

# Incorporação de resíduos têxteis em polímero de estireno-butadieno-estireno (SBS) com potencial aplicação na fabricação de calçados

Robson Kauer<sup>1</sup>

Cláudia Trindade Oliveira<sup>1\*</sup> 

Sandra Raquel Kunst<sup>2</sup>

Luiz Carlos Robinson<sup>1</sup>

Eduardo Luis Schneider<sup>3</sup>

Fernando Dal Pont Morisso<sup>1</sup>

## Resumo

Atualmente são utilizados mais de 40 tipos de componentes na construção de um calçado. Entre estes estão os têxteis de algodão e de poliéster. O trabalho teve como objetivo a utilização dos resíduos têxteis de algodão e de poliéster no desenvolvimento de compósitos a base de estireno-butadieno-estireno (SBS) com potencial aplicação na preparação de componentes para calçados. Assim, os resíduos foram processados em moinho de facas e foram incorporados na formulação base em diferentes percentuais em extrusora monorosca. As amostras foram caracterizadas por microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, reometria de torque e ensaio de desgaste. A caracterização morfológica revelou, fibras em forma de feixes e fibras soltas com orientação aleatória, além do recobrimento das fibras têxteis. A reometria evidenciou aumento da viscosidade dos compósitos em função do teor de têxtil. O ensaio de resistência ao desgaste por abrasão diminuiu com o incremento dos resíduos dentro dos limites para utilização na construção do calçado. Os resultados mostram potencial técnico na preparação dos compósitos e uma alternativa promissora na produção de componentes do próprio setor gerador do resíduo.

**Palavras-chave:** Resíduo têxtil; Algodão; Poliéster; SBS; Compósito.

## Incorporation of textile waste in styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer with potential application in footwear manufacturing

## Abstract

Currently, more than 40 types of components are used in the construction of footwear. Among these are cotton and polyester textiles. The objective of this work was to use cotton and polyester textile waste in the development of styrene-butadiene-styrene base (SBS) composites with potential application in the preparation of components for footwear. Thus, the residues were processed in a knife mill and were incorporated in the base formulation in different percentages in a single-screw extruder. The samples were characterized by optical microscopy, scanning electron microscopy, torque rheometry and wear test. The morphological characterization revealed fibers in the form of bundles and loose fibers with random orientation, in addition to the covering of textile fibers. The rheometer showed an increase in the viscosity of the composites as a function of the textile content. The abrasion wear resistance test decreased with the increase of residues within the limits for use in footwear construction. The results show technical potential in the preparation of composites and a promising alternative in the production of components from the waste generating sector itself.

**Keywords:** Textile residues; Cotton; Polyester; SBS; Composites.

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Projeto de Fixação de Recursos Humanos do CNPq, Sapucaí do Sul, RS, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais, DEMAT, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

\*Autor correspondente: cto@feevale.br



## 1 Introdução

Em tempos de desaceleração na economia, as empresas têm investido fortemente na busca de diferenciais competitivos para manterem-se atuantes no mercado em que estão inseridas. Dentre os diferenciais almejados citam-se melhorias na produtividade, qualidade, potencial de venda, prospecção de soluções inovadoras e uma gestão eficiente dos resíduos. Dentre as empresas que buscam esses diferenciais, podem ser citadas as empresas do ramo têxtil, sejam de fabricação ou de serviços de industrialização como, por exemplo, as dubladoras [1,2]. No início do século 21 o consumo mundial anual de tecidos e não-tecidos já superava as 46 milhões de toneladas, dos quais os sintéticos e o algodão representavam 49% e 42% respectivamente, com tendência crescente nos anos subsequentes. Admitindo que um valor ínfimo de 2% se converte em resíduo, o problema aproxima-se a 920.000 toneladas/ano de resíduo têxtil [3]. No Brasil, uma estimativa apresentada em 2014 sugeriu a geração de 170 toneladas de resíduos têxteis por ano dos quais em torno de 80% seriam destinados à lixões e aterros [4]. Neste contexto é importante introduzir-se a gestão de resíduos sob os aspectos do reaproveitamento, da reciclagem e do reuso. Neste sentido, as sobras dos processos de produção devem ser consideradas como realmente são: matérias-primas excedentes e tributadas como tal. Deste modo, não inserir esses excedentes em processos que resultem em produtos alternativos caracteriza-se desperdício [5].

Ao mesmo tempo, segundo a cartilha de adesivos da Assintecal [6], os compostos de borracha termoplástica (TR), que apresentam como base um copolímero de estireno-butadieno-estireno (SBS), aliam as características da borracha vulcanizada com a facilidade de transformação dos termoplásticos. Estes TR's são materiais de fácil processamento, como o poli (cloreto de vinila), e se comportam como uma borracha de estireno-butadieno (SBR) vulcanizada. O TR utilizado como solado é um material antiderrapante, bastante flexível e facilmente deformado pelo calor. No entanto, em alguns casos, estes solados quebram em função do ataque contínuo de solventes como a acetona e o acetato de etila, utilizados como primers de colagem e, assim, a introdução de cargas de reforço que possam ser oriundas do próprio processo produtivo configura ganho convergente.

A reincorporação de excedentes de um dado processo em um outro processo produtivo proporciona vantagens como a minimização dos impactos ambientais, além das que advêm do cumprimento das normas regulamentadoras e do aumento na lucratividade [7-10]. Assim, neste trabalho, sugere-se a utilização do resíduo têxtil proveniente do cluster

calçadista como carga para a fabricação de compósitos a base de polímero estireno-butadieno-estireno (SBS), para utilização no próprio segmento industrial, mas com outra finalidade como a potencial produção de solados mais resistentes.

## 2 Materiais e métodos

Os resíduos têxteis utilizados neste estudo são sobras de artigos têxteis de algodão e poliéster provenientes do processo de dublagem de uma indústria de componentes do cluster calçadista. O SBS utilizado neste trabalho foi o Prismaprene® HPR 325/60B fornecido pela empresa Prisma Montelur Compostos Termoplásticos, na forma de pellets com as propriedades físicas listadas na Tabela 1, segundo a Ficha de Técnica de controle de qualidade do fornecedor.

### 2.1 Processamento dos resíduos

Resíduos de algodão e de poliéster foram moídos (Figura 1) em moinho de facas, marca SEIBT, modelo MGHS 1.5/85, com motor de potência 2 hp e peneira de 8 mm.

### 2.2 Processamento dos compósitos

Os resíduos têxteis moídos e o SBS, foram misturados conforme as proporções indicadas na Tabela 2. A amostra 1, é o polímero puro para fins de comparação com os demais compósitos. O planejamento experimental foi elaborado visando à preparação dos compósitos utilizando somente resíduo têxtil de algodão e poliéster, separados, em quantidades equivalentes em massa. Também foram preparadas amostras com uma mistura de 1:1 de algodão e de poliéster, em percentuais de 10 e 20% em função de dados de literatura [11]. Estas formulações também estão descritas na Tabela 2.

Para o processo de aglutinação das formulações descritas na Tabela 2 foi utilizado um aglutinador da marca FL MOSSMANN, modelo AGL-112. Em seguida, os materiais foram processados em uma extrusora monorosca da marca SEIBT, modelo ES25, com quatro zonas de aquecimento operando em temperaturas de 110 °C, 120 °C, 130 °C e 140 °C, respectivamente, com oscilação de  $\pm 3$  °C. A velocidade de rotação da rosca da extrusora foi fixada em 22 rpm a fim de se obter condições equivalentes aos equipamentos industriais e facilitar sua posterior reprodutibilidade. Após o processo de extrusão das amostras, elas foram peletizadas em um picotador da marca AXPLÁSTICOS, modelo GR 01, com velocidade

**Tabela 1.** Propriedades do TR (SBS) utilizado (Prismaprene® HPR 325/60B)

Propriedades	Unidade	Valor obtido	Especificação	Referência normativa
Abrasão	mm <sup>3</sup>	230	Máximo 260	DIN 53516
Dureza	Shore A	59	60+/-2	DIN 53505
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	0,956	0,970+/-0,015	DIN 53479
Índice de Fluidez	g/10 min	54	Mínimo 30	ASTM D 1238

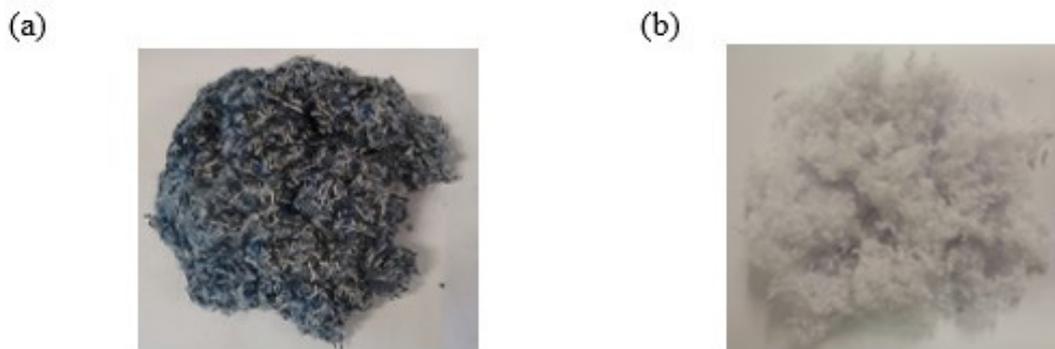


Figura 1. Resíduo moído de algodão (a) e poliéster (b).

Tabela 2. Composição dos compósitos SBS/Resíduos têxteis de algodão/poliéster

Amostra	Quantidade de SBS (%)	Quantidade de resíduo de algodão (%)	Quantidade de resíduo de poliéster (%)
TR VIRGEM	100	0	0
PO10	90	0	10
PO20	80	0	20
PO30	70	0	30
PO40	60	0	40
AL10	90	10	0
AL20	80	20	0
AL30	70	30	0
AL40	60	40	0
POAL10	90	5	5
POAL20	80	10	10

de 1000 rotações por minuto. Após este processo, as amostras foram novamente extrudadas e peletizadas, com o intuito de promover uma melhor homogeneização dos componentes dos compósitos [12]. Após a peletização das amostras, foram preparados os corpos de prova dos compósitos por processo de injeção em uma injetora marca Bonmaq, modelo APTA 80, com três zonas de aquecimento, em temperaturas de 160 °C, 170 °C, 180 °C. A temperatura do bico de injeção foi de 190 °C.

### 2.3 Caracterização dos compósitos

A análises morfológicas pelo microscópio ótico foi realizada em um estereomicroscópio marca Carl Zeiss, modelo Stemi 508.

As análises morfológicas por MEV foram realizadas em equipamento JEOL, Modelo JSM-6510LV. As amostras de cada etapa do processo foram metalizadas com sobreposição de fina camada de ouro, conforme procedimento padrão. As micrografias foram obtidas com feixe de elétrons de 10 kV.

O ensaio de reometria de torque foi realizado no equipamento da marca Thermo Scientific, modelo Haake PolyLab OS: RheoDrive 7 OS/Rheomix 600 OS, operando com rotores do tipo roller, velocidade de rotação de 60 rpm sob temperatura de 60 °C, durante 10 minutos.

O ensaio de resistência à tração e alongamento na ruptura foi realizado de acordo com a norma ABNT/NBR

– 14459/2017. Para tanto foi utilizada máquina universal de ensaios, marca Maqtest. Foram preparados três corpos de prova (CP) por material injetado e cada amostra passou por um período de condicionamento de 24 horas, em uma temperatura de 23 °C ± 1 °C em dessecador. A espessura e a largura foram medidas em três pontos de cada CP com o auxílio de um paquímetro para o cálculo da área de cada amostra. Os CP foram presos com o auxílio de duas garras à máquina universal de ensaios e realizou-se o tracionamento com velocidade de 100 milímetros por minuto, até seu rompimento. Após ruptura total, o valor máximo da tração foi anotado e o alongamento máximo lido diretamente em régua. A tensão em N/mm<sup>2</sup> foi obtida pela Equação 1:

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

Onde: F = Força em N (valor lido no dinamômetro), A = Área do corpo de prova em mm<sup>2</sup>.

O alongamento percentual foi obtido através da Equação 2:

$$\text{Alongamento} = [(D_{final} - D_{inicial}) / D_{inicial}] \times 100 \quad (2)$$

Sendo: D= Distância.

O ensaio de determinação da resistência ao desgaste por abrasão foi realizado conforme norma ABNT NBR

14738:2015 - Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência ao desgaste por abrasão especial - Perda de espessura.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Microscopia Óptica (MO)

A Figura 2 apresenta fotomicrografias dos resíduos moídos de algodão e poliéster com aumento de 20 vezes. Observando as duas imagens não é possível diferenciar uma fibra da outra, a não ser por sua coloração. Os dois materiais têxteis apresentam fibras soltas e em forma de feixes soltos e entrelaçados, no entanto, o resíduo de algodão apresenta mais fibras soltas, enquanto no de poliéster percebe-se uma mistura de fibras soltas e feixes maiores, bem como um brilho mais evidente em relação às de algodão. Como trata-se de resíduos, é difícil caracterizar os processos que os originam, mas é possível perceber que o processo de moagem em moinho de facas utilizado na transformação dos resíduos em carga de reforço parece desfiar o algodão em maior extensão que o poliéster e cortar o poliéster em maior extensão que o algodão.

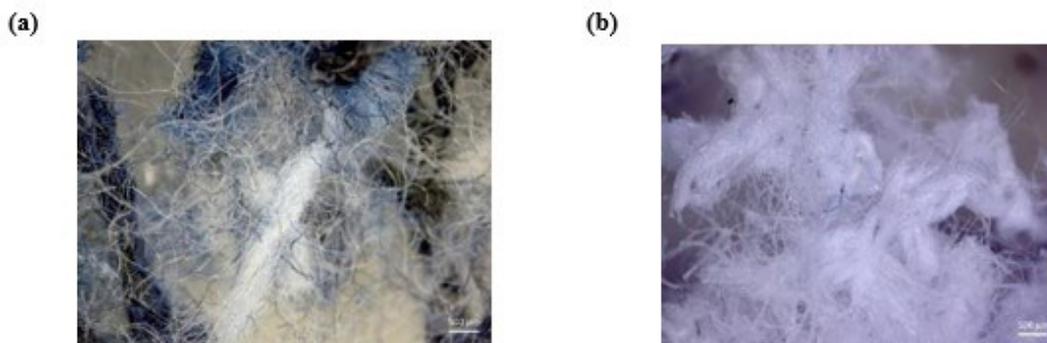
Além disso, o brilho das fibras não é uma característica intrínseca das amostras uma vez que o algodão industrializado pode ter seu acabamento superficial modificado através de diversos acabamentos químicos e/ou enzimáticos [13], assim

como o poliéster também pode ser obtido através de processo que geram distintos aspectos visuais às suas fibras [14].

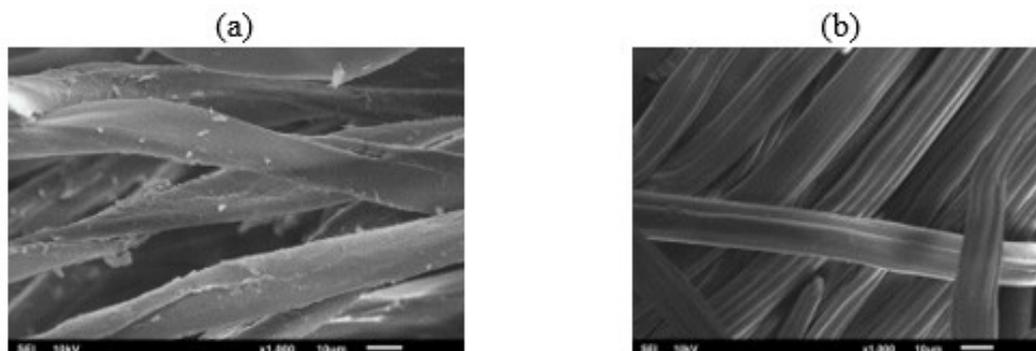
#### 3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 3 mostra micrografias das fibras de algodão e de poliéster com aumento de 1000 vezes. Para o algodão percebe-se um fio com nervuras, deformações e com pequenas incrustações ou sujidades aderidas na fibra, provavelmente provenientes do manuseio ou eventual tratamento recebido pelo tecido durante seu ciclo de vida. A morfologia da fibra de algodão encontra concordância na literatura [15], que apresenta caracterização prévia deste tipo de fibra têxtil, com estrias e ranhuras, bem como torções das fibras em torno de si mesmas, que pode ser indicativo de coesividade destas em um eventual processo de fiação conjunta. Já para o poliéster, diferentemente da fibra de algodão, percebe-se um fio sem grandes deformações ou material aderido, apenas um estiramento longitudinal, que pode ser proveniente do processo de obtenção do fio na etapa de estiramento, quando o fio adquire a forma dos orifícios da fiação [14].

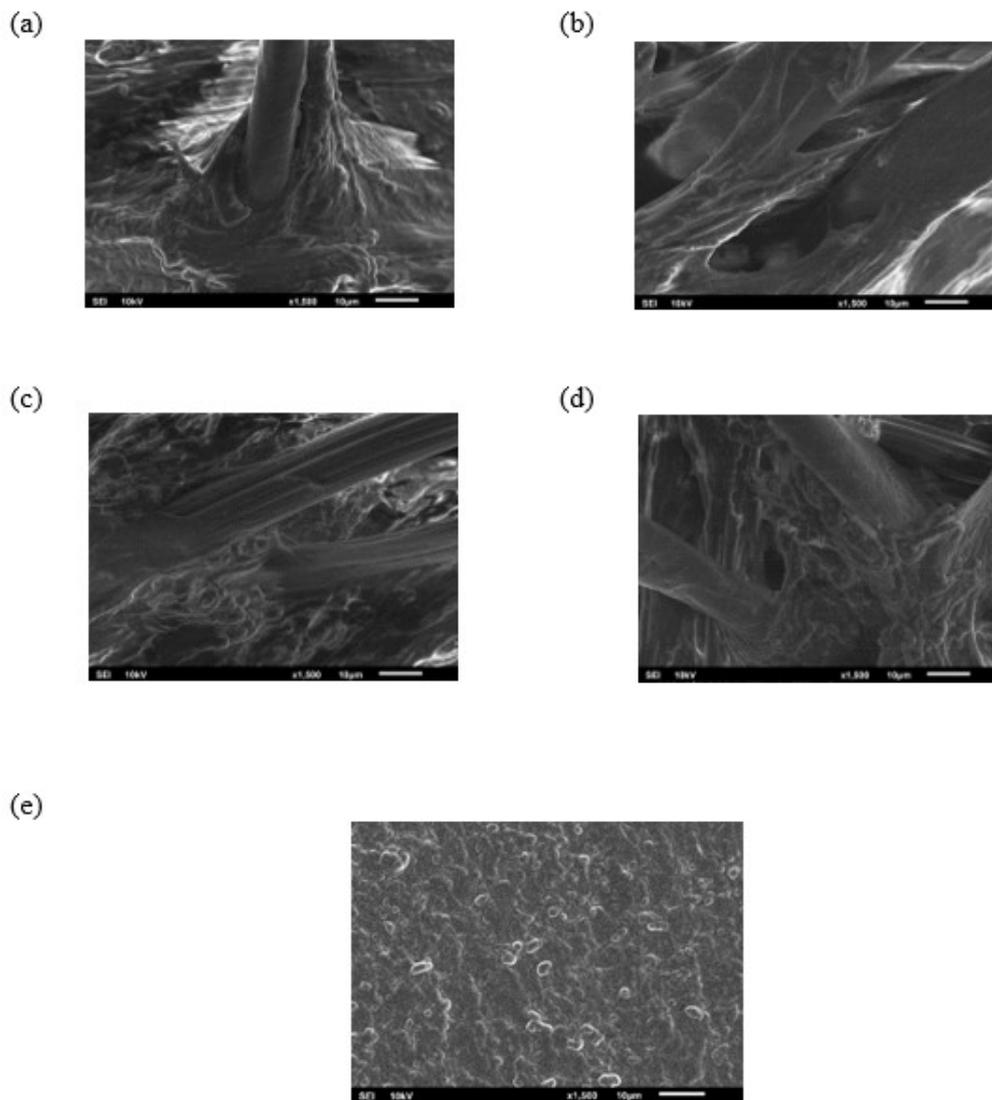
A Figura 4 apresenta as micrografias da matriz de SBS e dos compósitos de algodão e poliéster com aumento de 1500 vezes. Comparando a matriz de TR (e) com os dois compósitos (a – d) é possível perceber que a morfologia da matriz não sofre alteração significativa pela incorporação da carga e do processamento por aglutinação, extrusão e injeção, mantendo aspecto rugoso e plástico. Também pode-se



**Figura 2.** Micrografia óptica resíduo têxtil de algodão (a), resíduo têxtil de poliéster (b) com aumento de 20x.



**Figura 3.** Micrografia do resíduo de algodão (a) e do resíduo de poliéster (b).



**Figura 4.** Micrografias dos compostos AL10 (a), AL30 (b), PO10 (c), PO30 (d) e matriz de SBS sem carga (e).

perceber claramente a distinção entre a matriz polimérica e o reforço têxtil, bem como o aumento da ocorrência das fibras têxteis de acordo com o seu incremento nas formulações. Efeitos semelhantes foram observados em compostos de PVC com fibras têxteis de juta como carga de reforço, que apresentaram características semelhantes [16].

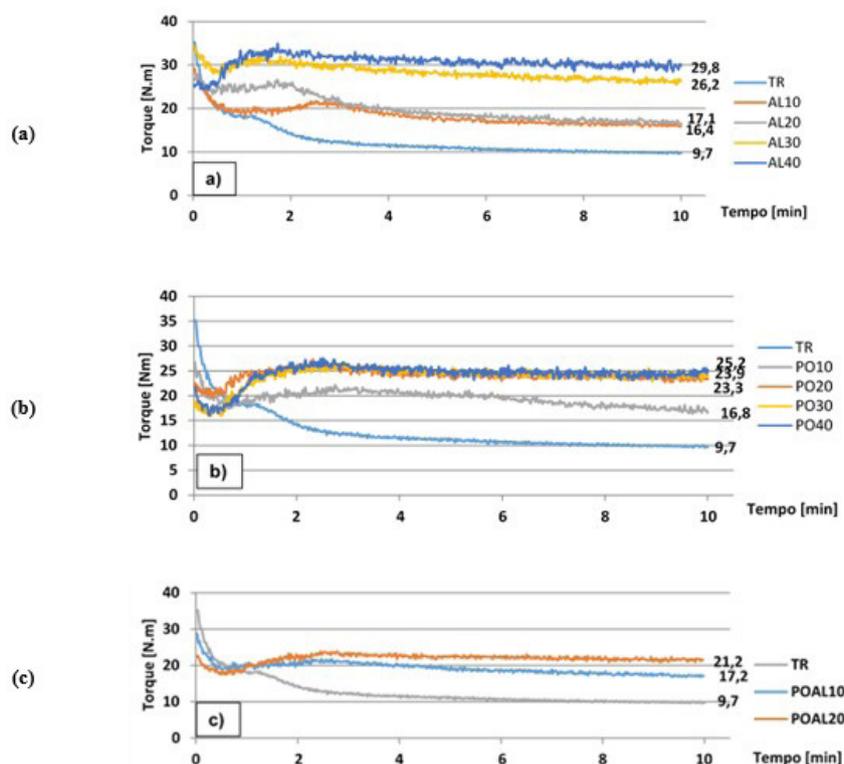
Também é possível observar no arranjo de inserção das fibras têxteis na matriz polimérica poros ou orifícios. Tais eventos morfológicos podem ser ocasionados pelo movimento de tração e partição da fibra quando do processamento dos compostos ou por efeito da fratura criogênica para análise.

Os poros ou orifícios que podem ser observados na matriz polimérica dos compostos e podem sugerir uma pequena compatibilidade química entre a matriz e as fibras ou até nenhuma compatibilidade entre elas. À semelhança de um efeito de arrancamento conhecido como “pull-out”, a presença destes poros e lacunas sugere que as fibras do material têxtil estejam somente encapsuladas pela matriz e que não interajam quimicamente com ela [12,17]. Esta

interação é uma característica desejável quando se busca melhorar mecanicamente as propriedades de um material com a introdução de uma carga de reforço. No entanto, também é possível verificar material da matriz polimérica aderido aos filamentos da fibra, tanto de algodão quanto de poliéster, o que sugere que exista ao menos alguma compatibilidade entre estes componentes e o que justifica o aumento da resistência à tração e a redução do alongamento na ruptura. Também é possível verificar que o comportamento reológico dos compostos apresenta valores superiores aos do SBS virgem a partir da incorporação de 20% de poliéster ou de mistura poliéster/algodão.

### 3.3 Reometria de torque

A Figura 5 apresenta os reogramas dos compostos de algodão, de poliéster, de poliéster/algodão e do polímero SBS virgem. De maneira geral, é possível observar que o torque tende a estabilizar-se a partir do quarto minuto de



**Figura 5.** Reogramas obtidos a partir das amostras preparadas com (a) algodão, (b) poliéster e (c) mistura algodão/poliéster.

processamento das amostras indicando estabilidade da viscosidade das mesmas. Também, em todas as análises, é possível verificar que os torques finais atribuídos às amostras são, todos, maiores que os do polímero original, o que indica que a inserção de carga aumenta a viscosidade dos compósitos [18]. Neste sentido, um aspecto a se considerar e que corrobora as observações a respeito do comportamento reológico é o aumento da dificuldade para obtenção dos corpos de prova dos compósitos com 30 e 40% de algodão por injeção. Avaliando o gráfico de variação de torque correspondente, Figura 5a, estes compósitos são os que apresentaram maior incremento no torque medido, com variações de 16,5 e 20,1 N.m respectivamente. Diferenças entre a viscosidade do compósito e do SBS virgem aparecem também nas outras formulações, mas somente nas com 30% e 40% algodão houve dificuldade no processamento por injeção. Assim, os resultados encontrados para os compósitos de SBS e algodão ou poliéster e algodão/poliéster aqui apresentado indicaram que as misturas contendo até 20% de fibras podem ser processadas, sem dificuldade, por métodos de injeção. Concordando com os resultados, a avaliação do comportamento reológico por meio de ensaio do índice de fluidez em compósitos de resíduos de algodão e acrílico com matriz de polietileno de alta densidade, apresentou resultados semelhantes. Neste contexto, é sugerido que com o aumento do teor de resíduo de fibra têxtil, ocorra uma diminuição dos valores de índice de fluidez dificultando o escoamento na matriz, o que impediria a mobilidade das cadeias moleculares e, consequentemente aumento da viscosidade do sistema [19,20].

Por outro lado, a literatura mostra que biocompósitos com fibras de curauá em matriz de biopolietileno de alta densidade (BPEAD) e polibutadieno líquido hidroxilado (PBHL), com teor de fibras de até 30%, comparados aos polímeros puros, apresentam comportamento semelhante no que se refere ao aumento do torque. Também, verifica-se comportamento semelhante para compósitos de poliestireno com resíduos moídos de calçados [18]. Outro aspecto é a variação semelhante que a incorporação de 10% de carga na matriz polimérica confere ao comportamento reológico dos compósitos. Todas as três formulações apresentaram incrementos de, em média 74% no torque, com contribuição quase equivalente em cada compósito. Os percentuais de 20% de carga têxtil na matriz polimérica proporcionaram variação mais heterogênea no torque medido, com uma variação média de 111% e contribuição majoritária do resíduo de poliéster. Considerando as amostras de 30 e 40% de carga, preparadas somente com algodão e com poliéster, as de 30% apresentaram um incremento no torque medido de, respectivamente, 170 e 146% e as de 40% de carga, um incremento de, respectivamente, 207 e 159%. O gráfico da Figura 6 resume e ilustra estes dados.

Os dados apresentados na Figura 6 sugerem que com 10% de carga têxtil, prevalecem as características reológicas relacionadas à matriz polimérica. A partir de 20% de carga têxtil, o poliéster exerce maior influência no comportamento reológico. Como não foram encontrados precedentes próximos na literatura para este tipo de questão, sugere-se que nestes compósitos, o efeito do envelhecimento das fibras do poliéster seja maior que o do algodão. Neste caso, o

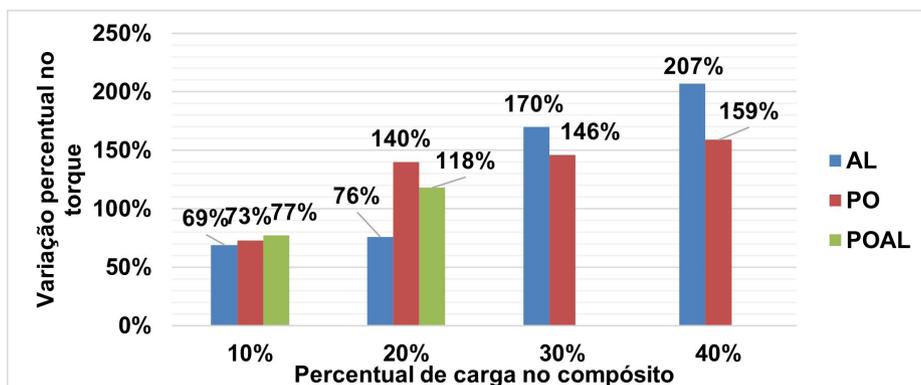


Figura 6. Variação percentual do torque em função do percentual de carga no compósito.

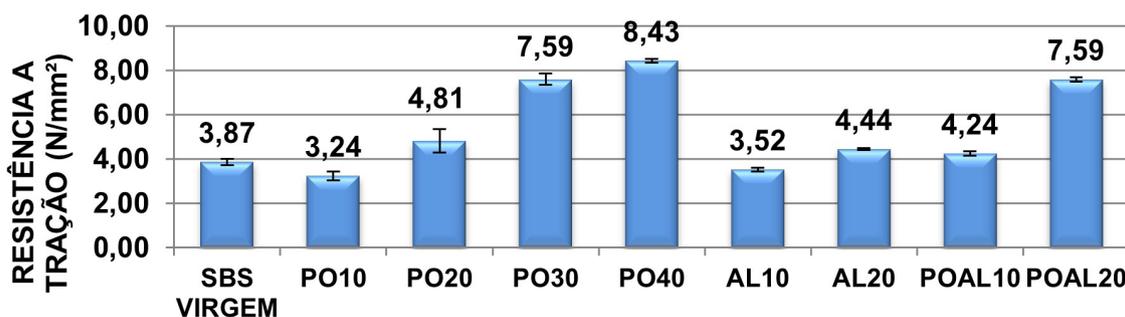


Figura 7. Resistência à tração.

comportamento da mistura poliéster/algodão se comporta de forma semelhante, mas como contém menos poliéster que a amostra com poliéster puro, apresenta um incremento menor, pois o compósito de algodão na mesma proporção de 20%, não altera significativamente o comportamento da amostra. Os compósitos com 30% e 40% de algodão e poliéster apresentam comportamento diferente, em que prevalece o efeito do algodão.

### 3.4 Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura

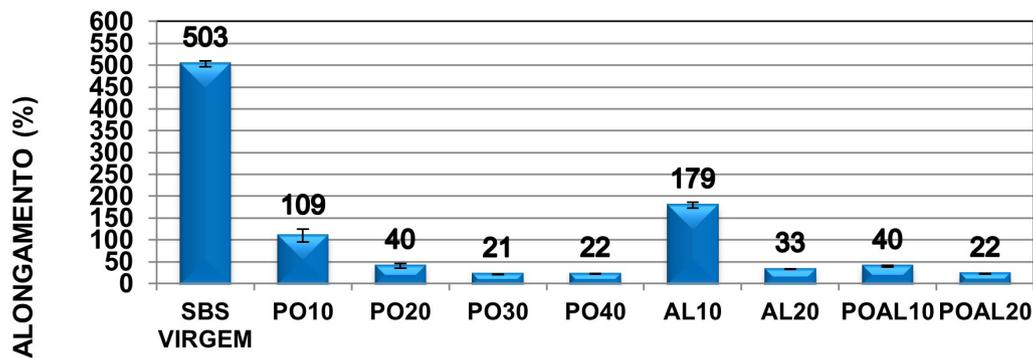
Na Figura 7 pode-se observar que o acréscimo de resíduos têxteis de algodão ou poliéster ao polímero SBS gera um incremento na resistência a tração a partir de teores superiores a 20%, melhorando a propriedade em até 118% quando incorporado 40% de poliéster. A literatura corrobora este resultado considerando a adição de fibras naturais [18,19]. Neste sentido, foram obtidos incrementos de 27%, 40% e 77% na resistência a tração respectivamente. De acordo com o incremento no teor de fibras proporciona que as tensões sejam mais uniformemente distribuídas, aumentando assim a resistência do compósito e a rigidez do material. Por outro lado, teores menores de material têxtil, por exemplo 10% de fibras, a distribuição pode não ser homogênea, com porções da matriz polimérica que não apresentem muitas fibras, o que pode justificar aqui a redução na tração nos compósitos com 10% de resíduos. Neste sentido, o percentual de carga

menor pode exigir maior tempo de processamento para que o sistema alcance uma distribuição homogênea do baixo teor de carga de reforço, mas não foi aplicada nenhuma condição para avaliação deste comportamento.

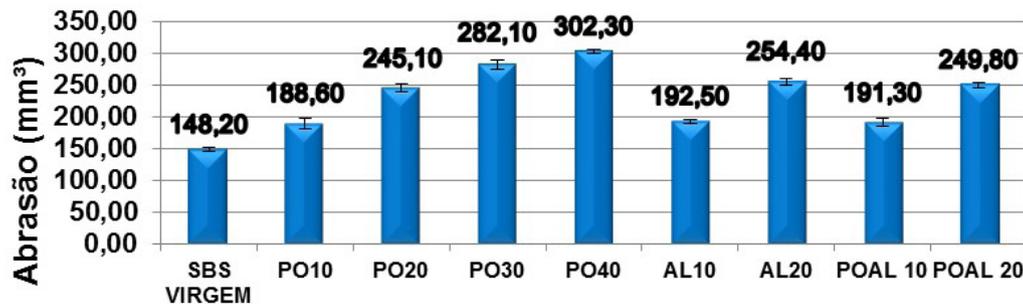
Quanto à resistência ao alongamento, o comportamento deve se apresentar de maneira inversa aos resultados de tração, isto é, o incremento no teor de resíduos têxteis, de gerar redução no percentual de alongamento. Este efeito foi observado nos sistemas compósitos que forma preparados e comparados com a matriz polimérica virgem, como observado na Figura 8. Efeito semelhante foi observado para compósitos de PVC reforçados com de fibras de juta, que também apresentaram decréscimo nos valores de alongamento na medida em que o teor de fibra foi incrementado, chegando a uma perda de 61% da propriedade no compósito com 60% de fibra [16].

### 3.5 Determinação da resistência ao desgaste por abrasão

Na Figura 9 é possível verificar que a resistência à abrasão diminui com o incremento dos resíduos, independente da sua natureza. Este resultado diverge do encontrado na literatura com respeito à incorporação de têxteis de algodão e acrílico em matriz de polietileno de alta densidade (PEAD) [19]. Neste caso, a resistência à abrasão não foi influenciada pelo acréscimo de até 50% de têxteis. Por outro lado, foi sugerido que uma maior porcentagem de têxteis, fizesse



**Figura 8.** Alongamento na ruptura. Este evento de perda na propriedade de alongamento também foi observado na caracterização de compósitos de PVC com fibras naturais de cumbaru, que demonstraram uma perda de aproximadamente 90% no alongamento para compósitos com 20% de fibra [21].



**Figura 9.** Resistência ao desgaste por abrasão.

com que a matriz polimérica não fosse suficiente para cobrir todas as fibras, proporcionando uma redução em algumas propriedades mecânicas [16]. No caso das cargas de algodão e poliéster utilizadas neste trabalho, é possível que a pouca compatibilidade matriz/carga inicialmente sugerida pela microscopia eletrônica, possa ser responsável por fragilizar a matriz permitindo um aumento da perda de volume por abrasão na medida da incorporação dos resíduos têxteis.

Comparando os compósitos de acordo com os teores equivalentes de têxteis, pode-se afirmar que os mesmos apresentaram comportamento semelhante para resistência ao desgaste por abrasão. A NBR 14738 define que o material adequado para ser utilizado na construção do calçado deve apresentar abrasão inferior a 400 mm<sup>3</sup>, sendo o mais indicado o que apresente perda máxima em torno de 300 mm<sup>3</sup>.

Nesse sentido é possível sugerir que todos os compósitos, inclusive o com 40% de poliéster atendem este parâmetro [2].

#### 4 Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que os resíduos têxteis, depois de processados, apresentam fibras com orientação aleatória, com estado de agregação de feixes ou de fibras desfiadas e brilho mais pronunciado no resíduo de poliéster do que no de algodão. Os resultados da análise morfológica sugerem algum recobrimento das fibras têxteis em ambos os casos, mas também evidencia a presença de

poros ou lacunas, o que sugere apenas certa compatibilidade entre a matriz polimérica e as cargas.

Os resultados do comportamento reológico evidenciaram o aumento da viscosidade dos compósitos na medida em que se aumentou a quantidade de carga têxtil, o que se refletiu em dificuldade na injeção dos compósitos de algodão AL30 e AL40, inferindo uma necessidade de modificação no processamento dos resíduos. Outra característica importante observada foi o aumento da resistência à tração. Este dado especificamente, associado à redução do alongamento na ruptura, caracterizam efetivamente as formulações como compósitos. Uma característica tão importante quanto estas, senão mais, em se tratando de componente para construção do calçado é a resistência ao desgaste por abrasão e, neste sentido, se obteve redução no valor desta propriedade. No entanto, a redução nos valores de resistência ao desgaste por abrasão não alcança valores que desqualifiquem os compósitos produzidos, em nenhuma proporção, para a aplicação como material para produção de solados para calçados. Por fim, pode-se concluir que a proposta demonstra viabilidade técnica para preparação dos compósitos com resíduos têxteis, possibilitando a reintrodução destes como alternativa na produção de componentes do próprio cluster industrial gerador do resíduo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro de agências brasileiras: CNPq e CAPES.

## Referências

- 1 Sanchis-Sebastiá M, Ruuth E, Stigsson L, Galbe M, Wallberg O. Novel sustainable alternatives for the fashion industry: A method of chemically recycling waste textiles via acid hydrolysis. *Waste Management (New York, N.Y.)*. 2021;121:248-254.
- 2 Todor MP, Kiss I, Cioata VG. Development of fabric-reinforced polymer matrix composites using bio-based components from post-consumer textile waste. *Materials Today: Proceedings*. 2021;45:4150-4156.
- 3 Gutarowska B, Michalski A. Microbial degradation of woven fabrics and protection against biodegradation. In: Jeon, H., editor. *Woven fabrics*. Rijeka, Croatia: InTech; 2012. p. 267-296.
- 4 Amaral MC, Zonatti WF, Silva KL, Karam JD, Amato NJ, Baruque-Ramos J. Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy. *Gestão & Produção*. 2018;25:431-443.
- 5 Jardim A, Yoshida C, Filho JVM. *Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de resíduos sólidos*. 1. ed. Barueri: Manole; 2012.
- 6 Associação Brasileira de Empresas de Componentes para Couro (Assintecal). Calçados e artefatos: cartilha de adesivos [acesso em 4 abr 2017]. Disponível em: <https://vdocuments.net/assintecal-cartilha-de-adesivos-download-pt-brpdf.html>
- 7 Kamble Z, Behera BK. Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications. *Construction & Building Materials*. 2021;284:122800.
- 8 Viana FL, Rocha REV. A indústria de calçados no Nordeste: características, desafios e oportunidades. Fortaleza: BNB; 2006 [acesso em 24 mar. 2021]. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/178/1/2006\\_SDET\\_14.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/178/1/2006_SDET_14.pdf)
- 9 Costa AB. Instituições e competitividade no arranjo calçadista do Vale dos Sinos. *Análise Econômica*. 2009;52:253-283.
- 10 Calandro ML, Campos SH. Arranjo Produtivo Local (APL) Calçadista Sinos-Paranhana, RS: análise do segmento de calçados de alto valor agregado (Relatório II). Porto Alegre: FEE, 2015.
- 11 Ibrahim NA, Eid BM, Youssef MA, Ibrahim HM, Ameen HA, Salah AM. Multifunctional finishing of cellulosic/polyester blended fabrics. *Carbohydrate Polymers*. 2013;97(2):783-793.
- 12 Bodur MS, Bakkal M, Savas M, Berkalp OB. A new approach for the development of textile waste cotton reinforced composites (T-FRP): Laminated hybridization vs. coupling agents. *Journal of Polymer Engineering*. 2014;34(7):639-648.
- 13 Ferreira FCS. Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão [tese]. Florianópolis: UFSC; 2012.
- 14 Gomes AVS, Costa NRV, Mohallem NDS. Os tecidos e a nanotecnologia. *Química Nova*. 2016;38:288-296.
- 15 Guimarães BMG, Cayuela Marín D, Zonatti WF, Mantovani W, Relvas C, Cunha F, et al. Study of the potential employment of malvaceae species in composites materials. *Key Engineering Materials*. 2016;668:75-85.
- 16 Khan RA, Khan MA, Zaman HU, Parvin F, Islam T, Nigar F, et al. Fabrication and characterization of Jute Fabric-Reinforced PVC-based. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2012;25(1):45-58.
- 17 Feltran MB, Diaz FRV. Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: utilização de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira. *Polímeros*. 2007;17:276-283.
- 18 Luna CBB, Silva DF, Araújo EM, Mélo TJA, Oliveira AD. Comportamento reológico, mecânico, termomecânico e morfológico de blendas de poliestireno/resíduo de calçados com diferentes granulometrias. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2017;14(3):219-226.
- 19 Finkler M, Nunes RCR, Zattera AJ, Zeni M. Incorporation of waste textile fabric in high density polyethylene matrix. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*. 2006;22:185-194.
- 20 Borsoi C, Scienza LC, Zattera AJ, Angrizani CC. Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. *Polímeros*. 2011;21(4):271-279.
- 21 Lulianelli GCV, Maciel PMC, Tavares MIB. Preparation and characterization of PVC/Natural filler composites. *Macromolecular Symposia*. 2011;299-300:227-233.

Recebido em: 15 Mar. 2022

Aceito em: 17 Jun. 2022