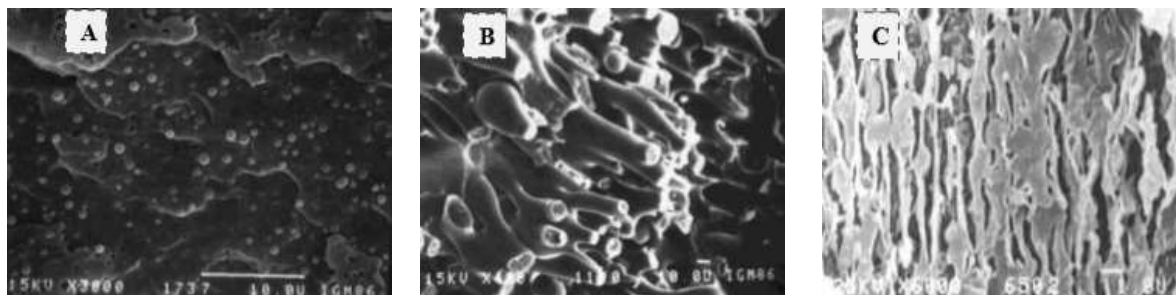
3.4.2. Morfologia das blendas imiscíveis

O desenvolvimento de blendas poliméricas é dependente de dois requisitos chaves: o controle interfacial e a sua microestrutura (morfologia) (Torrecillas, 2014). Sua morfologia exerce influência significativa sobre as propriedades finais dos materiais (Majumdar et al., 1997; Rocetto et al., 2016) e seu controle está intimamente relacionado com as características intrínsecas dos componentes individuais, do método de processamento aplicado para obtenção da blenda e do uso de compatibilizantes.

De maneira geral, as blendas imiscíveis apresentam uma morfologia que é caracterizada por fase dispersa em uma matriz, sendo esta última, constituída pelo componente de maior proporção na blenda e, nos sistemas imiscíveis são observados três tipos de fluxos que identificam o grau de separação das fases: dispersa, estratificada ou fibrosa e co-contínua (Torrecillas, 2014). Segundo Bhattacharyya et al. (2005) e Rocetto et al. (2016), na forma dispersa, o componente em menor fração está disperso no componente de maior fração na forma de domínios esféricos (gotas).

Na morfologia co-contínua, ocorre na grande maioria em blendas de composição equivalente entre os componentes, as duas fases se unem e já não há a formação de domínios esféricos pela fase dispersa, apresentam estruturas estáveis de forma alongada (Bhattacharyya et al., 2005; Torrecillas, 2014; Rocetto et al., 2016). Para a forma estratificada ou fibrosa, Figueira (2007) afirma que é comum em coextrusão de polímeros, onde dois ou mais componentes formam fases contínuas separadas uma da outra por ligação contínua. A Figura 2 ilustra as três formas da morfologia de blendas poliméricas imiscíveis.

Figura 2. Morfologia de blendas poliméricas imiscíveis: dispersa com domínio esférico/gotas (a); co-contínuo (b) e estratificada ou fibrosa (c).



Fonte: Paul & Bucknall, 2000.

O desenvolvimento da morfologia em blendas imiscíveis durante o processo no estado fundido é resultante da combinação ou balanço entre dois fenômenos competitivos: cominuição e coalescência. Na cominuição há quebra das partículas para formar gotas menores, promovendo uma redução do tamanho das partículas da fase dispersa (Figueira, 2007). Na coalescência, há recombinação das partículas que promovem o aumento no tamanho final das partículas nas blendas. O grau de coalescência indica quanto unidas estão as fases. Quanto maior o grau de coalescência, maior o tamanho dos domínios da fase dispersa e mais próxima da morfologia co-contínua está a mistura (Bhattacharyya et al., 2005; Figueira, 2007; Rocetto et al., 2016).

3.5. Caracterização microestrutural do material por MEV

O desenvolvimento da microscopia eletrônica (MEV) teve como principal desafio conseguir ultrapassar a barreira da resolução imposta pela luz visível. Diferentemente do microscópio óptico que usa a luz visível para a formação da imagem e são limitados ao aumento máximo de 2.000 vezes, os microscópios eletrônicos utilizam um feixe de elétrons que incide na amostra podendo ser refletido ou transmitido através do material, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a luz branca. Alguns aparelhos permitem aumento de 300.000 vezes ou mais para a maior parte dos materiais sólidos, conservando a profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas. A aparência tridimensional da imagem das amostras, é resultado direto da grande profundidade de campo (Dedavid et al., 2007; Sinisterra, 2016). A elevada profundidade de foco e a possibilidade de combinar a análise microestrutural com a microanálise química são fatores que em muito contribuem para o amplo uso desta técnica (Canevarolo Jr., 2004).

O MEV pode ser utilizado nas análises morfológicas de superfícies de particulados, minérios, proteínas, sementes, compostos inorgânicos e orgânicos e de superfícies fraturadas e avaliação do tamanho de partículas e porcentagem de fase em microestruturas. Além disso,

tem sido amplamente empregado na caracterização de materiais poliméricos. Sua grande vantagem consiste na observação direta de bordas ou contornos dos materiais, e na caracterização de porosidade inter e intragranular (Sousa, 2015). Assim é possível obter informações essenciais para o aprimoramento dos materiais e definir o tipo de aplicabilidade ao qual podem ser submetidos.

3.6. Pisos para instalação de produção animal

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. A escolha do tipo de piso dentro do sistema é um fator importante, pois está associado a grande incidência de alterações na locomoção, lesões de cascos e descarte de rebanho, e deve reunir algumas características para garantir a saúde e reduzir custos, tais quais: resistir as condições de limpeza e o desgaste provocado pelos animais, não reter umidade e odor, ser de fácil limpeza, reduzir a tensão entre casco/piso, possuir textura que evitem lesões nos cascos e inclinação que facilitem a drenagem de dejetos, ser de baixo custo e atender às condições de conforto térmico do animal em função da região e da etapa da produção.

Em pocilgas, por exemplo, a aplicação de pisos de concreto é largamente empregada devido ao baixo custo e facilidade de desinfecção, no entanto, a durabilidade do concreto é bastante afetada pela alcalinidade e a porosidade (elevada relação água/cimento) que favorece as infiltrações e o crescimento de microrganismos, provocando conseqüentemente a corrosão superficial pelo ataque de ácidos presentes nos dejetos. De acordo com as especificações do cimento Itambé, instalações como essas são caracterizadas como ambiente agressivo e o contato do piso com esterco e fezes causam desagregação do concreto, podendo esta ser rápida quando a concentração do ácido láctico estiver acima de 25%. Jacob (2018) afirmou que os dejetos suínos têm uma composição muito heterogênea influenciada por fatores como idade, fisiologia, raça e fase de criação, com valores de pH variam de 5,30 a 7,72, e embora afirme que o pH não possa ser considerado agressivo ao concreto, a grande quantidade de ácidos orgânicos observados em pisos de granjas suínas como ácido láctico e ácidos acético (Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} e NH_4^+) juntamente com sais sulfatados, podem ser.

Em instalações de suínos mais jovens, o piso de concreto deve ser evitado por concentrar e condensar a umidade do ar deixando o piso permanentemente umedecido. Possagnolo (2017) ao avaliar o bem-estar de leitões em maternidade comparando 3 diferentes tipos de pisos em escamoteadores (maravalha, tapete borracha inteiriça e tapete de borracha vazado), constatou que o piso de borracha vazada é uma alternativa sustentável e eficiente, não apresentando acúmulo de umidade ou dejetos o que resultou na maior permanência dos leitões dentro dos escamoteadores em detrimento da melhor condição de conforto física e térmica para os animais. Calderón Díaz & Boyle (2014) compararam o efeito dos pisos de ripa de concreto e borracha sobre as lesões e comportamento de porcas gestantes, e observaram que não houve efeito sobre as lesões corporais, mas as porcas que tiveram acesso ao piso de borracha passaram mais tempo deitadas que as porcas dos currais com piso de ripa de concreto, concluindo que as porcas preferem instalações com superfície confortável para deitar durante a gravidez.

Em sistemas de confinamento para bovino leiteiro do tipo free-stall em que há restrição de movimentos com predominância do comportamento em pé ou em descanso (Cecchin et al., 2016), o piso é considerado o ponto mais crítico do projeto. Dentre os padrões fixos de comportamento, o de deitar é considerado altamente prioritário para as vacas leiteiras (Fonseca, 2018), a permanência de descanso está associada ao conforto que o piso oferece e cada hora a mais que a vaca passa deitada significa mais produção de leite por dia. Conforme Bewley et al. (2017) o piso deve ser confortável, limpo e seco. Normalmente, as baias dessas instalações free-stall são projetadas para ocupação individual com piso em terra batida, areia ou concreto mais cama com material seco. Heyerhoff et al. (2014) observaram que quando a vaca deita ou levanta-se uma grande quantidade de pressão é aplicada sobre os joelhos e as camas com base mais rígidas oferecem pouco amortecimento durante esses movimentos. Cecchin et al. (2016) ao avaliarem o efeito da cama borracha picada (subproduto da vulcanização de pneu) e da cama de areia sobre os escores de lesões de joelho, jarrete e locomoção de vacas mantidas em sistema de confinamento modelo free-stall, concluíram que não houve alteração da severidade e/ou quantidade de lesões dos animais expostos aos diferentes materiais de cama, porém, ressaltam que o curto período de tempo de avaliação pode ter influência sobre o resultado. Ebling (2018) ao associar fatores de risco, dentre eles o tipo de piso e a frequência de limpeza, a prevalência e distribuição de lesões podais em vacas leiteiras criadas em sistemas free-stall, chegou à conclusão de que dos 491 animais avaliados, 37,2% apresentaram claudicações e 465 lesões podais e, o autor atribuiu o resultado a causas

multifatorais como manejo de limpeza, falta de casqueamento preventivo e instalações inadequadas, aliado a alta umidade e pisos abrasivos onde as vacas eram mantidas.

Nas baias para equinos, os pisos emborrachados estão sendo a melhor opção pois possuem estrutura durável, confortável, de fácil limpeza e silenciosa, e por serem utilizados sobre superfície concretada evita o contato dos cavalos com poeira e agentes patogênicos, conforme os apontamentos feitos por Albuquerque (2017). Em contrapartida, de acordo com Stull et al. (2010) os tapetes de borracha fabricados para essa finalidade possuem alto custo de venda. Para Cintra (2016), o piso de terra batida utilizados em baias para equinos são duros, pouco absorvente e exige retirada periódica para desinfecção da baia, além disso, os cavalos têm costume de escavar enquanto se alimentam formando grandes aberturas ao redor do cocho o que dificulta ainda mais a manutenção do piso e, quando utilizado piso de concreto junto a cama em uma espessura insuficiente para suportar o pisoteio do cavalo, haverá formação de aberturas na superfície que também dificultará a limpeza.

Conforme o CONTRAN (2019), entrou em vigor a regulamentação com requisitos para veículos que transportam animais vivos, dentre eles, aqueles destinados a produção ou interesse econômico, como esporte, lazer e exposição, como bovinos e bubalinos, equídeos, suínos, ovinos, caprino, coelho e aves de produção. A lei obriga o uso de piso antiderrapante, como os pisos emborrachados, que devem ser adaptado ao transporte de forma a evitar sofrimento, ferimentos e agitação desnecessária durante a viagem, pois são materiais macios, confortáveis, silenciosos e possibilitam melhor drenagem de líquidos.

3.6.1. Propriedades mecânicas do material

A forma como os polímeros respondem às solicitações determina suas propriedades mecânicas, estando essas correlacionadas as propriedades químicas e físicas dos polímeros, assim como afirma Canevaloro Jr., (2006) em que esta resposta depende de alguns fatores como estrutura química, temperatura, tempo e condições de processamento do polímero.

Polímeros elastoméricos como as borrachas, são materiais amorfos, isto é, suas cadeias poliméricas estão dispostas de maneira desordenada, não apresentando, portanto, algum grau de cristalinidade, como rigidez. Polímeros com essa característica quando submetido à tensão, deformam-se elasticamente, podendo chegar a mais de 1000% do comprimento útil original. Conforme Silva (2008) o EVA é um material basicamente amorfo e suas propriedades mecânicas são determinadas pelo teor de acetato de vinila e pelo seu peso molecular. O aumento no teor de acetato de vinila influência na cristalinidade das moléculas de EVA, o que

provoca aumento da flexibilidade e redução das propriedades de dureza, rigidez e resistência a ruptura.

Existem vários tipos de ensaios para caracterizar as propriedades mecânicas de polímeros, onde eles podem ser estáticos, dinâmicos, destrutivos, não-destrutivos, de curta duração, ou de longa duração. Os ensaios de tração, dentre os estáticos por exemplo, são os mais populares, e determinam a partir de ensaios de tensão-deformação alguns parâmetros que quantificam a resistência mecânica dos polímeros, tais: módulo de Young ou de elasticidade; tensão e deformação no escoamento; tensão máxima; tensão e deformação na ruptura, e tenacidade (Canevarolo Jr., 2010).

O estudo do comportamento da deformação residual definitiva em materiais elastoméricos é de enorme importância, haja vista que dependendo da aplicação, o material pode estar sujeito a solicitações que necessitem de maior resiliência, e frequentemente esta propriedade é utilizada como fator de decisão na escolha dos materiais. Neis (2018) cita que a deformação residual está diretamente relacionada à propriedade de resiliência da borracha, tendo como finalidade analisar a capacidade do material em reter suas propriedades elásticas.

Com relação a fatores ligados a durabilidade das estruturas de pisos, a análise de resistência à abrasão nos materiais emborrachados, é muito utilizada, conforme apontado por Neis (2018), pois o desgaste por abrasão ocorre normalmente quando há remoção de material da superfície pelo contato direto com outros materiais de rugosidades diferentes, através dos ataques químicos ou choques mecânicos, essa propriedade está também diretamente ligada com a dureza do material. O desgaste acentuado em materiais da superfície do piso, representa um fator de risco nas instalações rurais, podendo gerar perdas ao produtor em detrimento de acidentes provocados pelo aparecimento de buracos, fato como esse muito comum em pisos de concreto. Pisos de concreto antigos, tendem a ser mais abrasivos, dificultam a limpeza, favorecem o acúmulo de dejetos e umidade (Pluym et al., 2013) e a abrasão excessiva resulta em lesões na linha branca e rachaduras na parte córnea (Vermeer, 2013).

Além da abrasividade, as características de dureza dos pisos podem alterar a locomoção e interferir na integridade dos cascos. O ensaio de Dureza Shore A é muito utilizado para avaliar a dureza superficial em elastômeros termoplásticos, onde mede a resistência à penetração através de um indentador, após o ensaio é avaliada a profundidade da indentação, classificando na escala que varia entre 0 a 100 shore. De acordo com o SENAI

(1988) um material extra macio possui valor inferior a 40 Shore A; Shore A50 para material macio, podendo o emborrachado ser comparado a um pneu de carro; acima de 80, o material emborrachado parece mais com plástico e podem ser medidos na escala Shore D.

3.6.2. Propriedades termo físicas do material

Para a sustentabilidade e eficiência energética das construções, o desempenho térmico de uma edificação é um dos principais elementos a serem considerados, e que irá determinar o conforto térmico do seu usuário (Souza, 2010). De modo geral, é possível uma instalação promover um ambiente interno confortável com menor consumo de energia elétrica, mesmo com toda influência climática externa. Porém, devido à falta de capacidade dos elementos construtivos se autorregularem termicamente para promover um ambiente confortável é fundamental o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais empregados, bem como, os princípios termodinâmicos de transferência de calor.

Na transferência de calor, um dos principais conceitos envolvidos é a temperatura, que pode ser descrita como o grau de calor contido no sistema, corpo ou meio fluido e, conforme apontado por Anjo & Morais (2009) a condição para que haja transferência de calor é através da diferença de temperatura entre corpos ou meio, havendo gradiente de temperatura, haverá fluxo de calor do corpo de maior temperatura para aquele de menor temperatura, tendo o tempo como uma variável importante no processo. Existem três tipos de transferência de calor, que podem agir separadamente ou em conjunto (forma mais habitual), sendo eles: condução, convecção e radiação (Souza, 2010).

A radiação térmica, para Grilo & Cardoso (2000) é a radiação eletromagnética emitida por um corpo em função de sua temperatura e, todo corpo com temperatura diferente de 0 Kelvin, emite radiação. Souza (2010) afirmou que a radiação recebida por um corpo pode ser proveniente do sol, sendo denominada radiação de ondas curtas, ou ser originária da emissão de superfícies em função da temperatura alcançada; nesse caso denominada radiação de ondas longas. Rocha (2019) cita que alguns pesquisadores criaram um simulador de radiação solar capaz de produzir o máximo de radiação na faixa espectral da radiação solar em nível de solo utilizando lâmpadas incandescentes comuns, já que é uma fonte emissora que atende a máxima eficiência e baixo custo.

Já a convecção, é a passagem de calor por meios fluidos, pela diferença de temperatura e de densidade entre duas regiões, envolvendo transporte de matéria. Quando as moléculas entram em contato entre si, a transferência de calor que se produz no interior desse fluido é

um processo de condução, mas a troca de energia ocorre por transferência de massa (Souza, 2010). O calor transmitido por convecção pode ser expresso pela lei de resfriamento de Newton, e conforme citado por Incropera et al. (2013) o fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura entre a superfície e o fluido.

A condução, por sua vez, é o processo de transmissão de energia térmica em corpos sólidos que estejam em contato, exigindo, portanto, continuidade física da matéria, sendo feita pelo movimento vibratório de moléculas aquecidas, que colidem e transportam energias para as mais frias (Souza, 2010). Como a taxa de transferência de calor é proporcional ao gradiente de temperatura, a transferência de calor por condução pode ser determinada pela lei de Fourier que, segundo Souza (2017) relaciona o fluxo de calor que atravessa um corpo com a diferença de temperatura entre as faces. Quando uma parede plana e uniforme, por exemplo, é submetida a uma diferença de temperatura, e essa transferência de calor acontece em regime permanente (o calor não varia com o tempo), pode-se obter o fluxo de calor que atravessa essa parede por condução considerando a diferença de temperatura entre suas faces e o valor da condutividade térmica.

Souza (2010) cita que a condutividade térmica é um coeficiente que inclui as trocas envolvidas no interior do material e que define a capacidade do mesmo de conduzir o calor. Esse parâmetro permite classificar os materiais como isolantes ou condutores. A capacidade de conduzir calor depende diretamente da densidade e da natureza química dos materiais e, segundo Frota & Schiffer (2001) a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros e os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos. Quanto a faixa de valores, González Cruz (2002) afirma que é muito ampla, variando entre $0,020 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a espuma de poliuretano a $426 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para a prata.

Quanto ao desempenho térmico de elementos e componentes de edificações, a NBR 15220-2 (2005) define expressões matemáticas para o cálculo da resistência, transmitância, capacidade e atraso térmico. Para Souza (2010) a resistência térmica revela a capacidade do material resistir à passagem de calor, sendo a razão entre a espessura do elemento construtivo e a condutividade térmica, portanto, quanto maior é a condutividade, menor será a resistência. O inverso da resistência térmica total determina a transmitância térmica, que para Gomes (2015) é uma propriedade relacionada à permissão da passagem de energia em maior ou menor quantidade por unidade de área e de diferença de temperatura.

A capacidade térmica para Cintra (2017) está associada com a habilidade do material estocar calor, que é uma característica dos sólidos chamada de inércia térmica. Então, quanto maior a capacidade térmica de um componente construtivo maior será sua inércia térmica, o

que torna possível reduzir a sensação de desconforto térmico dos usuários devido o material armazenar calor nos momentos de alta temperatura e liberar nos momentos de baixa temperatura.

A capacidade térmica está diretamente relacionada com a espessura, calor específico e densidade do material, e de acordo com Incropera et al. (2013) o calor específico pode ser definido como a quantidade de energia térmica necessária para elevar a sua temperatura em 1 °C por unidade de massa. Quanto menor o calor específico de uma substância, mais facilmente essa pode sofrer variações em sua temperatura.

O atraso térmico pode ser definido como o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor - NBR 15220 (ABNT, 2005). Conforme Souza (2010) em um componente sujeito a radiação direta, por exemplo, é possível observar que a temperatura atingida por essa superfície em um determinado instante não é igual àquela alcançada pela superfície oposta no mesmo instante. O fluxo de energia tenderá a assumir o sentido da maior para menor temperatura e levará um tempo para assim o alcançar, revelando um atraso térmico.

Para caracterização térmica dos materiais podem ainda ser utilizados algumas análises como TGA - análise termogravimétrica, DTG - derivada termogravimétrica e DSC – calorimetria exploratória diferencial que conforme Ionashiro (2004) são técnicas que permitem obter informações a respeito da variação de massa, estabilidade térmica, ponto de fusão, calor específico, transições vítreas, entre outros. Segundo Bannach et al. (2011) a definição de análise térmica mais recente aceita pela confederação de análise térmica e calorimetria (ICTAC) afirma que a análise térmica é o estudo das relações entre uma propriedade da amostra e sua temperatura, enquanto a amostra é aquecida ou resfriada de maneira controlada.

Pereira (2013) afirmou que as pesquisas em diversas áreas são desenvolvidas envolvendo as técnicas térmicas, e tem demonstrado sua utilidade para o controle de qualidade, quantificação de substâncias ativas e em estudo de estabilidade e compatibilidade de materiais.

A análise termogravimétrica - TGA é uma técnica termoanalítica que acompanha a perda e/ou ganho de massa da amostra em função do tempo ou temperatura (Denari & Cavalheiro, 2012). Esta técnica possibilita conhecer as alterações que o aquecimento pode

provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química fixa, definida e constante, a temperatura em que começam a decompor, além de acompanhar o andamento de reações de desidratação (perda de umidade), oxidação, combustão, decomposição, etc (Canevarolo Jr., 2004). Nesse método, são registradas curvas de massa da amostra (m) em função da temperatura (T) ou do tempo (t). Essas curvas são denominadas curvas termogravimétricas ou, simplesmente, curvas de TGA. O equipamento da análise termogravimétrica é composto basicamente de termobalança, que é um instrumento que permite a pesagem contínua de uma amostra em função da temperatura.

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é utilizada para medir a diferença de energia entre uma amostra e um material de referência em função de um programa de aquecimento ou resfriamento sob atmosfera controlada. Geralmente é utilizada para determinar a temperatura de fusão e cristalização; entalpias de fusão e de cristalização, bem como na determinação da temperatura de transição vítrea (Canevarolo Jr., 2004). A transição vítrea (T_g) está relacionada com a mobilidade das cadeias poliméricas na fase amorfa. Quando o material tem cadeias desordenadas a baixas temperaturas e é aquecido, essas cadeias adquirem certo grau de liberdade e movimento. Isso provoca uma mudança na sua capacidade calorífica, resultando em uma mudança na linha base da curva DSC, sem picos. Abaixo da T_g as cadeias poliméricas apresentam pouca mobilidade e o material se apresenta rígido, vítreo, daí o nome transição vítrea (Bannach et al., 2011).

Os eventos térmicos que geram modificações em curvas de DSC podem ser basicamente transições de primeira e de segunda ordem. As transições de primeira ordem apresentam variações de entalpia – endotérmica ou exotérmica – e dão origem à formação de picos, que são eventos relacionados a: fusão, perda de massa da amostra (vaporização de água, aditivos ou produtos voláteis de reação ou de decomposição), dessorção e reações de redução. Eventos exotérmicos podem ser: cristalização, reações de polimerização, cura, oxidação, degradação oxidativa, adsorção, entre outros (Canevarolo Jr., 2004).

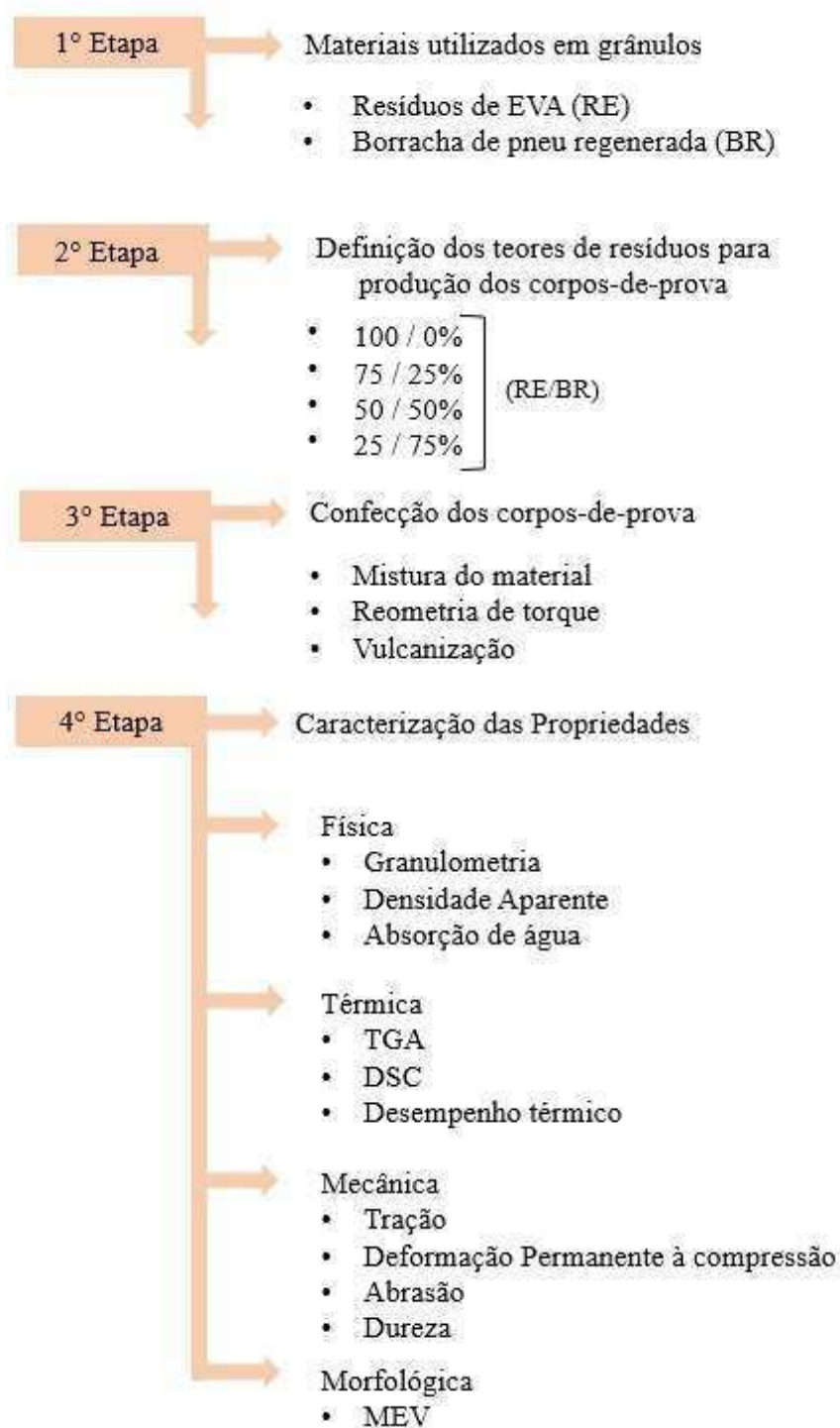
As transições de segunda ordem caracterizam-se pela variação de capacidade calorífica, porém, sem variações de entalpia. Assim, estas transições não geram picos nas curvas de DSC, apresentando-se como um deslocamento da linha base em forma de S. Exemplos característicos são a transição vítrea e relaxações de tensões térmicas da cadeia polimérica (Canevarolo Jr., 2004).

Duas modalidades são empregadas para se obter os dados de DSC: DSC por compensação de potência e DSC por fluxo de calor (Denari & Cavalheiro, 2012). Incondicionalmente, as grandezas físicas obtidas dos testes realizados em quaisquer dos tipos de instrumentos são as mesmas (Canevarolo Jr., 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa, bem como o método de produção das amostras e ensaios de caracterização realizados. Para melhor compreensão, foram divididas as atividades em quatro etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 3.

Figura 3. Fluxograma das etapas seguidas nesta pesquisa



4.1. Materiais da pesquisa

Para realização da pesquisa foram utilizados resíduos de etileno acetato de vinila (EVA) e borracha de pneu regenerada proveniente do SBR (Figura 4), ambos em grânulos e sem outro aditivo, sendo que algumas informações dos materiais estão descritas abaixo (Tabela 3) os dados de caracterização, fornecidos pelos fabricantes, estão descritos nas fichas técnicas (Anexo A e B).

Figura 4. Resíduos de EVA (a) e borracha de pneu regenerada (b).

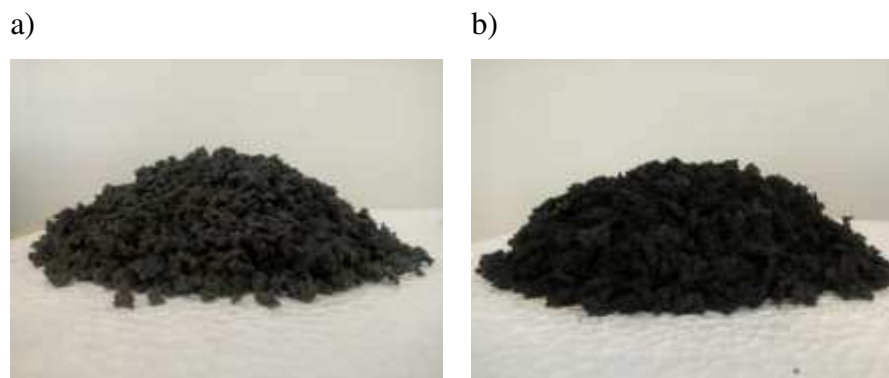


Tabela 3. Informações dos materiais utilizados na pesquisa

	RE	BR
Fabricante	Grupo Amazonas	Metal Américas
Fornecedor	Grupo Amazonas	Metal Américas
Código do produto	5208	Borracha regenerada flocada 1613
Origem do material	Solas e correias de sandálias	Pneus inservíveis

*Referência: resíduos de EVA = RE; borracha de pneu regenerada = BR.

4.2. Concentração dos materiais

Foram preparadas amostras variando-se a concentração em massa dos materiais (Tabela 4), a fim de caracterizar suas propriedades conforme composição e verificar seu potencial de uso como piso em instalações de produção animal.

Tabela 4. Composição mássica dos corpos de prova

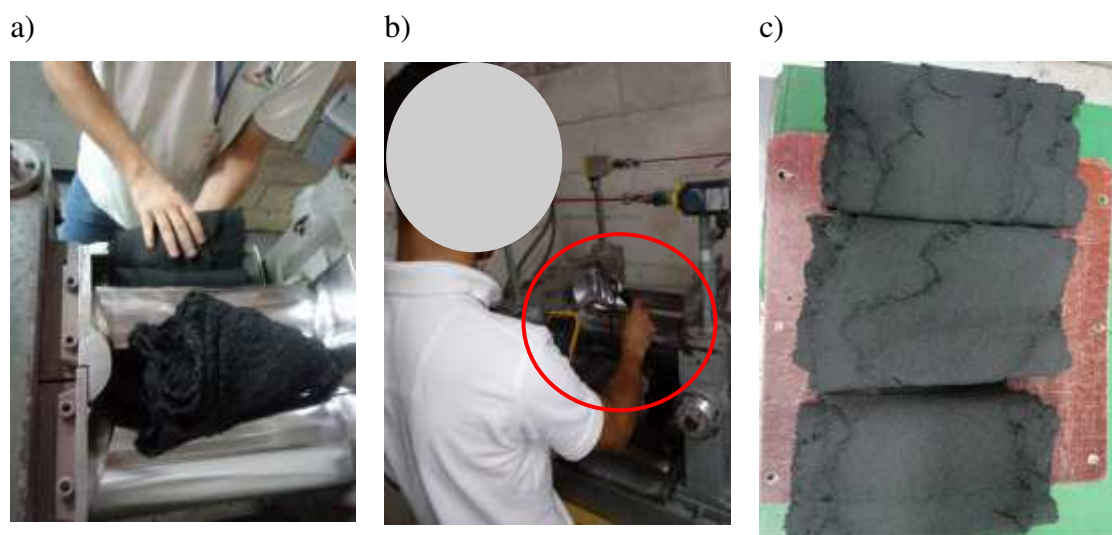
Nomenclatura	RE (%m)	BR (%m)
RE/BR0	100	0
RE/BR25	75	25
RE/BR50	50	50
RE/BR75	25	75

4.3. Confeção dos corpos de prova

4.3.1. Mistura do material

A mistura do material foi realizada no laboratório da Empresa de Calçados e Produtos Desportivos – Alpargatas S/A, que dispõe de cilindro em rolo misturador de borracha (Figura 5a) da marca Luxor. O resíduo de EVA e a borracha regenerada foram misturados no cilindro assim como recebidos (na forma de flocos), ou seja, sem submetê-los anteriormente a trituração ou peneiramento. Os cilindros operaram com temperatura variando entre 35 e 40 °C, seguindo os procedimentos constantes na norma ASTM D3182:2016. O monitoramento da temperatura dos cilindros foi realizado ao iniciar e finalizar a mistura (Figura 5b). 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 5c).

Figura 5. Mistura do material em cilindro aberto (a); monitoramento da temperatura dos cilindros (b); Lâminas homogeneizadas (c).

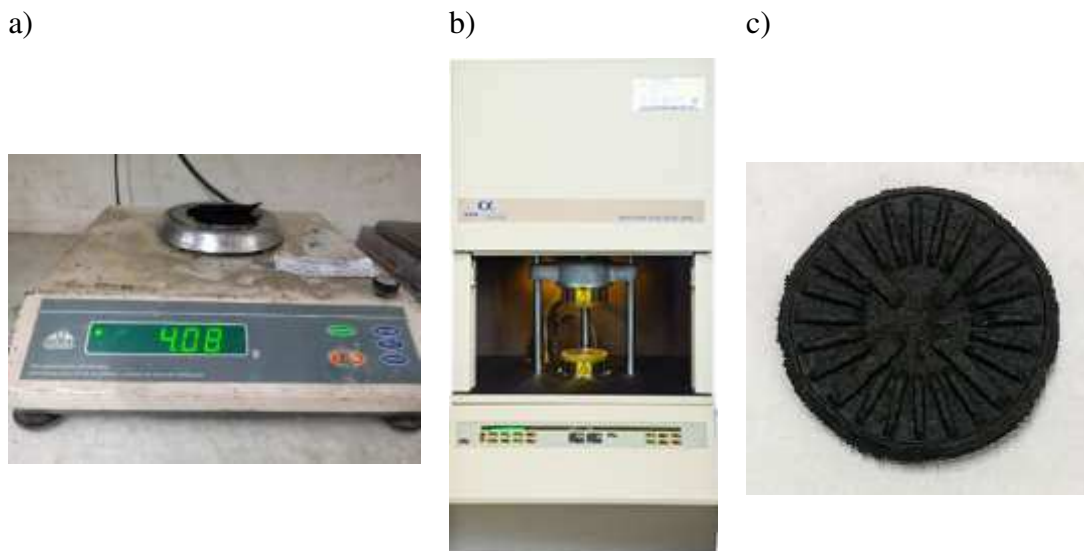


4.3.2. Reometria de torque

Após a mistura de cada tratamento, foram retiradas aproximadamente 4 g (Figura 6a) para o estudo reológico que visa a determinação do torque máximo, torque mínimo e o tempo

ótimo de cura das amostras. Utilizou-se o reômetro de cavidade oscilante (MDR) da marca Alpha Technologies modelo 2000p (Figura 6b) pertencente a Alpargatas. O procedimento para esse teste segue o descrito na norma ASTM D5289 (2019).

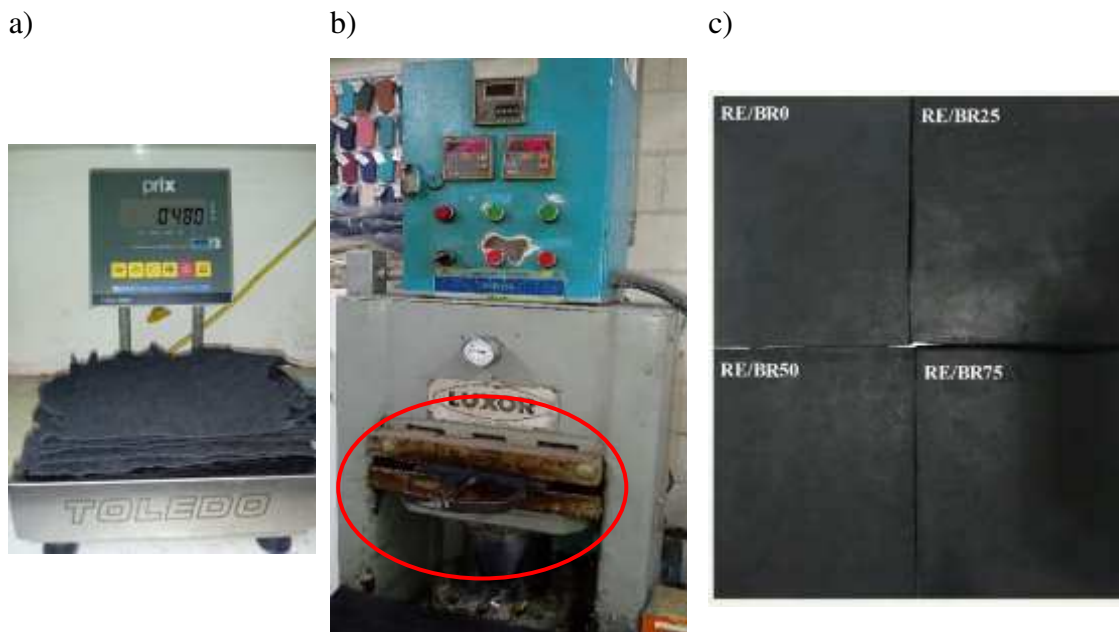
Figura 6. Amostra para estudo reológico (a); reômetro de cavidade oscilante (b); amostra testada (c).



4.3.3. Vulcanização das lâminas

Após mistura do material no cilindro, foram cortadas as lâminas nas dimensões 21,0 x 17,0 cm correspondendo ao comprimento x largura, sendo utilizado aproximadamente 480 g de lâmina (Figura 7a) para produção de cada placa que teve dimensões finais de 21,0 x 17,0 x 1,0 cm. Para vulcanização desse material, utilizou-se a prensa térmica da Alpargatas (Figura 7b) programada para operar ao longo do tempo apresentado pelo resultado reométrico a pressão de 90 kgf.cm⁻² e temperatura variando entre 155 e 160 °C (Figura 7b). Após vulcanizado, o material foi resfriado na própria prensa até atingir 30 °C, o que levou em média 3 min para atingir essa temperatura. Na Figura 7c estão apresentados um representante de cada composição. A partir dessas placas foram realizados os testes térmicos e mecânicos.

Figura 7. Lâminas para vulcanização (a); prensa térmica utilizada (b); Resultado final das placas (c).



4.4. Caracterização física

4.4.1. 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 (2003). 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:

$$\Delta\varphi = \frac{m_r}{m_t} \quad (1)$$

Em que:

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

m_r = massa retida na peneira (g);

m_t = massa total (g).

4.4.2. Absorção de água

O estudo de absorção de água nas amostras foi realizado de acordo com a norma ASTM D570 (2018), optando-se por determinar a absorção de água por imersão até saturação. Foram utilizados quatro corpos de prova por composição, todas no formato de disco nas dimensões de 65,0 x 10,0 mm (diâmetro x espessura). As amostras foram previamente secas em estufa a 50 °C por 24 h e após resfriadas, foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,1 mg, sendo posteriormente imersas em água destilada (Figura 8a) e mantidas por 24 h a temperatura ambiente. Após esse primeiro período, as amostras foram secas superficialmente utilizando papel toalha (Figura 8b) e novamente pesadas (Figura 8c). Esse procedimento de imersão, secagem e pesagem foi repetido ao final de cada semana até que a diferença fosse menor que 1% do total do aumento da massa, ou seja, atingindo a saturação. A porcentagem de água absorvida foi calculada a partir do aumento de peso das amostras secas, Equação 2. Ao final do ensaio foram obtidas curvas de absorção de água (%) versus tempo de imersão dado em horas (h).

$$\% \text{ água absorvida} = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

m_u = massa do corpo de prova úmido (g);

m_s = massa do corpo de prova seco (g).

Figura 8. Amostras imersas em água destilada (a); amostras para secagem com papel toalha (b) e amostra sendo pesada após secagem (c).

a)



b)



c)



4.5. Caracterização térmica

4.5.1. Termogravimetria - TGA

As análises foram conduzidas no equipamento TA-600 da Shimadzu (Figura 9), pertencente ao laboratório de caracterização de materiais (LCM) de engenharia dos materiais da UFCG. O objetivo é avaliar a estabilidade térmica do material em função da variação da massa durante o aquecimento, para isso, foram retirados cerca de 5 mg de material de cada composição, e posteriormente colocadas em cadinhos de alumina (Al_2O_3) e submetidos a temperatura que variaram de ambiente até 700 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min em atmosfera de nitrogênio, e com vazão de 50 mL/min.

Figura 9. Equipamento TA-600 da Shimadzu



4.5.2. Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC

O ensaio de DSC é realizado para obter informações referente as variações da capacidade calorífica, através da medida do fluxo de calor fornecido da amostra pura e das blendas. Essa técnica possibilita caracterizar as temperaturas e faixas de transição térmica do material, deste modo, avaliou-se as temperaturas de temperatura de fusão (T_m), transição vítrea (T_g) e temperatura de cristalização (T_c) das amostras no equipamento DSC-Q20 da TA Instruments (Figura 10), pertencente ao LCM de engenharia dos materiais da UFCG. O ensaio foi realizado fazendo um ciclo de aquecimento-resfriamento, da temperatura ambiente até 125°C. Utilizou-se a taxa de aquecimento de 10 °C/min, vazão do gás de 50 mL/min, atmosfera de nitrogênio e empregando cerca de 4 mg de amostra.

Figura 10. Equipamento DSC-Q20 da TA Instruments



Para o cálculo do X_c , foi utilizado a ΔH_m obtida pelo próprio software do equipamento, onde foi calculado a integral da curva; foi utilizado a fração polimérica do EVA (w_p) e o $\Delta H_{100\%}$ referente à entalpia do EVA 100% cristalino, utilizando os dados do Polietileno 100% cristalino, tendo em vista que o etileno é o segmento do EVA que se cristaliza ($\Delta H_{100\%} = 287 \text{ J/g}$). O grau de cristalinidade (X_c) foi determinado conforme Equação 3:

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m}{W_p \cdot \Delta H_{100\%}} \quad (3)$$

Onde:

X_c : grau de cristalinidade;

ΔH_m : entalpia de fusão;

W_p : fração mássica do EVA na blenda;

4.5.3. Desempenho térmico

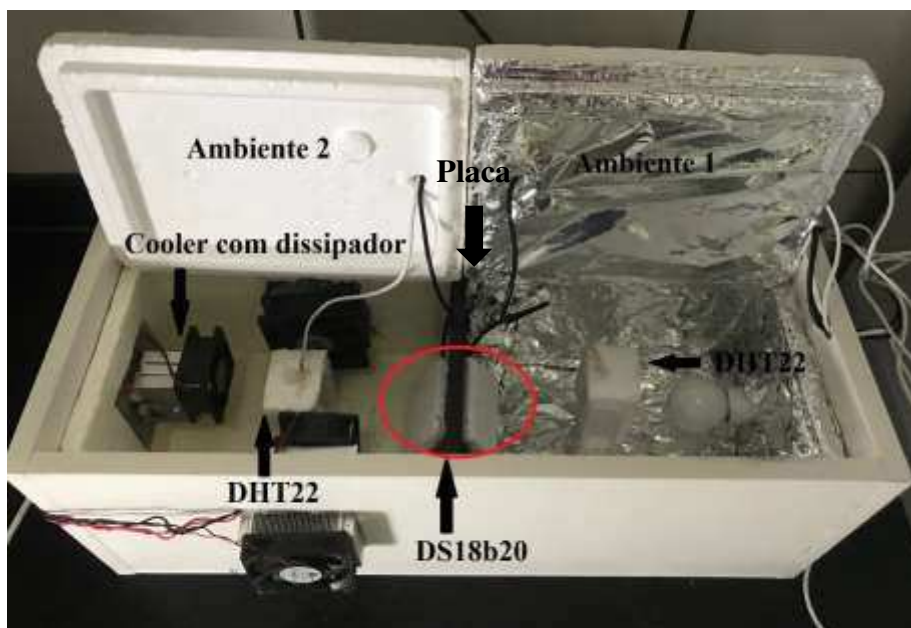
Quando se pretende minimizar a perda de calor em uma dada aplicação, a seleção do material com baixo valor de condutividade térmica é exigida para melhor desempenho. Quanto ao desempenho térmico dos sistemas de pisos, não há normativa que estabeleça requisitos isolados para sua avaliação. A diretriz da ABNT NBR 15575:3 (2013) traz análises de modo global para edificações. Já o conjunto de normas ABNT NBR 15220 (2005) trata do desempenho térmico em componentes verticais da construção civil, e que pode ser adaptado para caracterização térmica de elementos construtivos horizontais, tais como os pisos.

A definição dos procedimentos metodológicos adotados para caracterização térmica do material em estudo fundamentou-se nos mecanismos de transferência de calor, a partir da simulação com as amostras e em um aparato projetado para esta finalidade, onde foi possível calcular os parâmetros térmicos a partir dos resultados obtidos experimentalmente.

O experimento foi montado para o cálculo do coeficiente de condutividade térmica que se fundamenta na lei de Fourier, para regimes estacionários. As análises seguiram o princípio termodinâmico da transferência de calor, a partir da utilização de uma caixa térmica hermeticamente fechada, dividida em dois ambientes separados pelo material em estudo, estando o ambiente 1 aquecido e o ambiente 2 resfriado (Figura 11).

Figura 11. Caixa térmica utilizada para análise do coeficiente de condutividade das placas (a), (b), (c) e (d).

a)



b)

c)



d)



O ensaio foi realizado na câmara climática pertencentes ao LaCRA, estando durante todo experimento com temperatura de $24,0 \pm 1,0$ °C. A caixa térmica foi montada em MDF (Medium Density Fiberboard) com dimensões de 56,0 x 23,0 x 20,0 cm e 1,5 cm de espessura, e seu isolamento interno feito por isopor com 1,2 cm de espessura. As placas emborrachadas dividiram a caixa térmica em dois ambientes de dimensões iguais, cada placa com área de 19,0 x 15,0 cm e 1,0 cm de espessura.

Para registro da temperatura do ar foram instalados na parte central de cada ambiente sensores de temperatura (DHT22), todos isolados com isopor afim de evitar exposição direta a radiação e/ou correntes de ar. Para registro da temperatura superficial das placas utilizou-se o DS18B20, estando posicionados no centro de cada face da placa. Os sensores foram colados na placa com fita isolante e sobre ele foi utilizado isopor e silicone afim de evitar também incidência direta de radiação e/ou correntes de ar.

No primeiro ambiente o aquecimento foi feito com uso de lâmpada halógena, com potência de 15 W e todas as faces do isopor foi coberto por papel alumínio. No segundo ambiente, foram instaladas 3 pastilhas de peltier junto a coolers com dissipadores de alumínio para resfriamento do ambiente 2. O sistema de aquecimento e resfriamento era acionado simultaneamente, induzindo o fluxo de calor em razão da diferença de temperatura entre as faces da amostra.

O sistema foi programado para coleta e armazenamento de dados a cada minuto ao longo de 3h, que de acordo com testes prévios, foi o tempo necessário para que a temperatura nas faces da placa atingisse o regime permanente. Para cada composição foram realizadas quatro repetições.

Com os dados obtidos da temperatura do ar e da superfície da placa, foram calculados a condutividade térmica da placa e a taxa de transferência de calor por convecção no ambiente 2. Para o coeficiente de condutividade (k) utilizou-se a lei de Fourier que define o valor de transferência de calor por condução, estando em função da área normal ao fluxo de calor, da espessura da placa e do gradiente de temperatura entre as faces (Equação 4). A condutividade de cada composição foi resultado da média dos últimos 10 min de dados, correspondente ao regime permanente.

$$k = \frac{e \cdot q_{cond}}{A \cdot (T_e - T_o)} \quad (4)$$

Em que:

e = espessura da placa (m);

q_{cond} = taxa de transferência de calor por condução (W);

A = área da placa exposta a radiação (m²);

T_e = temperatura da face da placa exposta à radiação (K);

T_o = temperatura da face da placa oposta à radiação (K);

O transporte de calor para o aquecimento da face da placa no ambiente 1 ocorre por convecção e radiação, gerando um gradiente de temperatura entre as faces. A partir dessa diferença, ocorre a transferência de calor por condução da face de maior para a de menor temperatura. No ambiente 2, a transferência de calor ocorre por convecção da face placa para o ar. Para a taxa de transferência de calor por convecção utilizou-se a lei de resfriamento de Newton (Equação 5).

$$q_{conv} = A \cdot h \cdot T_o - T_a \quad (5)$$

Em que:

A = área da placa exposta à radiação (m^2);

h = coeficiente médio de transferência de calor por convecção ($W/m^2.K$);

T_o = temperatura da face da placa oposta à radiação (K);

T_a = temperatura no ambiente oposto à radiação (K);

Incropera et al. (2013) citaram que faixa de valores do coeficiente de transferência de calor (h) em convecção natural para diversos gases varia de 2 a 25 $m^2.K/W$. Como $h = 1/R$, e conforme citado pela NBR 15220 (2005), a resistência (R) da camada de ar adjacente à camada de ar externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção para fluxo na direção horizontal/ascendente ou descendente é igual a 0,04 $m^2.K/W$. Adotando R como 0,04 $m^2.K/W$, temos h utilizado para nosso cálculo igual a 25 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Conforme o princípio de balanço de energia, o fluxo de calor que chega à superfície da placa por condução é igual a taxa de transferência de calor por convecção: $q_{cond} = q_{conv}$ (Equação 6).

$$k \cdot A \cdot (T_e - T_o/e) = A \cdot h \cdot (T_o - T_a) \quad (6)$$

Foram realizados os cálculos dos parâmetros de desempenho térmico por meio dos procedimentos definidos pela norma NBR 15220-2 (2005), calculando-se a resistência térmica (R), transmitância térmica (U), capacidade térmica (C) e atraso térmico (φ) para todas as composições.

Quanto maior for a condutividade térmica de um material menor será sua resistência térmica, e este denota a capacidade do material de resistir à passagem de calor. A resistência térmica foi calculada através da Equação 7:

$$R = \frac{e}{k} \quad (7)$$

Em que:

R = resistência térmica ($m^2.K/W$);

e = espessura da placa (m);

k = coeficiente de condutividade térmica do material ($W.m^{-1}.K^{-1}$).

O inverso da resistência térmica total determina a transmitância térmica (U) ou ainda o coeficiente global de transferência de calor, e foi calculada pela Equação 8:

$$U = \frac{1}{R} \quad (8)$$

Em que:

U = transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$);

R = resistência térmica ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$).

A ABNT NBR 15220-2 (2005) define capacidade térmica como a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema, podendo ser calculada pela Equação 9.

$$C = e \cdot c \cdot \rho \quad (9)$$

Em que:

C = capacidade térmica ($\text{kJ}/\text{m}^2\cdot\text{K}$);

e = espessura da placa (m);

c = calor específico do material ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$) - conforme a NBR 15220-2 (2005) é o quociente da capacidade térmica pela massa caracterizando a capacidade de um material acumular calor;

ρ = densidade de massa aparente do material ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Nesta pesquisa a determinação do calor específico se deu de forma indireta, sendo determinado primeiramente o atraso térmico (φ), onde foram realizados ensaios com 4 ciclos de aquecimento e resfriamento para cada composição, em seguida foram feitas as médias de temperatura dos ciclos, e determinado graficamente o atraso térmico de cada placa. O valor foi aplicado na Equação 10, encontrando assim o calor específico de cada composição. É importante ressaltar, que o meio adotado para obter o calor específico se deve a dificuldade de determina-lo experimentalmente devido à indisponibilidade de equipamento apropriado, sendo esta uma limitação para o estudo.

Com relação a densidade aparente, essa é mais aplicada para materiais dispersos ou expandidos (cujo volume inclui certa porção de ar), como é o caso das espumas. Para materiais emborrachados, que são prensados, determina-se a densidade absoluta ou massa específica. É importante ressaltar, que quanto maior for a compactação do material, menor será a diferença entre os valores das densidades aparente e absoluta. Nesta pesquisa procedeu a determinação da densidade absoluta a partir de preceitos contidos na ISO 2781 (2015) (método A) para sólidos vulcanizados e borracha termoplástica.

Conforme NBR 15220 (2005) o atraso térmico (φ) pode ser definido como o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta

de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. O atraso térmico em placa homogênea é representado pela Equação 10:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot k}} \quad (10)$$

Em que:

φ = atraso térmico (h);

e = espessura da placa (m);

c = calor específico do material (kJ/kg. K);

ρ = densidade de massa aparente do material (Kg.m⁻³);

k = coeficiente de condutividade térmica do material (W.m⁻¹.K⁻¹).

4.6. Caracterização mecânica

4.6.1. Tração

Os ensaios de tração foram realizados na máquina universal EMIC DL 2000, pertencente ao LCM de engenharia dos materiais da UFCG (Figura 12a). O equipamento foi programado para operar com velocidade de 50,0 mm.min⁻¹ e carga de 2000 kgf, com ensaios conduzidos em temperatura ambiente. De acordo com a especificação da norma ASTM D638 (2008), corpos de prova do tipo 4 (espessura de 3,0 ± 0,2 mm, largura de 6,0 ± 0,2 mm e comprimento de 11,5 ± 0,2 cm) possui área útil de 6,5 cm (Figura 12b). 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.

Figura 12. EMIC DL 2000 (a); corpos de prova para tração (b).

a)



b)



4.6.2. Deformação permanente à compressão - DPC

A determinação da deformação permanente à compressão (DPC) permite que se conheça a deformação residual definitiva, propriedade relacionada à resiliência da borracha, após a aplicação prolongada da carga de compressão.

Esse ensaio foi realizado no SENAI - CETEPO e seguiu os preceitos descrito pela ASTM D395 (2018) método B (que utiliza a compressão para deformação constante). Utilizou-se corpos de prova cilíndricos com aproximadamente 29,0 mm de diâmetro e $11,0 \pm 1,0$ mm de espessura, sendo pré-condicionados por 24 h a 23 ± 2 °C e $50 \pm 5\%$ de umidade relativa. A temperatura de realização do ensaio foi de 70 °C com o material submetido à compressão por 22 h. Os ensaios foram realizados em triplicata (Figura 13).

Figura 13. Equipamento e corpos de prova para ensaio de deformação permanente à compressão – Método B



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 11), o resultado foi obtido a partir da média das amostras e expresso em porcentagem.

$$DPC = \frac{e_i - e_f}{e_i - e_e} \cdot 100 \quad (11)$$

Em que:

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

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

e_e = espessura das barras espaçadoras (mm).

4.6.3. Abrasão

Os testes de resistência ao desgaste foram realizados a partir da determinação da perda de volume conforme norma ISO 4649 (2014), 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 mm^3 . Foram ensaiados cinco corpos de prova por composição com amostras cilíndricas de $16 \pm 0,2$ mm de diâmetro e espessura de 10,0 mm. 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. O peso utilizado para realização do ensaio foi de 10 N em um percurso de 40,0 m, com abrasividade da lixa de 193,73 mg e velocidade de rotação do tambor de 40 RPM.

Foi determinado também a densidade dos corpos de prova seguindo os preceitos contidos na NBR ISO 2781 (2015) (método A) para sólidos vulcanizados e borracha termoplástica. Os corpos de prova foram pré-condicionados por 24 h a 23 ± 2 °C e umidade relativa de $50 \pm 5\%$. Para o ensaio, utilizou-se água deionizada a 25 °C com densidade de $0,99708 \text{ g/cm}^3$. No método A, a densidade é determinada através do cálculo da massa da amostra pelo volume de água deslocado no béquer.

4.6.4. Dureza

Para a determinação da profundidade de penetração nas placas foram seguidos os requisitos constantes na NBR 14454 (2020), utilizando o durômetro Shore A e corpos de prova cilíndricos de 10,0 mm de espessura e diâmetro de 65,0 mm. A distância entre os pontos de medição e a borda do corpo de prova foi de 21,0 mm, e a distância entre os pontos de medição foi de 18,5 mm (Figura 14).

Figura 14. Corpos de prova utilizados no ensaio de dureza



*Referência: A1= RE/BR0; A2= RE/BR25; A3= RE/BR50 e A4= RE/BR75

O ensaio foi realizado no SENAI – CTCC onde foram realizados utilizando as faixas de tolerância para as condições ambientais conforme estabelece a ABNT 10455 (2021) 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 $50 \pm 5\%$. A análise foi realizada em triplicata.

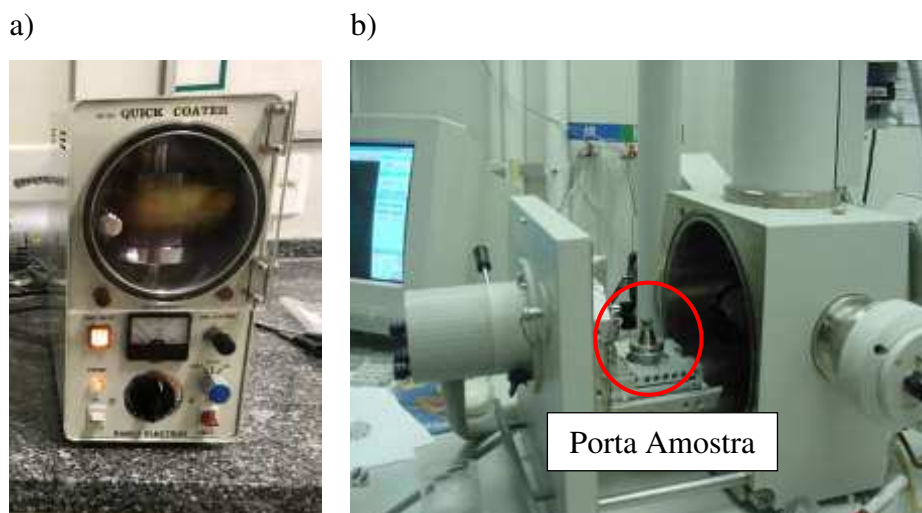
4.7. Caracterização morfológica

4.7.1. Microscopia eletrônica de varredura - MEV

As análises morfológicas foram realizadas por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o equipamento da SSX-550 Superscan – Shimadzu (Figura 15b) pertencente ao LCM de engenharia dos materiais da UFCG, operando com voltagem de 10 kV, sob alto vácuo. Foram analisadas a superfície de fratura dos corpos de prova submetidos aos ensaios de tração.

Amostras isolantes ou biológicas para serem analisadas por MEV (alto vácuo), tem que passar por um processo de metalização, já que precisam ser condutoras de corrente elétrica, portanto, antes da sua caracterização foram metalizadas com ouro pelo Sputtering – Metalizador Shimadzu –IC-50 (Figura 15a), utilizando corrente de 4mA por um período de 2 min, afim de evitar acúmulo de carga negativa.

Figura 15. Metalizador (a); SSX-500 Superscan (b)



A partir das imagens obtidas por MEV é possível analisar a microestruturação das partículas das amostras que refletem 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.

4.8. 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.

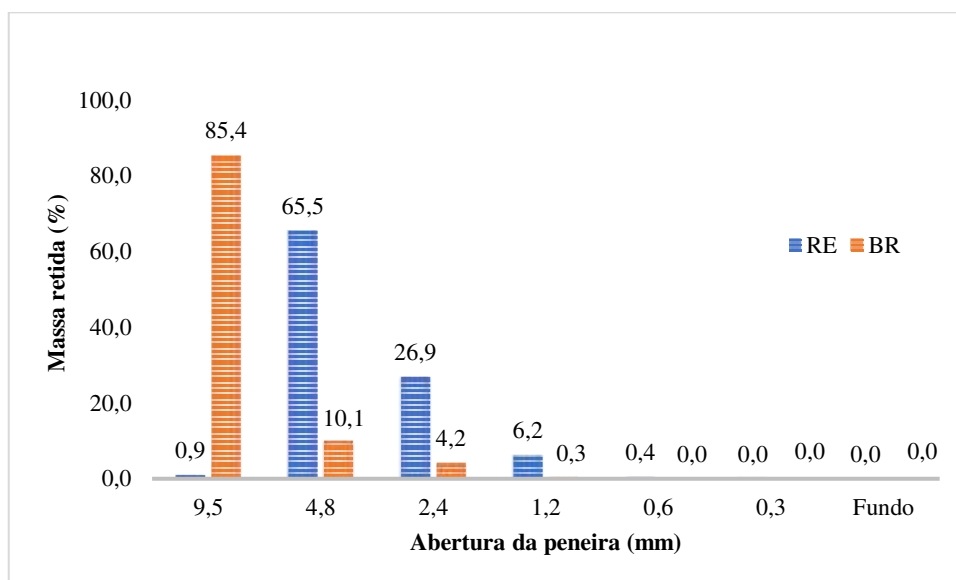
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Distribuição Granulométrica

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 16).

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 (Figura 16). 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.

Figura 16. Granulometria dos resíduos utilizados na pesquisa

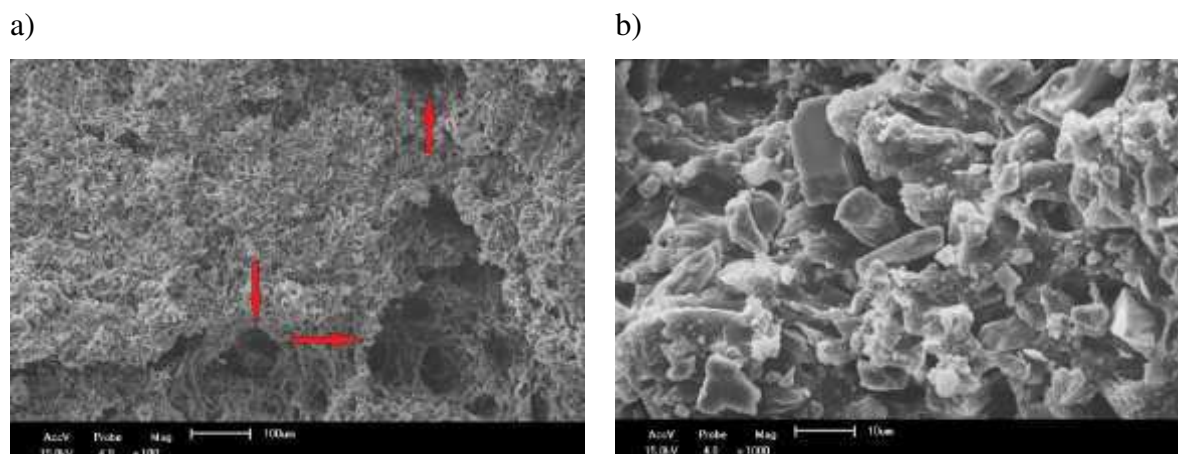


Grânulos menores de borracha, como o pó, possuem maior facilidade de adesão à matriz devido a maior área superficial. Zulkepli et al. (2009) citam que podem ocorrer pontos de acúmulos e aglomerados de pequenas partículas, que tendem a prejudicar as propriedades mecânicas do material. Como observado por Pessoa (2012) 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.

5.2. Microscopia eletrônica de varredura - MEV

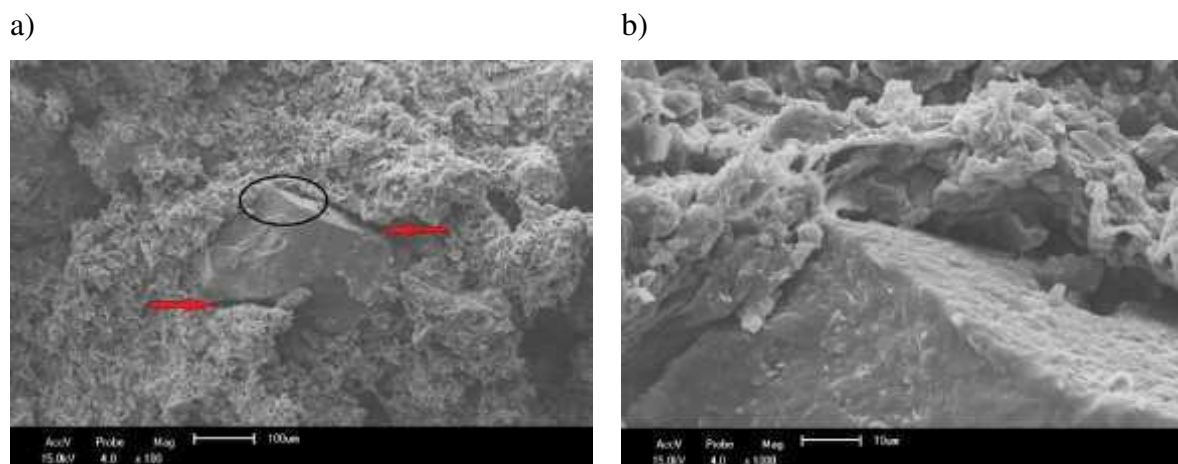
A seguir tem-se as micrografias obtidas por MEV, com ampliação de 100x e 1000x, utilizando a superfície de fratura dos corpos de prova submetidos aos ensaios de tração (Figuras 17 a 20).

Figura 17. Micrografia do RE/BR0: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x



Referência: setas vermelhas apresentam os vazios.

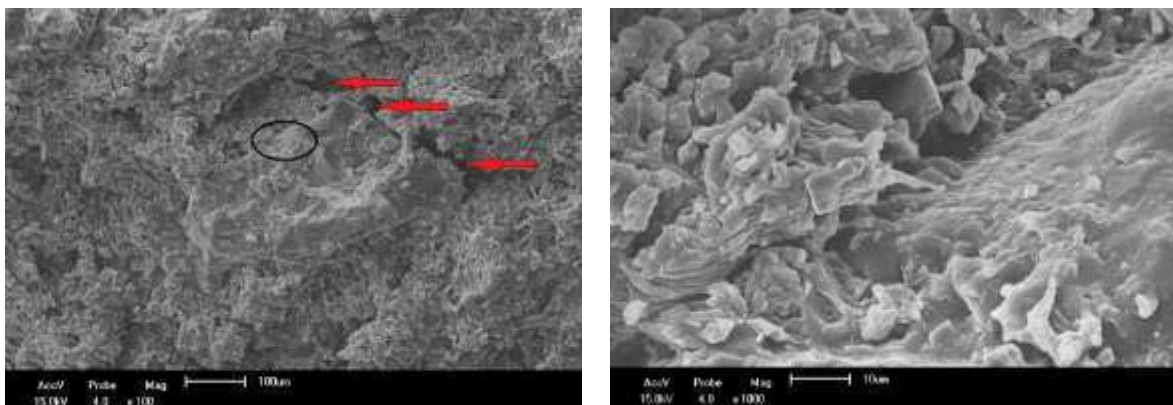
Figura 18. Micrografia da blenda RE/BR25: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x



Referência: Setas vermelhas apresentam os vazios. Círculo preto apresenta a área ampliada na figura b.

Figura 19. Micrografia da blenda RE/BR50: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x

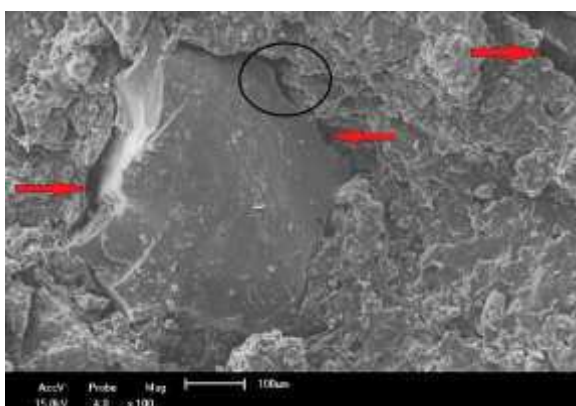
a) b)



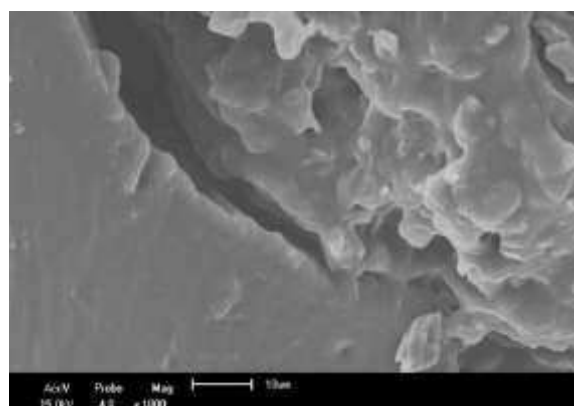
Referência: Setas vermelhas apresentam os vazios. Círculo preto apresenta a área ampliada na figura b.

Figura 20. Micrografia da blenda RE/BR75: (a) aspecto geral – ampliação de 100x (b) aspecto da interface – ampliação de 1000x

a)



b)



Referência: Setas vermelhas apresentam os vazios. Círculo 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. (2015b) 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.

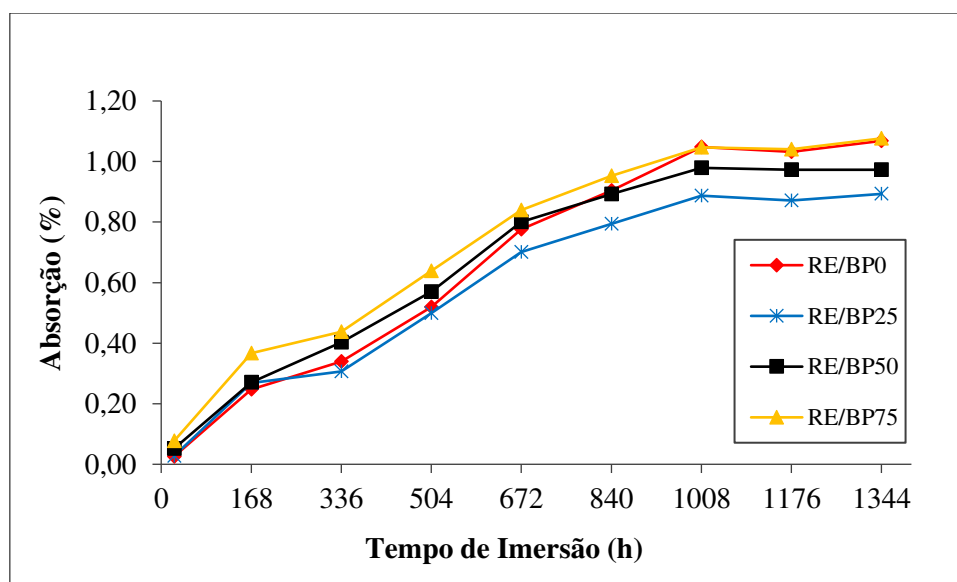
É possível constatar nas imagens a presença de morfologia dispersa das partículas de borracha junto ao RE, não sendo possível confirmar se houve alteração da morfologia da mistura com a inversão de fase devido ao aumento do teor de borracha.

Khalaf et al. (2018) ao avaliarem a morfologia de blendas compostas por EPDM/EVA sem uso de compatibilizante, afirmaram que elas eram heterogêneas (incompatíveis). Radhakrishnan et al. (2004) ao estudarem o efeito sobre a morfologia da mistura da blenda SBR/EVA, e verificaram imiscibilidade do sistema. Soares & Oliveira (2003) 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. (2005) e Rocetto et al. (2016) 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 (2016) e Luna et al. (2017) 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 (2014) afirma que essa técnica pode resultar em uma blenda polimérica compatível.

5.3. Absorção de água

É possível perceber o baixo percentual em peso de absorção de água pelas amostras ($\leq 1,08\%$) após 8 semanas de análise (Figura 21), resultado esse que se deve aos materiais possuírem células fechadas, o que dificulta a absorção de água.

Figura 21. Absorção de água dos materiais até atingir saturação



Após 24 h de imersão, foi realizada a primeira leitura e obtidos os seguintes valores de absorção de água: 0,03 (RE/BR0 e RE/BR25), 0,05% (RE/BR50) 0,08% (RE/BR75). Na

primeira semana a absorção ocorreu de maneira mais rápida, que conforme citado por Melo (2014) esse é um fenômeno conhecido como absorção de tempo curto, que pode ser explicado pela facilidade de locomoção das moléculas de água entre os micros vazios das cadeias poliméricas e também através dos vazios e defeitos resultantes da baixa adesão entre matriz e carga. Nas semanas subsequentes, a inclinação da curva foi tornando-se mais suave até a saturação com 8 semanas ou 1344 h. Bidsorkhi et al. (2014) ao submeterem amostras contendo EVA puro a absorção de água, verificaram que o material absorveu cerca de 0,79 e 1,37% de seu peso entre 2 e 24h, respectivamente. Apesar dos valores obtidos pelos autores serem superiores ao apresentado por esta pesquisa, observa-se a semelhante tendência de diminuir a absorção com o tempo.

Foi possível perceber a influência que a presença da BR nas composições exerceu sobre o grau de absorção de água dos corpos de prova, demonstrando linearidade proporcional a sua fração mássica, resultado este coerente com as análises microestruturais, e ficou evidente que a dificuldade de adesão entre as fases resultou em maior propensão a falhas internas devido maior quantidade de vazios, que podem ter servido como pontos de acúmulo de água. Dentre as amostras, a que obteve melhor resultado foi a composição com teor de 25% de BR (0,89%), superando inclusive a amostra pura (1,07%), com redução da absorção de água no percentual de 17%. É possível perceber graficamente que as amostras com 75% de BR apresentam maior absorção (1,08%) ao longo das 8 semanas de análise e nas 3 últimas semanas manteve os valores próximos ao material puro. Tal discordância observada pela composição pura não pode ser justificada pela porosidade das amostras, não sendo encontrado na literatura um fator que justifique o evento, fato esse que possivelmente deve-se a fatores externos relacionados com o processamento dos corpos de prova.

Em estudo desenvolvido por Neis (2018) onde avaliou a capacidade de absorção de água em amostras de SEBS com 10, 20 e 30% de resíduo de pneu, cita que absorção de água nesse tipo de material é muito pequena, com percentual inferior a 1% em peso, estando essa taxa de absorção diretamente relacionada ao teor incorporado de resíduo de pneu, quanto maior a fração de borracha maior também a absorção de água pelas amostras.

Silva et al. (2020) ao avaliarem o comportamento de absorção de água em pisos de concreto com adição de resíduos de borracha de pneu, observaram o aumento da porosidade dos pisos proporcional a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha e consequentemente aumento sobre a absorção de água nos pisos, a avaliação foi feita aos 28

dias, com teores de 2,5; 5,0; 10; 20; 30% obtendo valores variando entre 5,22 a 5,49% em peso das amostras, chegando próximo ao limite máximo de 6% permitido pela NBR 9781:2013. Os autores afirmaram ainda que a tendência do aumento da absorção de água afetou também a diminuição da resistência à compressão.

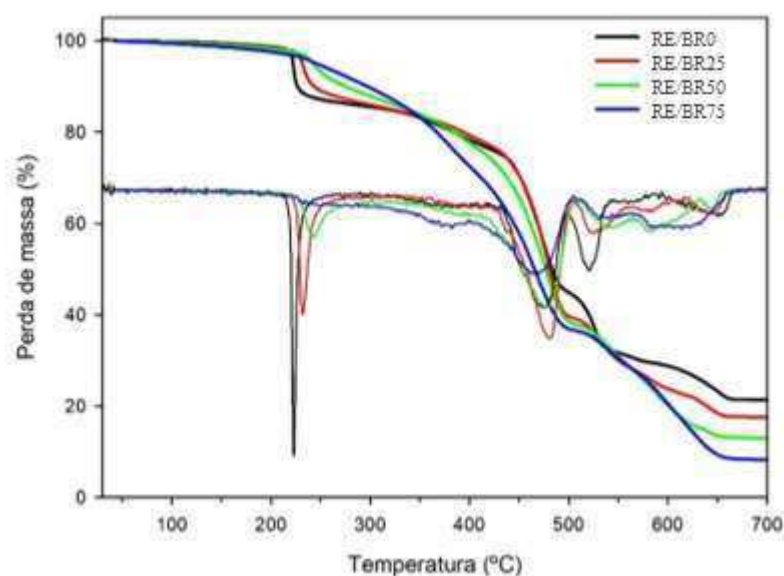
O uso de pisos emborrachados vem se tornando muito atrativo na construção, pois possibilita sua aplicação em ambientes que exige baixa absorção de umidade, o que mantém a estabilidade dimensional do moldado e evita a degradação das propriedades mecânicas. Para todas as amostras analisadas, foram constatadas visualmente estabilidade sobre cor e dimensão, além da baixa absorção ao longo das 1344 h de imersão em água, não havendo, portanto, restrições quanto a aplicação em ambientes úmidos por terem o risco de degradação reduzido em decorrência da umidade, sobretudo para a composição RE/BR25.

A análise de absorção de água em pisos poliméricos se faz importante pois o contato da umidade resultante das excretas e da limpeza diária podem afetar suas propriedades, e conforme citado por Bouchonneau et al. (2010) a umidade absorvida tende a gerar tensões residuais, instabilidade dimensional e manchas no produto.

5.4. Termogravimetria - TGA

A análise termogravimétrica (TGA) é aplicada para avaliar a variação de massa de uma determinada amostra em função da temperatura ou tempo, enquanto ela é submetida a uma programação controlada de temperatura e ambiente. A Figura 22 apresenta as curvas de TGA e DTG obtidas pelas amostras de cada composição.

Figura 22. Análise de TGA e DTG do resíduo de EVA e suas blendas



É possível observar que há três eventos principais de perda de massa, sendo que o primeiro evento tem o início da decomposição a partir de aproximadamente 220 °C, com pico máximo de degradação variando de acordo com a porcentagem do RE nas amostras. Como é possível observar, esse evento está relacionado com o resíduo de EVA, visto que há uma perda maior de massa para as composições contendo maiores proporções desse material. Segundo Williams (1994), a primeira decomposição do EVA é referente a degradação de grupos de acetatos, liberando ácido acético.

Os dados referentes a estabilidade térmica das amostras com as temperaturas referentes a 10% de perda de massa ($T_{10\%}$), para 50% de perda de massa ($T_{50\%}$) e os resíduos a 700°C estão contidos na Tabela 5. Observa-se que para a amostra pura, em 225 °C há 10% de perda de massa referente a decomposição do acetato do EVA (Williams, 1994; Rosa et al., 2021), enquanto que na amostra RE/BR75, que contém 25% de RE, essa perda de 10% da massa ocorre aos 298 °C, o que indica que quanto mais RE na amostra, a temperaturas mais baixas inicia a degradação.

Tabela 5. Estabilidade térmica das amostras em estudo

Composição	$T_{10\%}$ (°C)	$T_{50\%}$ (°C)	Resíduo a 700 °C (%)
RE/BR0	225,1	485,2	21,6
RE/BR25	244,2	480,8	17,5
RE/BR50	274,6	477,4	13,3
RE/BR75	298,6	465,5	8,3

O segundo e terceiro eventos principais, são seguidos um do outro e tem a temperatura inicial de decomposição em 420 °C, esses eventos estão relacionados com a decomposição da parte olefínica do EVA, ou seja, as ligações C-C e C-H (Zattera et al., 2005), que também estão presentes na borracha de pneu regenerada, tendo em vista que este é majoritariamente composto por SBR (De & De, 2011).

Observar-se que os resíduos a 700°C diminuem conforme também diminui o teor de RE nas amostras (Tabela 6). Esses resíduos estão relacionados com as cargas inorgânicas, conforme citado por Luna et al. (2020) estão presentes nos materiais da indústria de calçados, sendo assim pode-se afirmar que o RE contém uma porcentagem maior dessas cargas, já que a

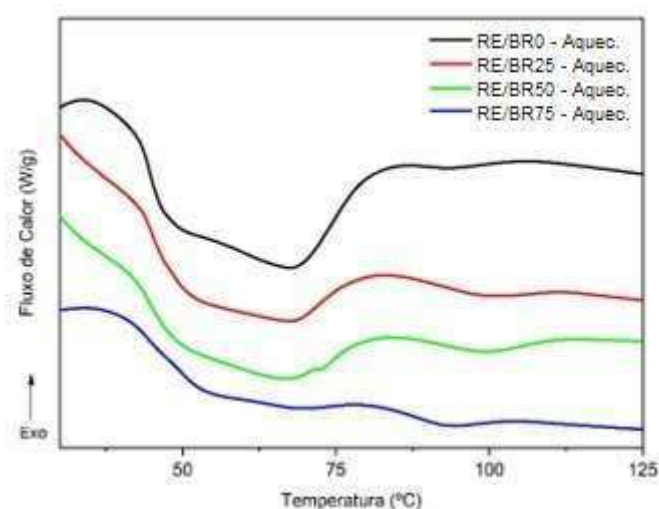
houve maior quantidade de resíduos presentes, notadamente na amostra RE/BR0 com 21,6% de resíduo.

5.5. Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC

Os termogramas a seguir, apresentam o comportamento das amostras quando aquecidas e resfriadas, obtidos nos ensaios DSC, indicando a variação do fluxo ocorrido nas amostras com temperatura variando entre ambiente e 125 °C.

As curvas de aquecimento apresentam um largo pico endotérmico, com início em aproximadamente em 40 °C (Figura 23), este pico é referente à fusão do EVA, conforme também é relatado por Agroui & Collins, 2014 e Joohari & Giustozzi, 2020. Nota-se ainda que em todas as curvas o pico é largo, característicos de materiais com diferentes cristais, com tamanhos e formas diferentes, sendo assim eles fundem em temperaturas diferentes (Zhu et al., 2020).

Figura 23. Termograma de DSC de aquecimento das amostras de resíduo de EVA e suas blendas.

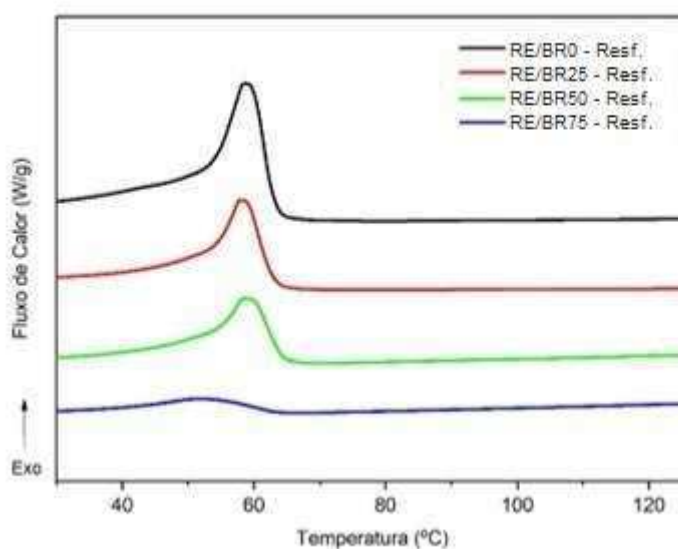


Além disso, é possível perceber que há uma diminuição da intensidade do pico de fusão conforme há o aumento da porcentagem da BR, na curva da amostra 75% de borracha, o pico característico da fusão do EVA já não é evidente, tendo em vista que nessa blenda, há apenas 25% de RE.

As curvas de resfriamento (Figura 24) apresentam o comportamento as amostras de RE e das blendas. Pode-se observar que todas as curvas apresentaram um pico exotérmico

referente a cristalização do EVA, com temperatura de pico em aproximadamente 59 °C (Shi et al., 2008; Han et al., 2018) e, conforme há o aumento da proporção da BR, há uma redução do pico de cristalização. Provavelmente isso se dá devido a BR ter como matéria prima principal o SBR que é um material de característica amorfo (Zhao & Ghebremeskel, 2001; Klonos et al., 2019), que não se cristaliza, sendo assim, a única fase que se cristaliza durante o resfriamento é a do EVA.

Figura 24. Termograma de DSC de resfriamento das amostras de resíduo de EVA e suas blendas.



Os dados referentes a temperatura de início de fusão (T_m), a temperatura de cristalização (T_c), a entalpia de fusão (ΔH_m) e o grau de cristalinidade ($\%X_c$) de cada amostra estão contidos na Tabela 6.

Tabela 6. Dados de DSC da amostra pura e suas blendas

Composição	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
RE/BR0	41,6	58,6	20,11	6,94
RE/BR25	43,2	58,7	9,98	4,64
RE/BR50	42,8	59,5	7,35	5,12
RE/BR75	41,5	52,2	1,01	1,41

É possível observar que a amostra RE/BR0 apresenta maior grau de cristalinidade dentre as amostras. Sendo assim, quanto menor a quantidade de RE, menos cristais o material

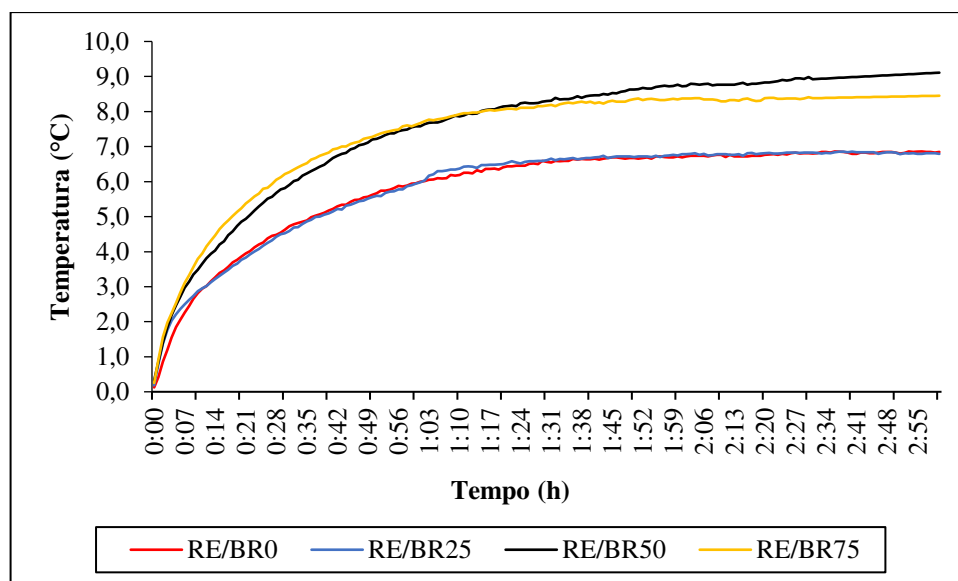
vai apresentar, corroborando com o que se pode observar nas curvas apresentadas na Figura 24.

Observa-se ainda que, quando comparado o EVA puro ao RE utilizado, o grau de cristalinidade apresentado é menor, conforme os resultados observados por Vunain et al. (2013) que apresentou valor em torno de 15%. Isso se deve provavelmente por se tratar de um resíduo e o mesmo ter passado por algum processamento e, por conseguinte, ter ocorrido perdas de propriedades que afetaram a cristalinidade do material.

5.6. Desempenho térmico

É possível observar graficamente o comportamento dos tratamentos referentes a diferença média de temperatura entre as faces das placas exposta e oposta a energia radiante ao longo das 3h de análise (Figura 25). Na primeira hora de ensaio houve maior elevação sobre as temperaturas de todos tratamentos até atingir o regime considerado permanente. A maior diferença constatada ao longo do período de análise foi para composição com 50% de BR, com valor médio máximo de 9,1 °C. Já a composição pura e com 25% de BR apresentaram as menores diferenças de temperatura entre faces, com média máxima de 6,9 °C, indicando que os tratamentos permitiram maior transferência de calor entre as faces. Comparativamente temos uma diminuição na ordem de 24% sobre o valor da temperatura entre tratamentos acima mencionados.

Figura 25. Diferença de temperatura entre as faces da placa de cada composição



Conforme ficou evidenciado, teores acima de 50% de BR influenciaram em maiores diferenças de temperatura entre faces da amostra, podendo este resultado estar relacionado a maior presença de vazios nas placas devido à baixa interação entre os componentes da blenda, assim como foi observado nas imagens micrográficas. Como a condutividade térmica do ar, segundo Wang (2020) é de $0,026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, é menor que a do EVA ($0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) e da borracha sintética ($0,40 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), houve maior dificuldade do fluxo térmico atravessar de uma face da placa para outra nos tratamentos com teores acima de 50%. Zhou et al. (2010) citam que o desempenho do material isolante é devido à baixa condutividade térmica do ar contido nestes vazios.

Considerando esse resultado, pode-se inferir que a placa contendo 50% de BR apresenta uma característica térmica relevante quando se deseja maior isolamento em pisos de instalação de produção animal podendo ser capaz de manter menores trocas térmicas entre a superfície e o animal.

A obtenção de dados referentes as temperaturas superficiais das placas permitiram a realização dos cálculos para conhecimento de uma propriedade termofísica muito importante, a condutividade térmica das placas, que serviu para posterior cálculo de alguns parâmetros para caracterização do desempenho térmico do material. Vale ressaltar ainda que o resultado de condutividade térmica foi composto pela média dos 10 min finais de dados, correspondente ao regime permanente. Para o calor específico, os valores foram obtidos indiretamente através da equação do atraso térmico. Na Tabela 7 estão apresentados os valores das propriedades termofísicas (densidade, condutividade térmica e calor específico) de cada composição.

Tabela 7. Propriedades termofísicas dos materiais em estudo.

Composição	Densidade - ρ (Kg.m^{-3})	Condutividade Térmica - k ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	Calor Específico - c ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
RE/BR0	1320	0,20	0,15
RE//BR25	1240	0,19	0,21
RE/BR50	1220	0,19	0,18
RE/BR75	1190	0,19	0,24

A condutividade térmica das placas demonstrou uma leve redução dos valores conforme ocorreu a inserção de BR ao sistema (Tabela 7). Essa redução foi na ordem de 5% independentemente do teor de resíduo de borracha nas placas. É importante ressaltar, que menores valores de condutividade térmica (k) implicam em maior capacidade de isolamento térmico dos materiais. Luamkanchanaphan et al. (2012) afirmaram que a condutividade

térmica se relaciona diretamente com a densidade, onde maiores densidades tornam a condutividade térmica mais elevada. Nesta pesquisa, os valores de condutividade térmica não apresentaram essa tendência linearizada, discordando da tese dos autores anteriormente citado. Para Cravo (2013) esse fator pode ser justificado por outro determinante nesta propriedade, que é a condutividade térmica específica nas diferentes matérias-primas da mistura. Possivelmente a borracha utilizada nesse estudo possua condutividade térmica superior ao resíduo de EVA, e fazendo um balanço entre essa propriedade e os espaços vazios contidos nas placas, resultou em iguais valores de condutividade para todas as blendas.

Por meio dos valores médios de condutividade obtidos pelas placas, observou-se que a proximidade encontrada entre os tratamentos não torna a composição pura significativamente menos isolante que as demais, haja vista que a diferença foi na ordem de $0,01 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Para Cravo (2013) um material para ser isolante térmico deve apresentar condutividade térmica menor que $0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Deste modo, esse resultado revela que os materiais apresentariam bom isolamento térmico caso fossem aplicados como piso nas instalações animais.

Quanto ao calor específico, verificou-se que essa propriedade apresentou variações nos valores não tendo uma relação direta com o percentual de resíduo introduzido na composição. Dentre as amostras, a blenda com 75% de BR apresentou a maior capacidade de armazenar calor, com valor de $0,24 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Para propiciar um bom isolamento térmico dos pisos, é desejável que o material apresente alto valor de calor específico e baixo valor de condutividade térmica. A ABNT NBR 15220-2 (2005) apresenta valores de calor específico para alguns materiais de construção civil, de acordo com a norma, o calor específico para o concreto é de $1,00 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, PVC de $0,96 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ e gesso de $0,84 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Gomes & Melo (2018) ao avaliar o comportamento térmico de blocos de alvenarias substituindo os agregados naturais por EVA, obtiveram o calor específico de $1,00 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ para os blocos contendo 80% de EVA e com espessura de 12,5 cm. Percebe-se que os valores de calor específico obtidos nessa pesquisa foram baixos, principalmente por serem considerados materiais isolantes, essas discordâncias devem ter influência da espessura da placa ensaiada, que tinha 1 cm de espessura.

Quanto aos cálculos dos parâmetros de desempenho térmico das placas, na Tabela 8 estão descritos os valores de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico.

Tabela 8. Propriedades térmicas das placas

Composição	Resistência Térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	Transmitância Térmica ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	Capacidade Térmica ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	Atraso Térmico (h)
RE/BR0	0,050	20,0	1,98	00:14:00
RE//BR25	0,053	19,0	2,60	00:16:00
RE/BR50	0,053	19,0	2,20	00:15:00
RE/BR75	0,053	19,0	2,86	00:17:00

No caso da resistência térmica (R), propriedade dependente da espessura e condutividade térmica do elemento construtivo, tem-se que maiores valores implicam em maior capacidade de isolamento. Analisando os valores obtidos da resistência térmica para todas as composições utilizando placas com 1,0 cm de espessura, temos as blendas com maior capacidade de resistir à passagem de calor, com valor igual a $0,053 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$. Em estudos realizados por Ordenes et al. (2003) os valores de condutividade e resistência térmica para pisos de madeira com espessura de 1,0 cm foram iguais a $0,14 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ e $0,071 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, respectivamente.

Teixeira (2010) ao avaliar a resistência térmica de piso radiante hidráulico com a sobreposição de camada sobre a tubulação utilizando dois diferentes materiais, um sintético e um de madeira assentados sobre subcamada de feltro em polietileno, obteve os seguintes resultados: para o conjunto do pavimento sintético com 0,7 cm e feltro com 0,1 cm de espessura, a resistência foi de aproximadamente $0,074 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, e para madeira maciça de 1,4 cm e feltro de 0,2 cm de espessura foi de aproximadamente $0,121 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$.

Menores valores de resistência térmica implicam em maior transmitância e, quanto maior a transmitância, mais calor é transmitido. Logo, quando se deseja o isolamento térmico em ambientes com condicionamento térmico ativo junto a sistemas construtivos de baixa transmitância, haverá maior economia energética e ambientes mais confortáveis. Os resultados obtidos revelaram que todas as composições apresentam alta transmitância, com valores variando entre $19,0$ e $20,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, resultado esse que pode ter como influência significativa a espessura das placas, já que essa é uma variável diretamente associada a essa propriedade. Como visto, as amostras ensaiadas expressaram baixa resistência ao fluxo de calor, o que se traduz em maior facilidade para a dissipação de calor durante o resfriamento ou baixa atenuação do ganho de calor durante o aquecimento. Verificou-se que a NBR 15220-3 (2005) apresenta diretrizes técnico-construtivas e recomendação de valores limites relativos à transmitância, capacidade e atraso térmico objetivando otimizar o desempenho térmico das

instalações através de paredes e cobertura de acordo com as zonas bioclimáticas, não havendo, portanto, requisitos estabelecidos para o desempenho térmico de pisos. Contudo, mesmo não havendo tal regulamentação, é possível afirmar que os resíduos utilizados para produção de placas a serem utilizados para piso de instalação animal, possuem capacidade de agregar ao conforto térmico do ambiente, sendo essa ainda uma possível solução menos onerosa e sustentável.

Damdelen (2019) avaliou a transmitância térmica em lajes de concreto variando o tipo de cimento e quantidade de cinza, sílica e agregado graúdo e miúdo em sua composição, na sua análise foram utilizadas lajes com 75 mm de espessura, no total foram avaliadas 28 tipos de misturas. A condutividade térmica obtida variou entre 0,6 a 0,99 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e a transmitância entre 3,39 a 4,07 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

A capacidade térmica é o produto da densidade pela espessura e pelo calor específico dos seus componentes. Os resultados apresentados para esse parâmetro mostram o comportamento desses materiais com reduzida capacidade térmica, o que denota menor inércia térmica, sendo esta responsável pelo armazenamento de calor nos momentos de alta temperatura e liberação do mesmo nos momentos de baixa temperatura, propriedade essa muito desejada para os materiais principalmente em regiões com grande amplitude térmica ao longo do dia, estando relacionado ao conforto térmico de uma instalação. O uso de elevada inércia térmica nos sistemas de pisos de uma instalação para produção animal em regiões de alta variação térmica, por exemplo, proporciona atenuação dos picos de temperatura e atraso do fluxo de calor, quando esses forem expostos à radiação solar direta através das aberturas de paredes laterais da instalação ou quando feito a suplementação do aquecimento animal por campânulas ou lâmpadas incandescentes, principalmente em seu raio de ação.

Quanto ao atraso térmico, o intervalo de tempo entre as maiores temperaturas registradas nas superfícies da placa exposta e oposta à radiação (Tabela 8), mostraram a tendência de obter maior atraso térmico conforme a inserção de borracha nas placas e, portanto, melhor desempenho. Conforme aponta Cravo et al. (2015) o atraso térmico está diretamente associado a densidade, condutividade térmica e capacidade térmica do material.

Esse resultado nos revelou que nas instalações que fosse feitos o uso de pisos com espessura e materiais utilizados nessa pesquisa, quando a temperatura da superfície exposta ao contato direto com o animal ou a radiação atingisse valor superior a parte oposta, o fluxo de calor passaria com atraso variando entre 14 min ou 0,23 h à 17 min ou 0,28 h, a depender da

composição da placa. Por não ser normatizado referências que limitem valores de atraso térmico para pisos, constatou-se com essa pesquisa que os materiais de rejeito apresentam potencial térmico para animais que necessitam de uma superfície de contato com maior isolamento, sendo viável sua reciclagem. É importante apontar que as amostras utilizadas nesse ensaio possuem espessura próximo a um tapete e para o aumento da capacidade térmica do material de modo a alcançar a exigência dos produtores, aliando a manutenção das condições de conforto térmico dos animais com menor demanda no consumo de energia, é necessário uso de placas de maior espessura, semelhante aos estrados, como possível solução para aumento da inércia térmica e consequentemente a diminuição do coeficiente de transmissão térmica.

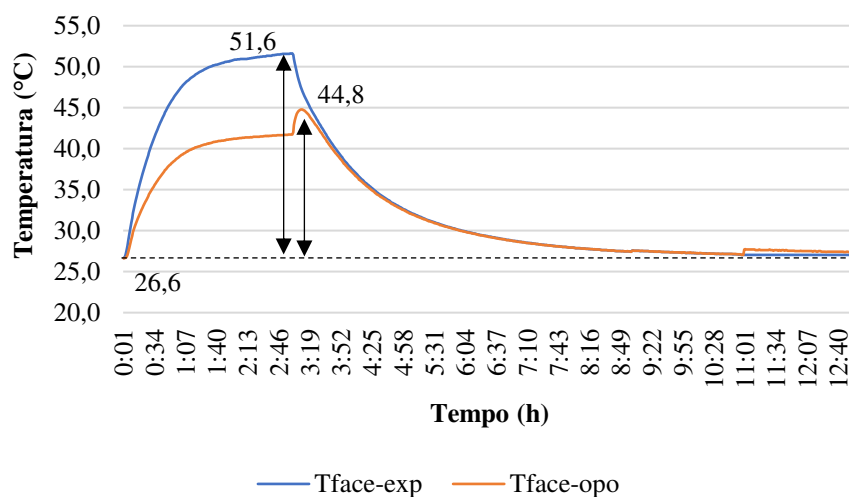
Tadeu et al. (2014) verificaram em sua pesquisa o atraso térmico em sistemas multicamadas de pisos de concreto contendo cortiça expandida e betonilha leve, em seu estudo foram abordados quatro casos variando a espessura de cada camada entre 15 e 150 mm, bem como sua posição dentro do sistema e, conforme os resultados apresentados houve contribuição do material isolante para o atraso térmico, com melhor desempenho nos sistemas com maior número de camadas e principalmente nos casos em que a laje de concreto de 30 mm ficou sobreposta a camada de material isolante. A diferença térmica entre os sistemas foi de até 3 h, com atraso térmico variando entre 10 e 13 h.

As Figuras 26a-d, apresentam graficamente o comportamento de atraso térmico a partir das médias de valores obtidos com quatro ciclos de aquecimento e resfriamento em cada placa e, conforme pode ser observado, a fase de aquecimento corresponde às 3 h iniciais, sendo obtidos os maiores picos de temperatura na superfície exposta a radiação entre 2:50 a 2:55 h, e na superfície oposta entre 3:06 e 3:09 h, resultando em atrasos térmicos que variaram entre 14 e 17 min, como dito anteriormente. As temperaturas de pico das superfícies das placas podem ser observadas nos gráficos abaixo.

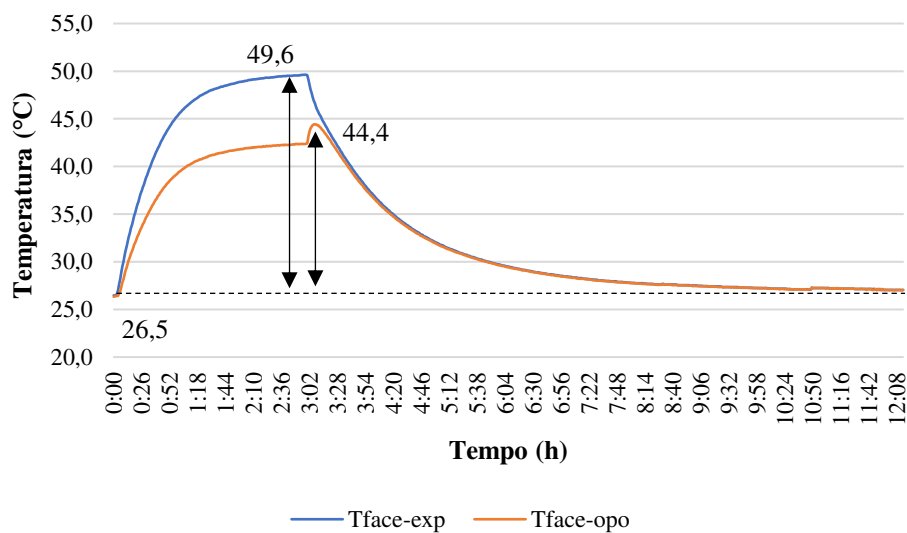
Passadas as 3 h de aquecimento das placas, a lâmpada foi desligada e houve uma queda de temperatura de forma mais abrupta na superfície da placa exposta a radiação, após algumas horas essa redução se deu de forma mais suave até chegar à temperatura de início do ensaio. O tempo para obter os ciclos completos de aquecimento e resfriamento, variaram entre 11:16 e 12:40 h.

Figura 26. Atraso térmico das placas em estudo: (a) RE/BR0; (b) RE/BR25; (c) RE/BR50; (d) RE/BR75.

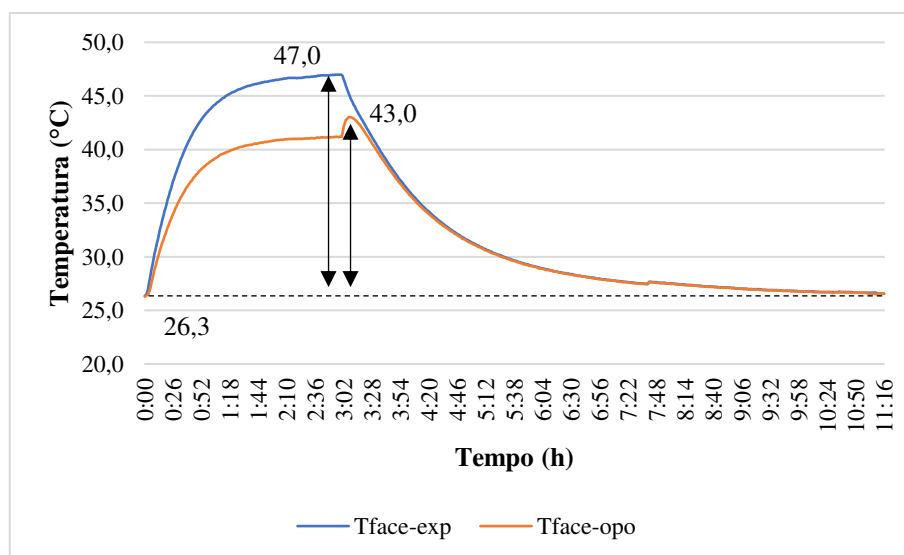
a)



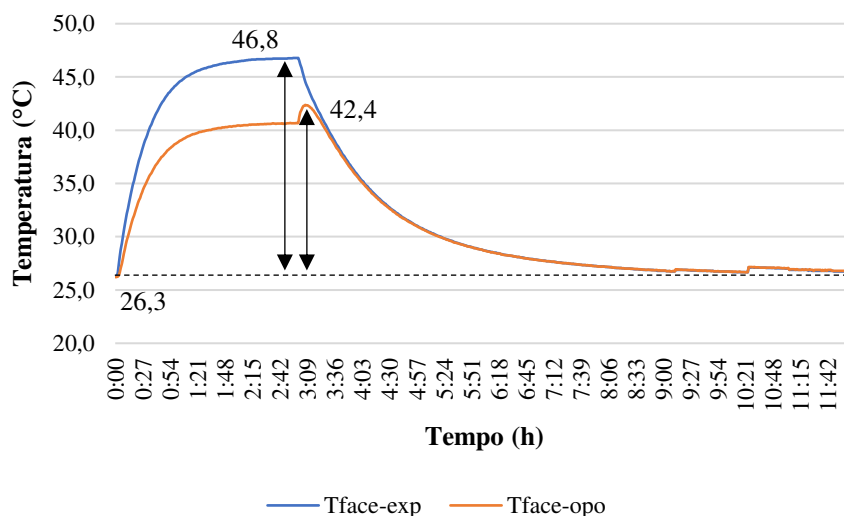
b)



c)



d)



Os resultados apresentados quanto aos parâmetros térmicos das placas, indicam que a reciclagem dos materiais de baixa condutividade para o uso que se propõe pode ser uma solução relevante para isolamento térmico quando comparados aos materiais convencionais para piso, como o concreto por exemplo, material esse que devido a limpeza diária tende a tornar o ambiente mais úmido e que permite maiores trocas térmicas por condução entre piso e animal.

Oliveira et al. (2017) ao avaliarem o comportamento de leitões em fase de creche na região do Paraná, submeteram os animais a dois tipos de ambientes, um com piso em concreto e o outro em polietileno, os autores apontaram que os animais sob o piso em polietileno sofreram menos estresse, permanecendo mais tempo deitados nas baias, associando esse comportamento a condutividade térmica do material. Os autores complementam ainda que o piso de concreto possui maior condutividade térmica, logo os animais trocam mais calor com este, enquanto no piso em polietileno essa troca de calor é menor devido a condutividade térmica ser baixa. Portanto, para essa fase do animal e a região do experimento, o piso em polietileno influenciou positivamente sobre o conforto térmico dos leitões.

5.7. Análise Reométrica

As análises dos parâmetros reométricos M_L , M_H , T_{S1} e T_{90} das amostras analisadas, estão contidas na Tabela 9 abaixo, o que ficou evidenciado a elevação de valores de acordo

com o aumento no teor de BR nas composições. As curvas de torque versus tempo desses materiais encontram-se no Apêndice A.

Tabela 9. Parâmetros reométricos das amostras analisadas.

Composição	M_L (N.m)	M_H (N.m)	T_{S1} (min)	T₉₀ (min)
RE/BR0	4,23	5,90	2,58	4,05
RE/BR25	4,92	6,10	-	5,40
RE/BR50	4,60	6,11	5,44	5,45
RE/BR75	4,26	5,57	-	5,47

Referências: M_H = torque máximo; M_L = torque mínimo; T_{S1} = tempo de pré-cura; T₉₀ = tempo ótimo de cura.

O torque mínimo (M_L) é o parâmetro associado a viscosidade do material, sendo este um indicativo da sua processabilidade no momento em que não há ligações cruzadas formadas. Percebe-se que houve aumento nas blendas, ainda que de forma sutil quando comparada a amostra sem BR, fato que pode ser justificado devido a BR é mais viscosa, o que indica maior consumo de energia para seu processamento devido maior dificuldade de o material sofrer cisalhamento durante o ensaio.

Soares & Oliveira (2003) ao analisarem o comportamento reológico de blendas NBR/EVA, reportaram o aumento da viscosidade da mistura o que atribuíram ao aumento no emaranhamento das cadeias poliméricas, como consequência do processo de compatibilização, promovido pelo EVA em decorrência das reações com a fase NBR, concluindo que de acordo com a literatura, as reações químicas que ocorrem entre os componentes durante a compatibilização geralmente aumentam a viscosidade da mistura devido ao aumento da adesão interfacial, o que propicia uma efetiva transferência de energia entre fases.

O torque máximo (M_H) apresentou comportamento similar ao torque mínimo aumentando gradativamente nas composições com até 50% de BR, esse aumento ocorre quando os compostos estão bem dispersos ocasionando boa interação entre eles, o que traduz no aumento da quantidade de ligações cruzadas formadas. Por outro lado, para amostra com 75% BR houve redução desse parâmetro, o que pode indicar menor interação entre os polímeros e por consequência maior dificuldade para formação de ligações, essa menor interação influencia na diminuição da rigidez necessitando consequentemente de menor valor de torque para a deformação do composto.

O tempo de pré-vulcanização (T_{S1}) parâmetro onde se encontra o torque mínimo e que relaciona o tempo de segurança do processo no início da formação de ligações cruzadas do material. Conforme é possível ver, o comportamento de aceleração foi diferente aparecendo em umas amostras e outras não, e embora não seja possível concluir o resultado a partir desses valores, verifica-se que o tempo de pré-vulcanização teve um acréscimo bastante acentuado conforme teor de borracha, sendo esse um bom indicativo, uma vez que valores mais elevados deste parâmetro constituem uma maior resistência a pré-vulcanização, assegurando um processo de maior qualidade à medida que ocorre reação entre os resíduos de borracha e EVA.

Zanchet et al. (2009) afirmaram que T_{90} é um parâmetro importante porque indica o tempo ótimo de vulcanização dos corpos de prova sem que ocorram degradação e envelhecimento das misturas. Conforme Costa et al. (2003) 90% do torque máximo desenvolvido é encontrado o tempo ótimo de cura. De acordo com os resultados percebe-se o aumento proporcional dos valores à medida que a BR foi incorporada ao sistema, indicando menor aceleração no processo de vulcanização. A vulcanização total ocorre após haver toda reação entre os resíduos de borracha e EVA. Oliveira et al. (2004) em sua pesquisa com borracha natural e resíduo de EVA observaram também o retardamento do processo de vulcanização conforme maior quantidade de resíduo era incorporado a borracha.

É possível perceber que a amostra com 75% de BR teve maior tempo para vulcanização mesmo apresentando decréscimo quando ao momento máximo, fato que deve possivelmente pela maior presença de partículas vulcanizadas semirrígidas nesta amostra, o que gerou redução na rigidez final do material. Resultado similar a esse foi reportado por Cioato (2011) ao trabalhar com compostos de borracha contendo borracha reciclada.

Comparativamente pode-se dizer que a adição de BR influenciou de forma significativa, não otimizando o sistema, sendo um efeito é indesejável, pois aumenta a permanência do artefato no molde, eleva os custos para o processo e afeta a produtividade. Neste caso, o aumento máximo foi na ordem de 26% sobre o tempo de vulcanização.

5.8. Tração

As principais propriedades mecânicas sob tração dos materiais em estudo encontram-se na Tabela 10. Constata-se 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, o que pode indicar incompatibilidade entre os sistemas, apenas efeito o positivo sobre a redução da rigidez das amostras.

Tabela 10. Propriedades mecânicas de tração para todas as composições

Composição	Tensão máxima (MPa)	Alongamento até ruptura (%)	Módulo elástico (MPa)
RE/BR0	7,05 ± 0,52 ^a	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

Letras diferentes diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

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 (2007) 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. (2018) a especificação técnica para a resistência à tração mínima para o composto elastomérico deve ser ≥ 5 MPa e o alongamento ≥ 400 %. Reichert (2006) recomenda que artefatos fabricados com borracha termoplástica tenham tensão de ruptura mínima de 5 N/mm².

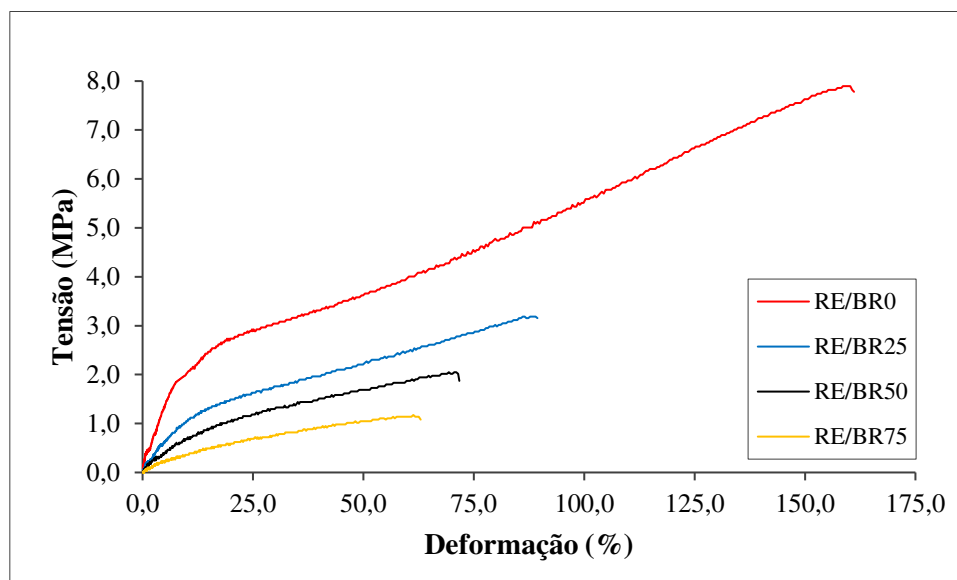
Percebe-se que o alongamento na ruptura diminuiu gradativamente com a inserção de borracha, resultado similar foi obtido por Oliveira et al. (2004) ao trabalharem com a blenda de borracha natural e resíduo de EVA, reportando que esse resultado pode ser atribuído à incompatibilidade entre os dois componentes, favorecida pela diferença de polaridade.

Rezende et al. (2007) ao avaliarem as propriedades sob tração de blendas compostas por polietileno de baixa densidade com EVA contendo variação de 10-50% de SBRr, 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 27) 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.

Figura 27. Curvas tensão versus deformação de cada composição



Souza (2016) cita que 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 feitos por Araújo et al. (1997); Figueira (2007); Boondamnoen et al. (2012); Machado et al. (2014); Silva et al. (2014) e Luna et al. (2015b) ao avaliarem a tenacificação de blendas com inserção de elastômeros.

Em concordância com o resultado e a partir de estudo mais recente, Neis (2018) 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 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 descontinuidades e imperfeições do composto, além de estar também correlacionado com a adesão e compatibilidade entre a carga e a matriz polimérica.

Silva (2015) ao avaliar a tenacificação de blendas PS/SBRr observou que a adição de um material tenaz e flexível a uma matriz rígida reduziu o módulo de elasticidade e a

resistência à tração, acentuando esse resultado conforme maior teor de borracha, o autor explica que decaimento da resistência pode ser devido à baixa interação do resíduo de SBR na matriz polimérica acarreta a presença de microvazios nas interfaces, o que facilita a formação e propagação de trincas, resultando em baixa resistência à tração. Neste sentido, Rocetto et al. (2016) observaram que a modificação de polímero tenacificado com elastômero, em geral, resultam em baixa miscibilidade e incompatibilidade, orientando para o uso de compatibilizante nas análises. Silva (2015) afirmou que a adição de um compatibilizante pode fortalecer a interfase do sistema, melhorar a adesão e a transferência de tensões entre as fases. Cioato (2011) observou aumento do alongamento de ruptura devido ao uso de compatibilizante em compostos de borracha com borracha reciclada.

Conforme Neis (2018), 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 composições tenham apresentado valores característicos de polímeros dúcteis, com baixo módulo de elasticidade e boa deformação elástica, as melhores propriedades foram conferidas ao material de referência. Luna et al. (2015b) 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.

5.9. Deformação Permanente à Compressão - DPC

Para um desempenho ideal em serviço, quanto mais baixo os valores de deformação em termos percentuais, menor será a deformação residual, o que significa que o material conseguiu recuperar sua espessura original, apresentando assim maior resistência à compressão permanente. Fagundes (2011) cita que os elastômeros/termoplásticos apresentam valores de deformação permanente à compressão (DPC) elevados, principalmente aquelas de dureza mais alta. Essa afirmação converge com os resultados obtidos, conforme estão apresentados na Tabela 11. Analisando os valores médios de DPC observou-se o aumento significativo da resistência conforme adição de borracha, onde para amostra de maior teor comparada à amostra pura, houve ganho de 39% na resistência, ou seja, a amostra RE/BR75

possui maior absorção de energia quando submetida à compressão permanente, tendo menos dificuldade de retornar a sua espessura original.

Tabela 51. 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

Letras diferentes diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

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 conformidade com os exigidos pela especificação técnica citado por Souza et al. (2018), que deve ser $\leq 50\%$.

Passador et al. (2008) ao avaliarem a DPC de amostras puras e blendas compostas por PVC/NBR convencionais e vulcanizadas verificaram melhora da resistência à compressão com a presença da borracha nitrílica (NBR) quando comparada a amostra pura de PVC, os autores 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 conseqüentemente menor deformação residual.

5.10. Abrasão

A resistência ao desgaste é uma característica importante na especificação de pisos, uma vez que influenciam diretamente na durabilidade do mesmo. 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 (Tabela 12). O resultado segue um comportamento quase gradativo, porém, com um pequeno decréscimo ainda que não significativo da amostra com 75% de BR.

Tabela 12. 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

Letras diferentes diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O aumento no volume de perda por abrasão pode ser atribuído a menor quantidade de ligações cruzadas devido a incorporação de BR nas amostras, 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 adicionados 50 ou 75% de BR essa porcentagem passa para 50% de perda e se estabelece nesse valor. Ruiz (2014) 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 Machado et al. (2014) 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 (2018) 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.

5.11. Dureza

Conforme a escala fornecida pelo SENAI, a dureza Shore A muito utilizada para emborrachados vai de 0 a 100, estando classificada como extra macio material com valor inferior a 40 Shore A; Shore A50 como material macio, podendo o emborrachado ser comparado a um pneu de carro; acima de 80, o material emborrachado parece mais com plástico e podem ser medidos na escala Shore D.

A inserção de BR reduziu significativamente a rigidez dos compostos em relação ao material de referência (Tabela 13), conforme reportado por Canazza (2019) 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 63. 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

Letras diferentes diferem entre si nas colunas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Rojas (2010) afirma que 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 et al. (2005) afirmaram que existe uma relação direta entre a cristalinidade do material com o teor de acetato de vinila no EVA. De acordo com Colombo et al. (2016) 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. (2005) afirmaram que materiais com teor em torno de 20% a dureza é similar ao PVC flexível.

Raveverma et al. (2017) em sua pesquisa com blenda de SBR/EVA obtiveram valores de dureza variando entre 61,7 e 72,2, concluindo que o material apresenta dureza média. Ruiz (2014) em 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. (2018) 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.

6. CONCLUSÕES

Ficou evidenciado que as composições se fundem em torno dos 40°C, e possuem estabilidade térmica até os 220°C, a partir dessa temperatura ocorre a degradação do material.

O baixo percentual de absorção de água, sobretudo para a composição com 25% de borracha regenerada, demonstra potencial do material para piso já que não há restrição de aplicação em ambientes úmidos.

A composição com 75% de BR apresentou-se mais macia, com melhor recuperação elástica e maior atraso térmico, características importantes para o conforto dos animais em ambientes de confinamento.

O tempo de vulcanização foi elevando conforme inserção da borracha regenerada ao composto, com diferença em até 26% sobre o tempo.

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 a perda de partícula por abrasão.

A partir destas constatações, ficou evidenciado que embora a inserção de borracha regenerada junto ao resíduo de EVA possibilite uma produção mais sustentável e tenha favorecido significativamente algumas propriedades, são materiais incompatíveis que limitam seu uso e comprometem sua durabilidade, o que levaria a maiores custos com a manutenção do piso. Portanto, a amostra sem borracha regenerada apresentou melhor potencial de reciclagem podendo ser aplicado como piso para instalação animal.

7. TRABALHOS FUTUROS

Visando contribuir com pesquisas futuras que permitam a extensão deste trabalho de tese, podem ser sugeridos os seguintes pontos:

- No teste de absorção, adaptar a análise utilizando as excretas dos animais a que se destina o material;
- Investigar a inserção de compatibilizante junto aos materiais propostos;
- Realizar estudo mais detalhado de DSC, para obter a transição vítrea dos compostos;
- Realizar análise de comportamento dos animais utilizando os pisos desenvolvidos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Borracha, vulcanizada ou termoplástica — Determinação da resistência à abrasão usando um dispositivo de tambor cilíndrico rotativo: ISO 4649:2014. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=326130>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho Térmico de Edificações: NBR 15220:2005. Disponível em: <http://https://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Construção inferior do calçado — Solas, solados e materiais afins — Determinação da dureza Shore A e D: NBR 14454:2020. Disponível em: <http://https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=bFNSaEtQaVVzL2xlSXJWSDUyYUU0cWU1VXlvaFVMZjBiNnhYZDBLOFICTT0=>. Acesso em: 13 mar. 2020
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Climatização de materiais usados na fabricação de calçados e correlatos: NBR 10455:2021. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=WWIzdTBzZk9BV044WkRoQUlsN1R0ZmZhWDZpQ3VDMUVOUVc2R3BjRU1jVT0=>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Borracha vulcanizada ou termoplástica - Determinação da densidade: ISO 2781:2015. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=326130>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. NBR 15575-3:2013. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=195611>. Acesso em: 02 fev. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248:2003. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2979>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. NBR 9781 - 13. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=194630>. Acesso em: 17 jan. 2021.

- Agroui, K.; Collins, G. Determination of thermal properties of crosslinked EVA encapsulant material in outdoor exposure by TSC and DSC methods. *Renewable Energy*, v.63, p.741–746, 2014.
- Albuquerque, L. C. Manejo Zootécnico e Comportamento de Equinos da Polícia Militar do Estado de Mato Grosso. Universidade Federal de Mato Grosso: UFMT. 51p. 2017. Conclusão de Curso
- Alexandre, M. E. O. Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados com Fibra da Folha do Abacaxi: Propriedades Mecânicas e de Absorção da Água. Natal: UFRN, 2005. 501p. Tese Doutorado
- ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. Disponível em <http://www.anip.com.br/?cont=fabricacao> . Acesso em 20 de julho de 2020.
- ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2009. Disponível em: http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produção>. Acesso em: 27 Jan. 2021.
- Araújo, E. M.; Carvalho, L. H.; Fook, M. V. L.; D’Almeida, J. R. M. Propriedades mecânicas de blendas de PS/resíduo de borracha - Influência da concentração, granulometria e método de moldagem. *Polímeros* v.7, n.3, 1997.
- Anjo, L. F. R. S.; Morais, A. S. Fenômenos de Transporte 5ª Etapa Capítulo 3 – Transferência de calor e massa. UNIUBE, 2009. Notas de Aula.
- Araújo, S. N. R.; Lopes Neto, J. P.; Nascimento, J. W. B.; Lopes, F. F. M.; Rezende, M. L. S. Uso de Placas de EVA na Redução da Transferência de Calor Entre Piso-Leitão. In: IV CONTECC – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Belém, 2017b. Anais...
- Araújo, S. N. R.; Lopes Neto, J. P.; Nascimento, J. W. B.; Rezende, M. L. S.; Lopes, F. F. M. Avaliação Comportamental de Leitões Com Uso de Resíduos de EVA Em Placas Para Piso. In: IV CONTECC – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Belém, 2017a. Anais...
- ASTM - American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, ASTM D570 – 18. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D570.htm> . Acesso em: 28 set. 2020.

ASTM – American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Compressive Properties of Rigid Plastic, ASTM D638M - 08. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D638M.htm> . Acesso em: 30 out. 2020.

ASTM – American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets, ASTM D3182 - 16. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D3182.htm> . Acesso em: 13 jan. 2020.

ASTM – American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Rubber Property-Vulcanization Using Rotorless Cure Meters, ASTM D5289 – 19. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D5289.htm> . Acesso em: 13 set.2020.

ASTM - American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Rubber Property-Compression Set. Method B - D 395 – 18. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D395.htm> . Acesso em: 03 out.2020.

Bannach, G.; Perpétuo, G. L.; Cavalheiro, E. T. G.; Cavalheiro, C. C. S.; Rocha, R. R. Efeitos Da História Térmica nas Propriedades do Polímero Pet: Um Experimento Para Ensino de Análise Térmica. *Química Nova*, v.34, n.10, p.1825-1829, 2011.

Barbosa, R. Desenvolvimento de novos compostos de borracha natural A partir da desvulcanização em extrusora com rosca dupla. Universidade Federal de São Carlos: UFCar. 177p, 2017. Dissertação Mestrado

Bezerra, E. B.; Araújo, E. M.; Leite, A. M. D.; Melo, T. J. A. Avaliação térmica de membranas poliméricas obtidas a partir de blendas de PA6/Compatibilizadas. In: XII CBPol - Congresso Brasileiro de Polímeros. Florianópolis, 2013. Anais...

Bhattacharyya, A. R.; Ghosh, A. K.; Misra, A.; Eichhorn, K. J. Reactively compatibilised polyamide6/ethylene-co-vinyl acetate blends: mechanical properties and morphology. *Polymer*. v.46, n.5, p.1661-1674, 2005.

Bidsorkhi, H. C.; Soheilmoghaddam, M.; Pour, R. H.; Adelnia, H.; Mohamad, Z. Mechanical, thermal and flammability properties of ethylenevinyl acetate (EVA)/sepiolite nanocomposites. *Polymer Testing*, v.37, p.117-122, 2014.

- Bolba, C. A. Tenacificação de Pet Reciclado com EPDM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS. 129p. 2018. Dissertação Mestrado
- Boondamnoen, O.; Ohshima, M.; Azura, A. R.; Chuayjuljit, S.; Ariffin, A. Recycling waste natural rubber latex by blending with polystyrene characterization of mechanical properties. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, v.6, n.2, p.391-396, 2012.
- Bouchonneau, N.; Carvalho, A. R.; Macêdo, A. R. L.; Viana, L. U.; Nascimento, A. P.; Duarte, J. B. F.; Macêdo, A. R. M. Análise da Absorção de Água em Dois Polímeros Expandidos: Desenvolvimento do Módulo de Flutuabilidade de um Mini-Robô Submarino. *Revista Polímeros*. v.102, n.3, p.181-187, 2010.
- Bower, D. I. An introduction to polymer physics. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- Bewley, J.; Robertson, L.; Eckelkamp, E. A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. *Journal of Dairy Science*. v.100, p.10418-10431, 2017.
- Calderón Díaz, J. A.; Boyle, L. A. Effect of rubber slat mats on the behaviour and welfare of group housed pregnant sows. *Applied Animal Behaviour Science*. v.151, p.13-23, 2014.
- Callister Jr, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução*. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- Canazza, M. A. Reciclagem de elastômeros via micro-ondas. Escola politécnica da universidade de São Paulo. 103p. 2019. Dissertação Mestrado
- Canevarolo Jr., S. V. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. 1 ed. São Paulo. Artliber Editora, 2004.
- Canevarolo Jr., S. V. *Ciência dos Polímeros: Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros*. 3 ed. São Paulo, Artliber Editora, 2010.
- Carvalho, A. J. F. *O Estado Sólido: Sólidos Amorfos e Temperaturas de Transição – Materiais poliméricos I*. São Paulo, 2009. Notas de Aula.

- Casarin, S. A. Desenvolvimento e Caracterização de Blendas e de Compostos Empregando Polímeros Biodegradáveis. Universidade Federal de São Carlos: UFSCar, 2004. 112p. Dissertação Mestrado
- Cecchin, D.; Campos, A. T.; Pires, M. F. A.; Sousa, F. A.; Amaral, P. I. S.; Tadayuki Yanagi Junior, T.; Ferreira, S. A.; Souza, M. C. M.; Cecchin, D. Escore de lesões e transtornos de locomoção de vacas Holandesas em instalações free-stall com diferentes tipos de cama. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. v.4, n.1, p.1-5, 2016.
- CETESB – Companhia ambiental do estado de São Paulo. Emissões Veiculares no Estado de São Paulo em 2016. Relatório. 221p. 2016
- Cintra, A. G. C. O cavalo: características, manejo e alimentação. 4º reimpressão. São Paulo. Editora Roca, 2016.
- Cintra, L. B. Avaliação das Propriedades Térmicas de Concretos com Ar Incorporado. Uberlândia: UFU, 2017. 144p. Dissertação Mestrado
- Cioato, D. Análise do uso de um agente de compatibilização commercial em compostos de borracha contendo pó de borracha reciclada. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS. Trabalho de diplomação em Engenharia Química – Relatório. 42p. 2011.
- Colombo, M. A.; Zimmermann, M.V. G.; Piazza, D.; Grisa, A. M. C.; Zattera, A. J. Influência Do Grau De Reticulação no Poli (Etileno-Coacetato De Vinila) (Eva) Com Diferentes Teores De 1,1 Di (Tercbutilperoxi) 3,3,5 Trimetilciclohexano) (Tmch). In: XXII CBECiMat. Natal, 2016. Anais...
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 416 de 30 de setembro de 2009 que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111056>>. Acesso em: 27 Jan. 2021.
- CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. Resolução nº 675 de 21 de junho de 2017 que dispõe sobre o transporte de animais de produção ou interesse econômico, esporte, lazer e exposição. Disponível em: <https://cleandrodias.com.br/2020/wp->

- content/uploads/2017/06/DOU-de-26.06.2017-RESOLUC%CC%A7A%CC%83O-N%C2%BA-675-CONTRAN-Transporte-de-animais-1.pdf. Acesso em: 30 Jan 2021.
- Costa, M. P. M. Estudo da tenacificação do poliestireno com elastômero butadiênicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. 92p. Dissertação Mestrado
- Cravo, J. C. M. Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendaim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas. Faculdade de zootecnia e engenharia de alimentos: USP, 2013, 166p. Dissertação Mestrado
- Cravo, J. C. M.; Sartori, D. L.; Balieiro, J. C. C.; Fiorelli, J. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação como forro em aviários. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. v.9, p.358-367, 2015.
- Damdelen, O. Influences of construction material type and water-cement ratio reduction on thermal transmittance of sustainable concrete mixes. *Construction and Building Materials*. v.196, n.30, p.345-353, 2019.
- De, D.; De, D. Processing and Material Characteristics of a reclaimed Ground Rubber Tire Reinforced Styrene Butadiene Rubber. *Materials Sciences and Applications*. v.2, n.5, p.486–495, 2011.
- Dedavid, B. A.; Gomes, C. I.; Machado, G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- Denari, G. B.; Cavalheiro, E. T. G. Princípios e Aplicações de Análise Térmica. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012. Material de Apoio, Curso Teórico/prático.
- Ebling, R. C. Prevalência e distribuição de lesões podais em vacas leiteiras criadas em *free-stall*. Universidade Federal de Santa Maria: UFSM, 2018. 54p. Dissertação Mestrado
- Fagundes, E. C. M. Elastômero Termoplástico Vulcanizado a Base De PA/NBR. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011. 136p. Tese Doutorado
- Fiegenbaum, F. Estudo da compatibilização das blendas PP/PA6 e PA6/EPR. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2007. 79p. Dissertação Mestrado

- Figueira, R. C. R. Análise da processabilidade de blendas PBT/ABS compatibilizadas *in situ* com copolímeros acrílicos. Universidade Federal de São Carlos: UFSCar, 2007. 215p. Tese Doutorado
- Fonseca, D. C. M. Comportamento alimentar, metabolismo ruminal e estabilidade do leite de vacas alimentadas com milho floculado e diferentes níveis de degradabilidade da proteína. Universidade de São Paulo: USP. 115p. 2018. Dissertação Mestrado
- Frota, A. B.; Schiffer, S. R. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. 5. Ed, 244p, São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- Grilo, M. B.; Cardoso, F. I. B. Simulador de radiação solar, resultados, funcionamento e testes em um equipamento construído. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/conem/2000/DC8738.pdf>. Acesso em: 11 out. 2020.
- Garlet, G. Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS, 1998. 162p. Dissertação Mestrado
- Gomes, E. G. S. Desempenho Térmico De Alvenarias: Uma Alternativa Com O Uso De Blocos Eva. Universidade Federal da Paraíba: UFPB, 2015. 145p. Dissertação Mestrado
- Gomes, E. G. S.; Melo, A. B. Caracterização do fluxo de calor em alvenaria com blocos EVA. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção. v.9, n.4, p.290-304, 2018.
- González Cruz, E. M. Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.
- Hage Jr., E.; Pessan, L. A. Aperfeiçoamento em tecnologia de plásticos. Módulo 7: Blendas Poliméricas, São Carlos: ABRol, 2001.
- Han, J. L.; Lai, S. M.; Chiu, Y. T. Two-way multi-shape memory properties of peroxide crosslinked ethylene vinyl-acetate copolymer (EVA)/polycaprolactone (PCL) blends. *Polymers for Advanced Technologies*. v.29, n.7, p.2010–2024, 2018.

- Heyerhoff, J. C. Z.; Leblanc, S. J.; Devries, T. J.; Nash, C. G. R.; Gibbons, J.; Orsel, K. Prevalence of and factors associated with hock, knee, and neck injuries on dairy cows in freestall housing in Canada. *Journal Dairy Science*. v.97, p.173-184, 2014.
- Incropera, F. P.; Dewitt, D. P.; Bergman, T. L.; Lavine, A. S. Fundamentos de transferência de calor e massa. Tradução e revisão técnica de Eduardo Mach Queiroz e Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- Ionashiro, M. G. Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Calorimetria Exploratória Diferencial. Araraquara: Giz Editorial, 2004, 96p.
- Jacob, J. S. O Concreto nas Construções para Suínos. Boletim Informativo EMBRAPA. 40p, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Semin%C3%A1rio+Piso+para+su%C3%ADnos+-+O+concreto+nas+constru%C3%A7%C3%B5es+para+su%C3%ASnos+-+Jefferson+Jacob.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- Joohari, I. B.; Giustozzi, F. Effect of different vinyl-acetate contents in hybrid SBS-EVA modified bitumen. *Construction and Building Materials*. v.262, p.120574, 2020.
- 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, p.376-391, 2018.
- Klonos, P. A.; Tegopoulos, S. N.; Koutsiara, C. S.; Kontou, E.; Pissis, P.; Kyritsis, A. Effects of CNTs on thermal transitions, thermal diffusivity and electrical conductivity in nanocomposites: comparison between an amorphous and a semicrystalline polymer matrix. *Soft Matter*. v.15, n.8, p.1813–1824, 2019.
- Lagarinhos, C. A. F.; Tenório, J. A. S. Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EPUSP. *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.18, n.2, p.106-118, 2008.
- Liu, Z. H.; Zhang, X. D.; Zhu, X. G.; Qi, Z. N.; Wang, F. S.; Li, R. K. Y.; Choy, C. L. Effect of morphology on the brittle ductile transition of polymer blends: 6. Influence

- of rubber particle spatial distribution on the toughening and stiffening efficiency of poly (vinyl chloride)/nitrile rubber blends. *Polymer*. v.39, n.21, p.5047-5052, 1998.
- Luamkanchanaphan, T.; Chotikaprakhan, S.; Jarusombati, S. Study of physical, mechanical and thermal properties for thermal insulation from narrow-leaved cattail fibers. *Apcbee procedia*. v.1, p.46-52, 2012.
- Luna, C. B. B.; Araújo, E. M.; Siqueira, D. D.; Morais, D. D. de S.; Filho, E. A. dos S.; Fook, M. V. L. Incorporation of a recycled rubber compound from the shoe industry in polystyrene: Effect of SBS compatibilizer content. *Journal of Elastomers and Plastics*, v.52, n.1, p.3–28, 2020.
- Luna, C. B. B.; Silva, D. F.; Basílio, S. K. J.; Araújo, E. M. Influência da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas de PS/SBRr Compatibilizada com SBS. *Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*. v.12, n.1, p.3-11, 2015a.
- Luna, C. B. B.; Silva, D. F.; Araújo, E. M.; Melo, T. J. A.; Oliveira, A. D. Estudo do Comportamento Mecânico, Termomecânico e Morfológico de Misturas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBR). *Revista Matéria*. v.20, n.2, p.322-334, 2015b.
- Luna, C. B. B.; Silva, D. F.; Basílio, S. K. T.; Araújo, E. M.; Silva, A. L.; Bezerra, A. F. C. Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina*, v.36, n.1, p.67-80, 2015c.
- Luna, C. B. B.; Silva, D. F.; Araújo, E. M.; Melo, T. J. A.; Oliveira, A. D. 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, p.219-226, 2017.
- Machado, L. S. B.; Prochnow, E. A.; Tubino, R.; Santana, R.M.C. Influência do teor de pneu inservível micronizado nas propriedades físicas de borracha termoplástica para fabricação de placa podotátil. In: *XXI CBECIMAT*. Cuiabá, 2014. Anais...
- Mainier, F. B.; Salvini, B. P.; Monteiro, L. P. C.; Mainier, R. J. Recycling of tires in Brazil: A lucrative business or an imported problem. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. v.2, n.3, p.19-28, 2013.

- Manrich, S. Processamento de termoplásticos. São Paulo: Artliber, 2005.
- Massucato, F.; Martins, G. L.; Silva, H.; Silva, T. P. P.; Paula, T. R. Análise das Propriedades Mecânicas de Materiais Poliméricos – Resistência dos materiais. Campinas, 2009. Notas de Aula.
- Medeiros, M. A. Blocos EVA de vedação: compatibilização entre os aspectos físicos, mecânicos e térmicos. João Pessoa: UFPB, 2018. 135p. Dissertação Mestrado
- Melo, J. B. C. A. de. Absorção de água em compósitos poliméricos reforçados por fibras da folha do abacaxi: modelagem e simulação. Campina Grande: UFCG, 2014. 138p. Tese Doutorado
- Merz, E. H.; Claver, G. C.; Baer, M. Studies on heterogeneous polymeric systems. Journal of polymer science, v.22, n.101, p.325-341, 1956.
- Neis, M. Influência da adição de resíduo de pneu e alumina em matriz de SEBS para aplicação em pisos industriais. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2018. 121p. Dissertação Mestrado
- Oliveira, A. D. Dispersão seletiva de argila montmorilonita em blendas poliméricas de PA6/ABS. Universidade Federal de São Carlos: UFSCar, 2009. 167p. Dissertação Mestrado
- Oliveira, A. J. Inovação Tecnológica e o Meio Ambiente - Um Estudo das Empresas do Setor de Calçados de Campina Grande Paraíba. Campina Grande: UFCG, 2009a. 211p. Tese Doutorado
- Oliveira, A. K. da R.; Mello, F. de S.; Riegel, F. C. Aproveitamento de Resíduos de EVA em Formulação de Borracha em uma Indústria Calçadista. Revista Tecnologias e Tendências. v.6, n.2, p.45-58, 2007.
- Oliveira, M. G.; Virgolino, M. H.; Gomes, A. C. O.; Soares, B. G.; Moreira, V. X. Caracterização das propriedades reológicas e dinâmicas de composições de borracha natural com resíduo de EVA. Polímeros, v.14, n.5, p.301-306, 2004.
- Oliveira, N. S.; Macagnan, R.; Groff, P. M.; Padilha, J. B.; Altos, P. A.; Takahashi, J. B. Comportamento de leitões em fases de creche em instalações com diferentes tipos de pisos. In: VII Brazilian Congress of Biometeorology, Ambiente, Behaviour and Animal Welfare. 2017. Anais...

- Ordenes, M.; Pedrini, A.; Ghisi, E.; Lamberts, R. Metodologia utilizada na elaboração Da biblioteca de materiais e Componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1. Florianópolis, 2003. Notas de Aula.
- Passador, F. R.; Pessan, L. A.; Rodolfo Jr., A. Blendas PVC/NBR por processamento reativo II: caracterização físico-mecânica e morfológica. *Polímeros*. v.18, n.2, p.87-91, 2008.
- Passatore, C. R. Química dos Polímeros - 3º módulo. São Paulo, 2013. Notas de Aula.
- Paul, D. R.; Bucknall, C. B.; Polymer blends: formulation. John Wiley & Sons, New York, v.1, 2000.
- Paul, D. R.; Newman, S. Polymer Blends. Academic Press, London, v.2, 1978.
- Pellicano, M.; Pachekoski, W.; Agnellii J. A. M. Influência da adição de amido de mandioca na biodegradação da blenda polimérica PHBV/Ecoflex®. *Revista Polímeros*. v.19, n.3, p.212-217, 2009.
- Pereira, T. M. de M. Caracterização Térmica (TG/DTG, DTA, DSC, DSC-fotovisual) de Hormônios Bioidênticos (Estríol e Estradiol). Natal: UFRN, 2013.104p. Dissertação Mestrado
- Pessoa, D. F. Pó de borracha reutilizado na confecção de compostos de borracha natural para produção de peças de engenharia do setor automotivo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: UFRGS. 2012, 91p. Dissertação Mestrado
- Pluym, L.; Van Nuffel, A.; Maes, D. Treatment and prevention of lameness with special emphasis on claw disorders in group-housed sows. *Livestock Science*. v.156, p.36-43. 2013.
- Possagnolo, B. de O. Avaliação de tapete de borracha reciclável em piso de escamoteadores e sua influência no desenvolvimento e bem-estar de leitões em fase de maternidade. São Paulo: USP, 2017. 85p. Dissertação Mestrado
- Radhakrishnan, C. K.; Sujith, A.; Unnikrishnan, G. 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 applied Polymer Science*. v.94, p.827-837, 2004.

- Raveverma, P.; Ibrahim, M.; Sa'ude, N.; Yarwindran, M.; Nasharuddin, M. Mechanical behaviour study on SBR/EVA composite for FDM feedstock fabrication. AIP Conference Proceeding. v.1831, n.1, p.020011, 2017.
- Reichert, I. K. Dossiê Técnico: Normas de ensaios de controle da qualidade em calçados e especificações, SBRT. 2006. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br>. Acesso em: 23 nov. 2020.
- Rezende, R. L.; Silva, A. L. S.; Canto, L. B.; Gonella, L. B.; Oliveira, R. V. B.; Zattera, A. J. 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, 2007. Anais...
- Ribeiro, V. F.; Domingos 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, p.186-192, 2012.
- Rocetto, L. B.; Zeni, M.; Brandalise, R. N. Utilização de Elastômeros como Modificadores de Impacto em Poliamidas. Scientia Cum Industria. v.4, n.3, p.135-147, 2016.
- Rocha, E. C.; Lovison, V. M. H. & Pierozan N. J. - Tecnologia de Transformação dos Elastômeros, Centro Tecnológico de Polímeros SENAI – CETEPO, São Leopoldo 2003.
- Rocha, V. P. T. Desenvolvimento de argamassa para revestimento de alvenaria com adição de borracha reciclada de pneu. Universidade Federal de Campina Grande: UFCG. 136p. 2019. Tese Doutorado
- Rojas, G. J. A. Utilização da borracha natural no desenvolvimento de elastômeros termoplásticos. Universidade Federal de São Carlos: UFSCar. 96p. 2010. Dissertação Mestrado
- Rosa, V. B.; Zattera, A. J.; Poletto, M. Evaluation of different mechanical recycling methods of EVA foam waste. Journal of Elastomers and Plastics. v.53, n.7, p.1-20, 2021.

- 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. Universidade Estadual Paulista: UNESP. 188p. 2014. Tese Doutorado
- Seljan, M. C. Polímeros como materiais de engenharia - plástico substituindo o metal na produção de componentes mecânicos e estruturais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: PUC-RIO. 50p. 2016. Conclusão de Curso
- SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Tecnologia e ensaios de materiais. (Mecânica Geral, 5). São Paulo, 2 ed, 231p, 1988.
- Serrano, C. L. R. Uso de resíduos de SBR proveniente da indústria de calçados em composição de SBR. Porto Alegre: UFRGS. 170p. 2009. Tese Doutorado
- Shi, X. M.; Zhang, J.; Jin, J.; Chen, S. J. Non-isothermal crystallization and melting of ethylene-vinyl acetate copolymers with different vinyl acetate contents. *Express Polymer Letters*. v.2, n.9, p.623–629, 2008.
- Silva, B. C. L.; Gachet, L. A.; Lintz, R. C. C. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. *Revista Matéria*. v.25, n.4, p.1-16, 2020.
- Silva, C. R. Propriedades Mecânicas de Blendas de Polipropileno com Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular. Minas Gerais: CEFET, 2013. 98p. Dissertação Mestrado
- Silva, D. F. Desenvolvimento de blendas de poliestireno/composto de resíduo de borracha da indústria calçadista. Campina Grande: UFCG, 2015. 104p. Tese Doutorado
- Silva, D. F.; Luna, C. B. B.; Araújo, E. M.; Silva, A. L. Blendas Poliméricas: Conceitos, Obtenção e Aplicações. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v.8, n.1, p.58-77, 2016b.
- Silva, D. F.; Luna, C. B. B.; Silva, G.; Araújo, E. M.; Melo, T. J. A. Avaliação das propriedades mecânicas de blendas de poliestireno/composto de borracha reciclada (SBRr). *Materiais e Processos*. v.9, n.2, p.92-97, 2014.
- Silva, E. P. Cahino, J. E. M.; Melo, A. B. de. Avaliação do Desempenho Térmico de Blocos Eva. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012. Anais...

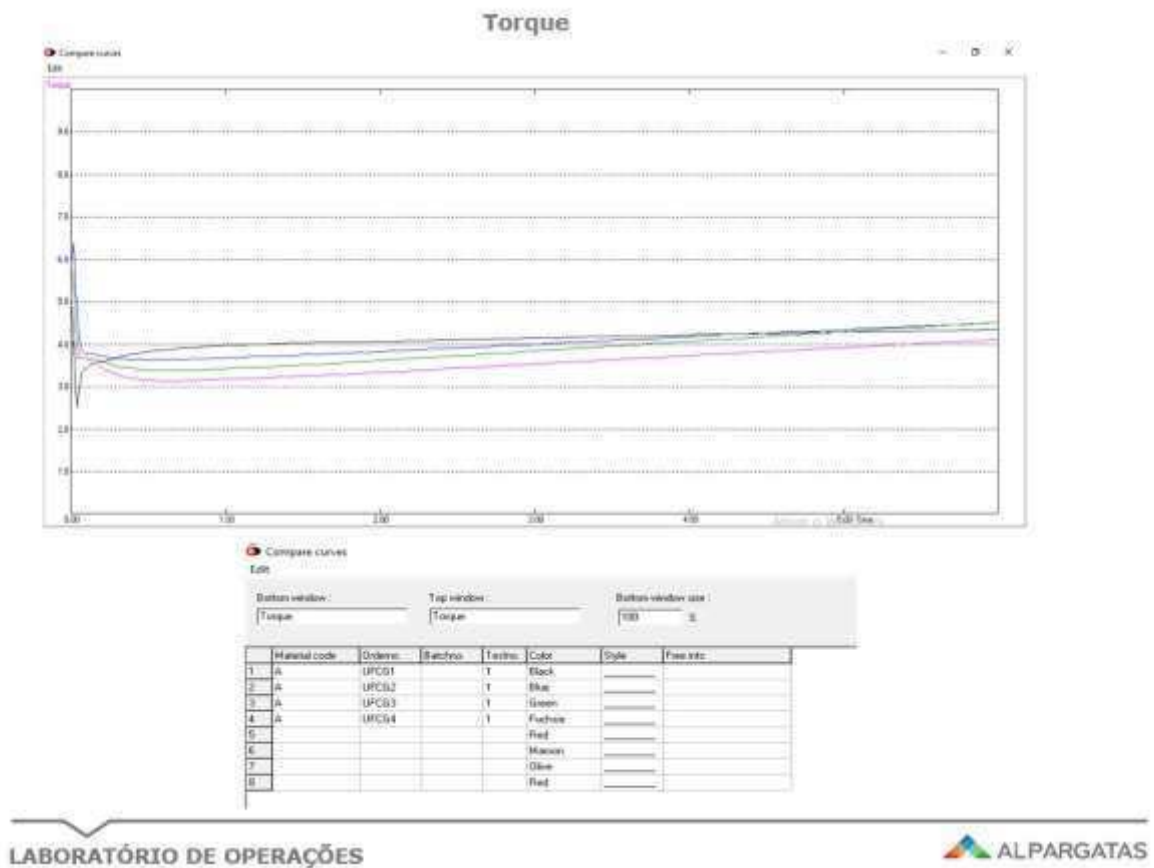
- Silva, H. N.; Duarte, C. R.; Cardoso, H. P.; Gomes, L. K. M.; Oliveira, R. Y. S. de; Santos, V. E.; Santos, A. K. L.; Sobrinho, L. L. Aplicação de Resíduos de EVA da Indústria de Calçados Como Agente de Tenacificação de Polímeros Termorrígidos. In: XXII CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, 2016a. Anais...
- Silva, M. W. S. Compostos a base de EVA reciclado para utilização em calçados. Campina Grande: UFCG, 2008. 65p. Dissertação Mestrado
- Silva, T. R. G. Influência da Poli (ϵ -Caprolactona) e de Copolímeros Funcionalizados no Desempenho de Blendas com Matriz de Poli (Ácido-Lático). Campina Grande: UFCG, 2014. 109p. Tese Doutorado
- Sinisterra, M. J. Aplicação de Poli(anilina-co-3-aminobenzóico) e actadeciltrimetóxi-silano como revestimentos protetores de ligas de alumínio. Universidade Federal de São Paulo: USP, 2016. 88p. Dissertação Mestrado
- 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, p. 28-35, 2003.
- Sousa, M. B. Estudo da Caracterização da Liga Cu-Zn-Ni Obtida Pelo Processo da Eletrodeposição. Campina Grande: UFCG, 2015. 103p. Dissertação Mestrado
- Souza, C. R. Avaliação do desempenho térmico de vedação em blocos de concretos produzidos com lã de rocha. Universidade Federal da Bahia: UFBA, 2017. 187p. Dissertação Mestrado
- Souza, D. D. Desenvolvimento de Blendas de Poliestireno/Poli(ϵ caprolactona). Universidade Federal de Campina Grande: UFCG, 2016. 119p. Tese Doutorado
- Souza, L. C. L. Conforto Térmico III - Módulo 6. Pós-Graduação em Arquitetura e Bioclimática Sustentabilidade e Eficiência Energética. Universidade Cruzeiro do Sul, 2010. Notas de Aula.
- Souza, S. G.; Herbst, G.; Silveira, M. L. L.; Kurek, A. P.; Sellin, N. Avaliação de diferentes formulações de compostos elastoméricos SBR/NR visando minimizar a pré-vulcanização. *Revista Matéria*. v.23, n.4, p.1-11, 2018.

- Sperling, L. H. Introduction to physical polymer science. 3 ed., New York: Wiley & Sons, 2001.
- Stull, C.; Rodiek, C.; Coleman, R.; Ralston, S.; Topliff, D.; Millman, S. Horses Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. 4 ed., p. 90 – 100, 2020.
- Tadeu, A.; Moreira, A.; António, J.; Simões, N.; Simões, I. Thermal delay provided by floors containing layers that incorporate expanded cork granule waste. *Energy and Buildings*. v.68, p.611-619, 2014.
- Teixeira, A. F. G. Estudo do desempenho térmico de um piso radiante hidráulico com diferentes acabamentos na superfície. Universidade da Beira Interior, 2010. 72p. Dissertação Mestrado
- Torrecillas, H.; V. Influência da Sequência de Processamento nas Propriedades de Engenharia da Blenda PP/SEBS Contendo Argila Montmorilonita. Centro Universitário FEI, 2014. 113p. Dissertação Mestrado
- Trombeta, F. Dossiê técnico de Elastômeros Termoplásticos. São Leopoldo: SENAI CETEPO, 2007.
- Tutikian, B. F.; Zuchetto, L. K.; Souza, R. P.; Oliveira, M. F. N. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. *Ambiente Construído*. v.17, n.3, p.295-306, 2017.
- Vermeer, H. H. A. Incidência e a gravidade da claudicação de porcas depende do piso, do desenho dos boxes e do comportamento dos animais. Entrevista concedida a Zinpro Corporation, 2013.
- Vunain, E.; Mishra, A. K.; Krause, R. W. Ethylene-vinyl acetate (EVA)/polycaprolactone (PCL)-Fe₃O₄ composites: Preparation, thermal and mechanical properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. v.114, n.2, p. 791–797, 2013.
- Wang, S.; Liu, Y.; Guo, Y.; Lu, Y.; Huang, Y.; Xu, H.; Wu, H.; Wu, D.; Sun, J. Optimal analysis for thermal conductivity variation of EVA/SCF composites prepared by spatial confining forced network assembly. *Materials today communication*. v.25, p.101206, 2020.

- Weber, T.; Oliveira, M. G.; Zeni, M. Crespo, J. S.; Nunes, R. C. R. Processability of revulcanizable SBR compositions. *Polymer Bulletin*. v.61, n.2, p.217-224, 2008.
- Weber, T. Revulcanização de rejeito industrial de copolímero de butadieno e estireno (SBR). Universidade de Caxias do Sul: UCS, 2006. 90p. Dissertação Mestrado
- Williams, K. R. Analysis of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers: A Combined TGA/FTIR Experiment. v.71, n.8, p.195–197, 1994.
- 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, p.73-78, 2005.
- Zhao, J.; Ghebremeskel, G. N. A review of some of the factors affecting fracture and fatigue in SBR and BR vulcanizates. *Rubber Chemistry and Technology*. v.74, n.3, p. 409–427, 2001.
- Zhou, X.; Zheng, F.; Li, H.; Lu, C. Na environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and buildings*. v.42, p.1070-1074, 2010.
- Zhu, Z. H.; Zhang, N.; Wang, T.; Hao, M. Y. Analysis of crystallization and melting behavior of composites before and after annealing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. v.733, p.1-5, 2020.
- Zulkepli, N. N.; Ismail, H.; Rashid, A. A. Effects of different 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, Tehran*. v.18, n.2, p.139-148, 2009.

APÊNDICE

Apêndice A – Curvas de reometria de torque para amostra pura e suas blendas



**Referência: preto – RE/BR0; azul - RE/BR25; verde - RE/BR50 e fúcsia - RE/BR75.

ANEXO A

Ficha técnica do resíduo de EVA

PROPRIEDADES FÍSICAS				
PROPRIEDADES	BASEADO NA NORMA	VALOR		
		MINIMO	MÁXIMO	RESULTADO
DENSIDADE (g/cm³)	ASTM D-297-79	0,20	0,30	0,25
DUREZA (ASKER C)	DIN - 53505	35	45	38
ABRASÃO (mm³)	DIN - 53516	-	900	800
RESILIÊNCIA(%)	DIN 53512	35		40
D.P.C (%)	ASTM D-395-78	-	75	75
ESPESSURA (mm)		12	19	-
RESPONSÁVEL TÉCNICO	<i>Abner Machet</i>	ATUALIZADA EM:	19/10/2018	

ANEXO B

Ficha técnica da borracha de pneu regenerada

Certificado de Análise			
Ensaio	Método	Unidade	BEA - S30 0
Viscosidade	ASTM D - 1646	Mooney	62,04
Propriedades reométricas (MDR 2000 @ 150 ° C)			
Toque máximo	ASTM D - 2084	dN.m	8,77
Toque mínimo	ASTM D - 2084	dN.m	1,54
Tempo de segurança de processamento, Ts1	ASTM D - 2084	min	1,78
Tempo ótimo de cura, T50	ASTM D - 2084	min	5,62
Tempo ótimo de cura, T90	ASTM D - 2084	min	14,15
Propriedades físicas originais (Vulcanização 25 @ 145 ° C)			
Tensão de ruptura	ASTM D - 412	MPa	4,21
Alongamento	ASTM D - 412	%	160,68
Módulo 100%	ASTM D - 2240	MPa	7,36
Dureza	ASTM D - 2240	Shore A	51,5
Resistência à abrasão	ASTM D - 5468	mm ³	-
Propriedades Químicas			
Extrato acetônico	ASTM D - 297 - 18	%	8,7
Cinzas	ASTM D - 297 - 34	%	4,28
OBS.: Os testes de análise do Regenerado ECOAméricas foram realizados no laboratório da empresa Flexlab.			
<small>Tabela de resultados: foram repetidos alguns testes para obtenção de uma média de resultados.</small>			