

De resíduos têxteis a armações de óculos sustentáveis

Guilherme D. Casagrande¹, Fábio G. Teixeira²; Branca F. Oliveira², Vinicius G. Ribeiro³

¹ Programa de Pós-Graduação em Design

³ Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento Interdisciplinar do Campus Litoral Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

O setor têxtil e confeccionista brasileiro está entre os cinco maiores do mundo e com grande destaque no ramo de jeanswear, este setor imponente traz benefícios econômicos e é responsável por milhares de empregos, porém é responsável por uma enorme quantidade de resíduos sólidos. São gerados, aproximadamente, cerca de 29.000 toneladas de resíduos têxteis, diariamente, apenas na cidade de São Paulo, e sua maior parte é tratada como rejeito, sendo destinados aos aterros sanitários ou incineração. Assim, há uma clara necessidade de aproveitamento destes resíduos, de forma a mitigar os impactos ambientais negativos causados por este grande setor, bem como dos resíduos pós-uso gerados pelo consumo exagerado da moda. Este trabalho pretende, através do desenvolvimento de armações de óculos de sol feitas a partir do reaproveitamento destes resíduos têxteis, questionar as relações de consumo atuais, criando uma reflexão referente às suas consequências socioambientais. A pesquisa tem como seu principal objetivo, desenvolver armações de óculos de sol que visem o reaproveitamento destes resíduos têxteis, tanto os de resíduos sólidos industriais quanto os de descarte pós consumo, servindo como base para a constituição do material que será aplicado nas armações desta coleção. Após alguns testes de formulações para o compósito, optou-se pelo desenvolvimento de um material com matriz polimérica de resina epóxi utilizando os resíduos têxteis como fibras em sua composição. Após as definições do material a ser desenvolvido, foram realizados alguns ensaios mecânicos a fim de levantar propriedades mecânicas e, assim, obter dados sobre sua caracterização. Este estudo apresenta, ainda, duas alternativas de fabricação para estas armações com o material compósito laminado e, posteriormente, a validação de uma delas através da prototipagem de armações de óculos, sendo apresentados como os resultados finais deste processo. Ao final deste artigo são apresentadas algumas considerações finais e sugestões de estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE

Design e tecnologia;
Reuso de resíduos têxteis;
Material compósito;
Processos de fabricação;
Armação de óculos

From textile waste to eyeglass frames

ABSTRACT

The Brazilian textile and confectionery sector are among the five largest in the world and with great prominence in the Jeanswear business, this imposing sector brings economic benefits and is responsible for thousands of jobs but is responsible for a huge amount of solid waste. Approximately 29,000 tons of textile waste is generated daily in the city of São Paulo alone, and its most are treated as rejection, being destined for landfills or incineration. Thus, there is a clear need to take advantage of these waste, to mitigate the negative environmental impacts caused by this large sector, as well as the post-use waste generated by the exaggerated consumption of fashion. This work aims, through the development of sunglasses frames made from the reuse of these textile waste, to question current consumer relations, creating a reflection regarding their socio - environmental consequences. The research has as its main objective, to develop sunglasses frames aimed at reusing these textile waste, both industrial solid waste and post -consumption disposal, serving as the basis for the constitution of the material that will be applied to the frames of this collection. After some composite formulation's tests, the choice was to develop a material with epoxy resin polymeric matrix using textile waste as fibers in its composition. After the definitions of the material to be developed, some mechanical tests were performed to raise mechanical properties and thus obtain data on its characterization. This study also presents two manufacturing alternatives for these frames with the laminated composite material and, later, the validation of one of them through the prototyping of glasses, being presented as the results of this process. At the end of this article some final considerations and suggestions for future studies are presented.

KEYWORDS

Design and technology
Reuse of Textile residues;
Composite material;
Manufacturing process;
Glasses frames

1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem em vista, através do desenvolvimento de óculos de sol feitos a partir do reaproveitamento de resíduos têxteis, questionar as relações de consumo atuais criando uma reflexão referente às suas consequências. Salcedo (2014) afirma que os atuais modelos de produção e consumo estão devastando o ambiente e esgotando os recursos naturais. Abordando questões relacionadas ao desperdício decorrente do alto consumo, este trabalho busca encontrar alternativas sustentáveis para o reaproveitamento dos resíduos gerados pelo setor têxtil e confeccionista.

A preocupação e a busca por sustentabilidade é um tema cada vez mais necessário e constante do cotidiano e, assim, governos, organizações e consumidores buscam incentivar projetos e iniciativas que contemplem melhorias neste tema. Em setembro de 2015, em Nova York, a ONU promoveu um encontro entre diversos países e a população global a fim de decidir sobre novos possíveis caminhos para um desenvolvimento sustentável em nosso planeta. Durante este encontro foi criada, então, a Agenda 2030, com o objetivo de criar diretrizes para alcançar, mundialmente, o desenvolvimento sustentável em suas três vertentes: econômica, social e ambiental.

O setor têxtil e confeccionista tem grande destaque na indústria brasileira, sendo a quinta maior indústria têxtil do mundo e a quarta maior em confecção. Conforme dados apresentados pela ABIT (2017), existem mais de 33 mil empresas neste setor que são responsáveis pela geração de aproximadamente 1,5 milhão de trabalhos diretos, representando 16,7% dos empregos e 5,8% do faturamento da indústria de transformação brasileira. Em termos de produção, no ano de 2016 foram produzidas 1,8 milhão de toneladas de artigos têxteis e 6 bilhões de peças de vestuário, totalizando um faturamento de 39,3 bilhões de dólares. O Brasil possui reconhecimento internacional no ramo de jeanswear, sendo o quarto maior produtor e terceiro maior consumidor de denim do mundo, tendo autossuficiência na produção do algodão e tecelagens nacionais centenárias.

A cidade de São Paulo é destaque no setor têxtil e de confecção no país, cujos dois maiores polos de confecção e comercialização de vestuário são os bairros Bom Retiro e Brás. Diariamente são descartadas cerca de 20 toneladas de resíduos têxteis somente destas duas regiões e grande parte destes resíduos são tratados como rejeitos, sendo encaminhados aos aterros sanitários, onde levam muitos anos para se decompor e liberam gases prejudiciais ao meio ambiente ao longo do seu processo de decomposição.

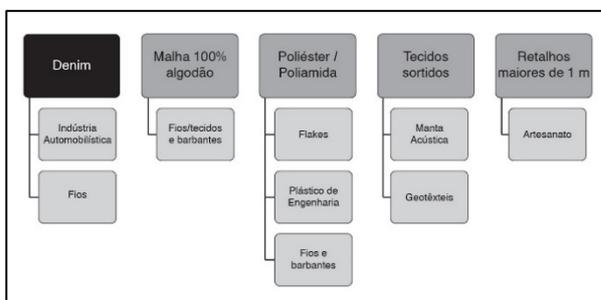


Figura 1 Organograma de reutilização de resíduos têxteis. (Fonte: Adaptado de Sindtêxtil-SP pelos autores, 2016).

Na **Figura 1**, é possível verificar como os resíduos sólidos de diferentes materiais têxteis são separados atualmente e qual a finalidade empregada em sua reutilização e reciclagem.

Estimativas recentes apontam que, em termos de resíduos sólidos industriais, a indústria têxtil descarte cerca de

15% de toda sua produção. A **Tabela 1** apresenta um panorama do desperdício gerado pelas empresas confeccionistas brasileiras anualmente.

Tabela 1 Produção brasileira de produtos acabados e respectivos desperdícios.

Produção	Quantidade (t/ano)	Desperdícios
Vestuário	1.221.000	12%
Meias e acessórios	22.000	2%
Linha Lar	407.000	5%
Artigos Técnicos	330.000	5%

(Fonte: Adaptado de Sindtêxtil-SP, 2022)

Visando o reaproveitamento de resíduos têxteis, tanto os sólidos industriais quanto os de descarte pós-consumo, é possível considerar que sua reutilização e aplicação para criar novos materiais é uma boa opção para mitigar os impactos causados pelo setor têxtil e confeccionista bem como pelo consumo de moda. Materiais compósitos com matriz polimérica e fibras são boas opções para este tipo de reutilização pois permitem o uso dos tecidos servindo como o papel das fibras. Esta alternativa é viável, pois, ao reutilizar os resíduos têxteis como base para o novo material, são economizados recursos naturais, gastos de energia e água para a produção e o descarte desnecessário de materiais. Apesar de gerar um material de difícil reciclagem, por necessitar processos de separação química do tecido com epóxi, a proporção relativamente alta de resíduos têxteis em relação à quantidade de resina epóxi utilizada justifica a aplicação, além de proporcionar uma ressignificação do material descartado, proporcionando um novo ciclo de vida para os resíduos, através da criação de novos produtos, os quais não implicam em novos gastos com matéria-prima e energia.

Materiais compósitos de matriz polimérica que utilizam fibras em sua composição apresentam ganhos significativos em diversas propriedades mecânicas por estas fibras servirem como estrutura e retentoras de tensões para o material. Os tecidos são compostos por fibras tramadas para criar sua malha, neste aspecto é possível observar vantagens em sua utilização nestes compósitos, pois as tramas das malhas oferecem um significativo ganho em relação às fibras longitudinais por possuírem mais de um sentido de orientação, aumentando, assim, sua eficiência como estrutura no compósito.

Atualmente, existem diversas pesquisas de desenvolvimento para materiais de estruturas aeroespaciais que utilizam compósitos de matriz polimérica com a utilização de malhas como de fibra de carbono e fibra de vidro em sua composição, estes materiais apresentam propriedades mecânicas de altíssimo nível, muitas vezes superando a eficiência de ligas metálicas (WAGNER, T. et al., 2018; TOUMPANAKI, E. et al., 2019; KORICHO E BELINGARDI, 2015).

Com base neste cenário e nestas informações, fica evidenciada a relevância deste trabalho já que, além de tratar questões relacionadas à sustentabilidade e diminuição de impactos ambientais gerados pelo setor têxtil e confeccionista, é um projeto que trabalha temas de design como criação e aplicações de materiais compósitos em projetos. Visando um produto sustentável, seu ciclo de desenvolvimento é baseado na economia circular, que busca minimizar a extração de recursos, maximizar a reutilização, aumento da eficiência e o desenvolvimento de novos modelos de negócios.

2. METODOLOGIA

Com base nos dados levantados a respeito dos impactos do setor têxtil e confeccionista, este trabalho tem como principal problema de pesquisa os efeitos negativos gerados pelos resíduos têxteis da indústria da moda. Desta forma, o desenvolvimento deste artigo se dá em quatro principais etapas macros, onde cada uma representa uma fase importante para realizar a alternativa proposta: alternativas de composição; processos de fabricação; caracterização do material; prototipagem.

As etapas de identificação e conscientização do problema permitiram alcançar a compreensão geral do contexto desta pesquisa através do levantamento de dados para elucidar os problemas referentes ao descarte de resíduos do setor têxtil e confeccionista brasileiro. Estas informações, conforme apresentadas no capítulo de introdução, foram extraídas das principais associações, organizações e iniciativas de projetos que tragam uma maior sustentabilidade para este setor tão expoente no Brasil e no mundo.

Na primeira etapa macro foram desenvolvidas alternativas de composição para o material compósito laminado de resíduos têxteis de forma empírica, visando ampliar o leque de soluções de reaproveitamento destes resíduos. Preliminarmente, as alternativas foram testadas conforme as normas estabelecidas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para auxiliar na tomada de decisão, de forma mais embasada, de qual material apresentaria melhores resultados para este trabalho.

Para proporcionar características mecânicas consistentes com o material compósito, a opção foi utilizar o resíduo têxtil base o tecido denim, pois apresenta uma maior resistência em relação a grande parte dos tecidos e, ainda, ser um dos tecidos com maior produção no Brasil. Sua estrutura trançada biaxial garante uma boa firmeza para a aplicação no compósito, tornando o material mais rígido e dúctil. Apesar da aplicação do denim como tecido base, a adição de outros tecidos na composição é totalmente viável, podendo ser utilizados para um acabamento externo ou até mesmo a aplicação de outras fibras para garantir uma maior rigidez e resistência ao compósito.

Com a definição do resíduo têxtil base, foram testados três tipos de resinas na composição do material, sendo elas: 1) Resina de Poliuretano vegetal; 2) Resina de Poliéster; 3) Resina Epóxi. O processo de produção do material compósito foi o mesmo para os três tipos de resina, visando uma comparação de desempenho do material aproximada entre os mesmos. Esse procedimento é de extrema importância, tendo em vista que, com a utilização do mesmo processo, é possível aferir qual material atinge melhores resultados.

Para ajudar na seleção de alternativas para os materiais, foram realizados ensaios de tração das três opções geradas, conforme a norma ASTM D3039. Os ensaios foram de extrema importância para a tomada de decisão e melhor conhecimento das propriedades dos materiais gerados. A partir dos materiais produzidos, foram cortados em máquina de corte a laser três corpos de prova retangulares para cada um dos materiais, seguindo as especificações da norma supracitada.

Em um segundo momento, foram levantadas alternativas para os processos de fabricação do material compósito, bem como das armações de óculos. Esta etapa contou com a mescla das metodologias projetuais dos autores Löbach (2001), Bonsiepe (1984) e Baxter (1998). No **Quadro 1**, é possível observar a organização desta metodologia projetual geral utilizada, por motivos de limitação, não serão apresentadas em detalhes todas as etapas, apenas as principais.

Ao decorrer do projeto, com base nos estudos realizados em relação ao material, ficaram evidentes duas opções viáveis

de fabricação. A primeira alternativa consiste em criar camadas do compósito, já em uma pré-forma ao curar, para depois unilas e formar toda a estrutura da armação. A segunda consiste na produção de moldes que contemplem a estrutura da frente dos óculos e as hastes, facilitando o processo de montagem posterior.

Quadro 2 Metodologia projetual

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Preparação	Projeto Conceitual	Projeto da configuração	Projeto detalhado	Projeto para fabricação
Conhecimento do problema	Criação de conceitos	Arquitetura do produto	Especificação dos materiais	Projeto do ferramental
Coleta de informações	Geração de alternativas	Montagem geral	Procedimentos de montagem	Planejamento da produção
Análises	Seleção do conceito	Materiais	Componentes padronizados	Protótipo de produção
Definição de objetivos		Alternativas de fabricação	Testes	
		Revisões		
		Protótipo		

(Elaborado pelos autores, 2022)

A primeira alternativa requer um menor investimento em relação à segunda, por não ser necessário o uso de moldes complexos para sua produção. O processo consiste em preparar o compósito e deixar curar em formas com as curvaturas necessárias para cada peça da armação (**Figura 2**).



Figura 2 Moldes de curvatura para o compósito. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Após o processo de cura do material, a pré-forma é cortada em máquina de corte a laser para se obter o formato desejado. Para a frente dos óculos são utilizadas três camadas do compósito, constituídas pela mescla da resina epóxi com duas camadas de denim cada. A junção das camadas de compósito é feita com a própria resina epóxi, tendo em vista que é um excelente adesivo. A frente é composta por três camadas, uma vez que a camada interna possui um corte diferente em relação às demais, permitindo, assim, o encaixe das lentes no interior da estrutura.

Para as hastes o processo é semelhante, mudando apenas a quantidade de camadas do material. Nesse caso, o material para as hastes é produzido diretamente com seis camadas de denim em uma peça única, pois não é necessária uma junção posterior. Após a preparação do compósito, o material cura no molde de curvatura (um para a haste esquerda e outra para a haste direita) e, posteriormente, é cortado na máquina a laser para chegar ao seu formato aproximado, necessitando apenas de processos de acabamento superficial.

A segunda opção de fabricação requer um maior valor de investimento inicial, porém é um processo que requer menos

etapas para a produção do produto e minimiza significativamente o desperdício do material compósito, o que, conseqüentemente, gera uma maior eficiência no aproveitamento dos resíduos têxteis.

Primeiramente, são projetados os moldes com seus sistemas de encaixes, como é possível observar na **Figura 3**, tanto para a frente dos óculos quanto para as hastes. Os moldes devem ser únicos para cada modelo da coleção e para as hastes é necessário apenas um para cada lado, já que serão as mesmas para todos os modelos.

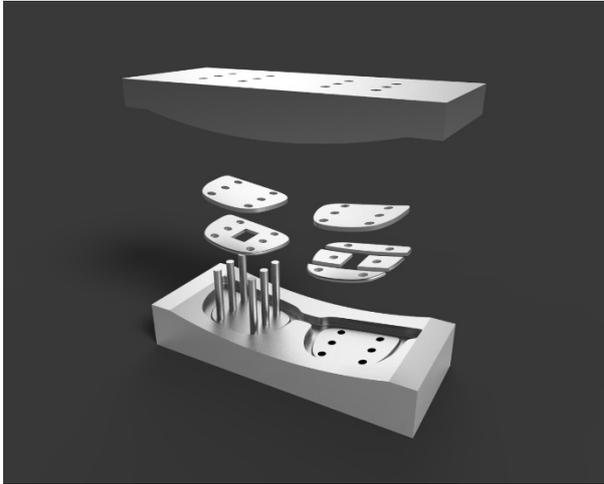


Figura 3 Sistema para molde de compressão. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

O processo de produção é simplificado. Primeiro se cortam as camadas dos resíduos têxteis no formato do modelo desejado e sua junção com a resina é realizada no interior do próprio molde. Uma camada de tecido é colocada e, em seguida, é aplicada a resina sobre o tecido, o suficiente para deixar umedecido, repetindo este processo para as demais camadas. Com a mistura do material compósito no interior de uma das partes do molde, este é fechado por meio de pressão com sua outra metade e, após sua cura completa, o produto é desenhado, seguindo acabamentos superficiais necessários e a posterior montagem.

O uso dos moldes permite um melhor aproveitamento dos resíduos têxteis, visto que é possível utilizar retalhos menores para compor o material compósito e, dessa forma, apresenta uma maior eficiência em relação ao outro processo. Outro aspecto positivo é o fato de, com este processo, não há sobras do material compósito por ele ser produzido na quantidade exata para cada modelo de óculos. Ainda, é possível observar um número menor de etapas para a produção com a utilização desse sistema.

A terceira etapa contou com a realização de ensaios mecânicos de caracterização de tração e cisalhamento, a fim de uma melhor especificação do material compósito laminado em questão. Estes ensaios foram realizados em laboratório conforme as respectivas normas estabelecidas pela ASTM para cada um destes ensaios.

O ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em uma amostra específica (conforme a norma padronizada) até a sua ruptura. Os principais parâmetros mecânicos medidos pelo ensaio de tração são a resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade (Oliveira, 2015). A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada por unidade de área no momento da ruptura. O alongamento representa aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura. Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações

entre a tensão no corpo de prova e as deformações ocorridas durante o ensaio, o qual é conhecido como gráfico tensão-deformação. O módulo de elasticidade ou módulo de Young é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, onde a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. Na **Figura 4** é possível observar como devem ser as dimensões dos corpos de prova de acordo com a norma de resistência à tração ASTM D3039.

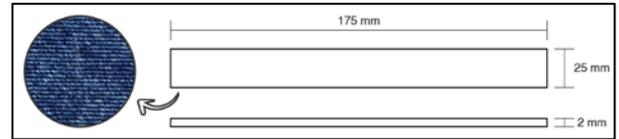


Figura 4 Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração. (Fonte: Adaptado de ASTM D3039 pelos autores, 2002)

Nos compósitos, o mecanismo de cisalhamento difere dos outros materiais devido à sua natureza heterogênea. Como o compósito é formado por mais de um material, em escala macroscópica, o cisalhamento é resultado da interação do material compósito com o esforço solicitante e do material matriz com o material disperso (ANCELOTTI JR, 2006). O ensaio de resistência ao cisalhamento planar em compósitos de matrizes poliméricas comumente utiliza como referência a norma ASTM D3518, que é uma adaptação da norma de resistência à tração ASTM D3039. Como aponta Galvão (2012), o ensaio de cisalhamento planar utiliza os mesmos métodos e dispositivos de um ensaio de tração (sendo uma adaptação da norma ASTM D3039), no entanto, a principal diferença está na orientação das camadas do laminado a ser ensaiado, pois estas devem estar orientadas a 45° em relação ao eixo de aplicação da carga (**Figura 5**). As propriedades obtidas através da realização deste teste são predominantemente propriedades da matriz, uma vez que o reforço está orientado a $\pm 45^\circ$.

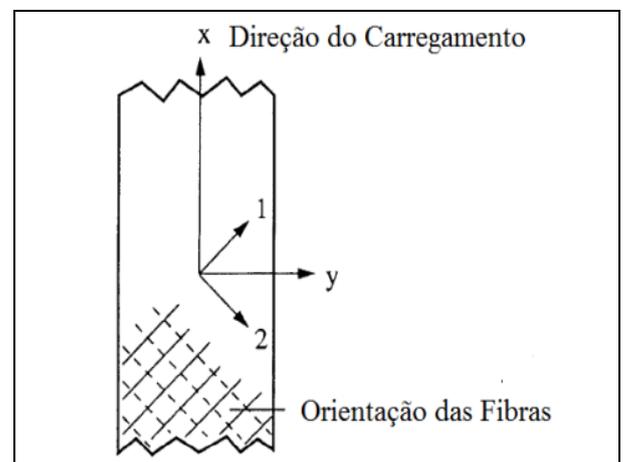


Figura 5 Orientação das fibras para o ensaio de cisalhamento planar. (Fonte: Adaptado de ASTM D3518 pelos autores, 2007)

Na **Figura 6**, é possível observar como devem ser as dimensões dos corpos de prova de acordo com a norma de resistência à tração ASTM D3518.

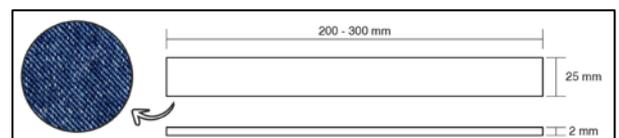


Figura 6 Dimensões dos corpos de prova para ensaio de cisalhamento. (Fonte: Adaptado de ASTM D3518 pelos autores, 2007)

De acordo com os estudos que abordavam o processo de caracterização de materiais (GARCIA et al. 2012; SUN et al. 2018; KORICHO E BELINGARDI; 2015), ficou clara a importância de manter um processo de produção dos corpos de prova preciso. Esta produção uniforme garante que os corpos de prova terão desempenhos similares, permitindo que os dados levantados sejam coerentes.

Para a produção dos corpos de prova o método utilizado foi o processo de moldagem por compressão com a utilização de uma prensa manual. Para isto, foi produzido um molde retangular simples feito em material PVC semi-rígido, moldado em termoformagem a vácuo nas dimensões de 300 x 220 x 2 (mm). Antes de receber o material compósito, o molde foi previamente preparado com desmoldante em spray de silicone para, desta forma, facilitar o processo de desmoldagem da placa dos corpos de prova.

O molde foi preenchido com três camadas de retalhos de tecido denim 100% algodão que foram adquiridos no Banco de Tecido de Porto Alegre, as peças foram cortadas nas dimensões do molde (300 x 220 mm) para garantir as fibras contínuas na composição do material. A preparação dos tecidos consistiu em anteriormente lavar e secagem ao sol e, momentos antes da aplicação da resina, as peças foram secas em estufa a 50°C e passadas a ferro quente para retirar o máximo de umidade e garantir que o tecido estivesse completamente plano no momento da aplicação da resina. Cada camada de tecido foi molhada com a resina epóxi de baixa viscosidade derivada de petróleo, esta resina é produzida pela Maxepoxi Industrial e Comercial Ltda. e distribuída sob o nome comercial de Resina Mar RT - A*.

O processo para a molhabilidade do tecido consistiu em aplicar a resina em cada camada de tecido e, com o auxílio de uma espátula, a resina foi espalhada até que o tecido estivesse completamente impregnado, como se pode observar na **Figura 7**. É notável a maior proporção no uso de tecido em volume em relação ao uso de resina e a proporção em peso de tecido foi de 75 g para 120 g de resina epóxi em cada chapa, resultando em um percentual de 38,5% em peso de tecido na constituição do material compósito laminado de resíduos têxteis.



Figura 7 Impregnação do tecido com a matriz epóxi. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

O ciclo de moldagem por compressão foi de 12h em estufa com temperaturas entre 40°C e 45°C, mantendo a força de compressão constante. Após a desmoldagem, foi realizado o

procedimento de pós-cura, ocorrido em forno com temperatura de 90°C por 4 h. Os materiais e processo de produção foram os mesmos para a fabricação dos corpos de prova para o ensaio de tração e para o ensaio de cisalhamento, a única diferença constituiu na orientação das fibras do tecido denim para $\pm 45^\circ$ em relação ao eixo de aplicação do ensaio de cisalhamento.

Os corpos de prova foram cortados das placas do compósito em máquina de corte a laser com os parâmetros de laser 130 W, potência de corte 35 e velocidade 15, os corpos foram cortados conforme as especificações dimensionais das respectivas normas.

Com os corpos de prova cortados, o ensaio de tração foi realizado na oficina de Modelos e Protótipos da Faculdade de Arquitetura da UFRGS em uma Máquina Universal de Ensaio Shimadzu com capacidade de até 5kN e velocidade de 2 mm/min atendendo aos critérios especificados pela referente norma ASTM D3039. Foram realizados cinco testes para que o levantamento de dados para o material compósito seja consistente e se possa fazer a média dos valores obtidos com maior assertividade nos resultados.

O ensaio de cisalhamento do material foi realizado no laboratório LAPOL da UFRGS, laboratório que possui foco em pesquisas de materiais poliméricos. Os testes ocorreram em um equipamento Instron 3382 contando com vídeo extensômetro, os ensaios foram realizados com a velocidade constante de 2 mm/min e seguiram as demais especificações da norma ASTM D3518, seguindo a mesma lógica aplicada no ensaio de tração em relação a quantidade de testes e cálculo de médias dos resultados.

Na última fase apresentada no desenvolvimento deste artigo, são exibidas as etapas do processo de produção dos protótipos das armações de óculos bem como o resultado final dos modelos prototipados. Os protótipos de produção foram confeccionados com a primeira alternativa de processo comentada anteriormente, a qual utiliza o corte a laser em sua elaboração. Os modelos prototipados se aproximam ao máximo do resultado final pretendido.

Os desenhos dos modelos de óculos foram criados em programa CAD para trazer uma melhor precisão e padronagem na produção desses modelos. O desenho é criado pensando em uma melhor otimização de uso do material. Dessa forma, do mesmo desenho são retiradas peças para dar um melhor acabamento e conforto para os óculos.

Após o corte dos modelos, as peças que compõem a frente são unidas com a própria resina, deixando a peça com o espaço interno das lentes entre as duas peças com tamanhos iguais, para que a lente possa se encaixar com suavidade. Após a secagem, são feitos os acabamentos finais e a montagem das charneiras com a frente e as hastes dos óculos.

3. RESULTADOS

Esta seção é destinada a apresentação dos principais resultados obtidos ao longo deste trabalho.

3.1 Alternativas de Composição

Primeiramente, foi aplicada a resina de Poliuretano vegetal, com origem no óleo de mamona, por apresentar características como ser natural e atóxica (SILVA, 2003). O material foi preparado com três camadas de denim umedecidas com a resina de PU vegetal e o processo de cura foi ao ar livre. O material resultante foi um compósito flexível e com uma aparência emborrachada de cor âmbar (**Figura 8**).



Figura 8 Compósito de resíduos têxteis e resina PU vegetal. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

A segunda alternativa foi com a aplicação da resina de poliéster de origem sintética. A escolha se deu pelo fato de ser uma resina de larga aplicação industrial e possuir inúmeras propriedades desejáveis para o material em desenvolvimento. Como mencionado anteriormente, o material foi preparado nos mesmos moldes do anterior. O resultado foi um material mais rígido e com aparência do tecido denim, por ser uma resina incolor (Figura 9).



Figura 9 Compósito de resíduos têxteis e resina de poliéster. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Para o terceiro teste de composição, foi utilizada a resina epóxi de origem sintética. Existem diversos tipos de resina epóxi, cada uma com características próprias para cada necessidade. A epóxi escolhida foi a confeccionada para laminação, pois apresenta menor peso e maior resistência entre as demais desta família.



Figura 10 Compósito de resíduos têxteis e resina epóxi. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

O material resultante, do processo já descrito anteriormente, foi um material de maior dureza e flexibilidade sem perder a textura do tecido denim por também ser uma resina incolor, como é possível observar na Figura 10.

Para ajudar na seleção de alternativas para os materiais, foram realizados ensaios de tração das três opções geradas, conforme a norma ASTM D3039. Os resultados são apresentados na Figura 11, os quais foram fundamentais para a tomada de decisão.

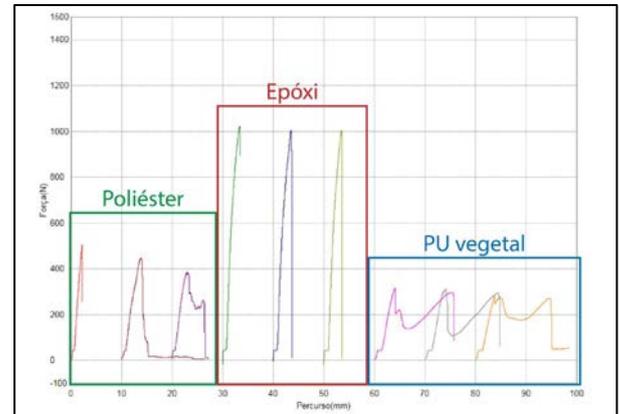


Figura 11 Ensaio de tração – Força (N) x Deslocamento (mm). (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Após a realização dos ensaios de tração para os três materiais, foi possível observar uma melhor performance do compósito de resina epóxi em relação aos demais. Com a análise dos resultados e manuseio dos materiais, ficou evidente que o compósito de PU vegetal é um material com característica mais flexível, o que impede o seu uso para armações de óculos, que necessitam de certa rigidez. O compósito de poliéster se mostrou uma alternativa viável para aplicações de armações de óculos, tanto esteticamente quanto mecanicamente, porém apresentou uma força de ruptura de aproximadamente metade do compósito de resina epóxi. Assim, por apresentar melhores características mecânicas e apresentar características estéticas condizentes para a aplicação em armações de óculos, o compósito de epóxi foi a alternativa escolhida.

3.2 Caracterização do Material

Em seguida, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do material compósito laminado de resíduos têxteis e matriz polimérica termorrígida em epóxi.

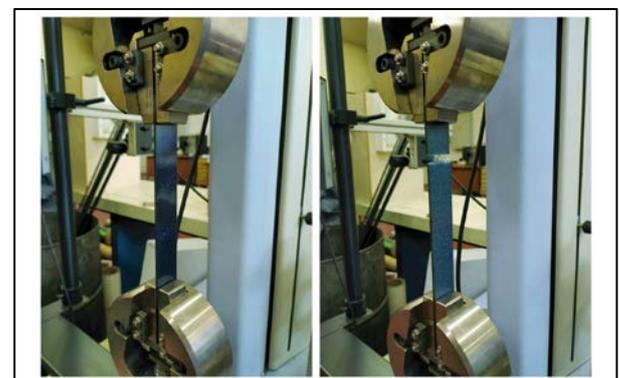


Figura 12 Execução do ensaio de tração e rompimento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

3.2.1 Ensaio mecânico de tração

O ensaio mecânico de tração foi realizado na Oficina de Modelos e Protótipos da Faculdade de Arquitetura da UFRGS em uma Máquina Universal de Ensaio Shimadzu com capacidade de até 5kN e velocidade de 2 mm/min, atendendo aos critérios especificados pela respectiva norma ASTM D3039. Foram realizados cinco testes para que o levantamento de

dados para o material compósito seja consistente e se possa fazer a média dos valores obtidos com maior assertividade nos resultados.

Houve uma boa proximidade geral nos resultados obtidos nos ensaios de cada corpo de prova, validando uma boa homogeneidade na produção do material, assim como, coerência nos dados levantados com este ensaio mecânico de caracterização de material. Na **Figura 12**, é possível observar dois momentos na realização do ensaio, posicionamento do corpo de prova nas garras e seu rompimento após a execução do ensaio.

Os resultados gerais do ensaio de tração são apresentados na **Tabela 2** e **Figura 13** é possível a visualização do gráfico de tensão versus deformação.

Tabela 2 Resultados ensaio de tração

Medição	Média dos resultados
Força de ruptura (N)	2.427,17
Tensão de ruptura (N/mm ²)	46,32
Deslocamento de ruptura (N/mm ²)	14,44
Deformação de ruptura (%)	10,66
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	2.114,00

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Dentre os resultados do ensaio de tração é possível observar que a força necessária para o rompimento do corpo de prova foi de, em média, 2.427 N. O corpo de prova teve um alongamento de aproximadamente 10,66%, demonstrando uma boa capacidade de absorção de tensões com a participação das fibras do tecido. O Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young, ficou em média 2.114 N/mm², representando sua deformação sob carga no regime de elasticidade linear.

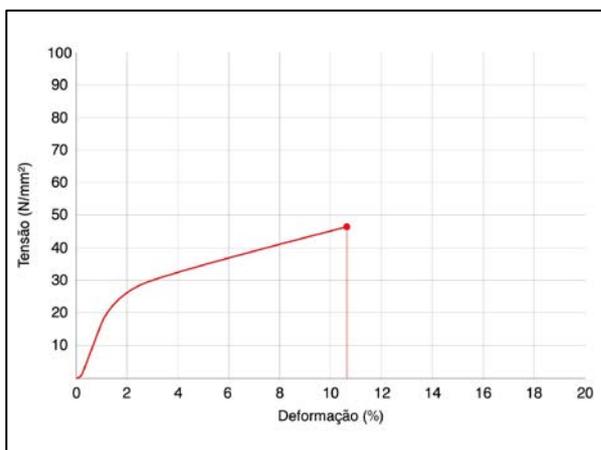


Figura 13 Tensão X Deformação - Médias do ensaio de tração. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

3.2.2 Ensaio mecânico de cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento foram realizados no laboratório LAPOL da UFRGS em um equipamento Instron 3382, contando com vídeo extensômetro. Os ensaios foram realizados com a velocidade constante de 2 mm/min e seguiram as demais especificações da norma ASTM D3518, seguindo a mesma lógica aplicada no ensaio de tração em relação a quantidade de testes e cálculo de médias dos resultados.

Assim como no ensaio de tração, houve uma boa proximidade nos resultados dos ensaios de cada corpo de prova, denotando coerência nos dados levantados na realização deste ensaio. Na **Figura 14**, é possível observar dois momentos na realização do ensaio, posicionamento do corpo

de prova nas garras e seu rompimento após a execução do ensaio.

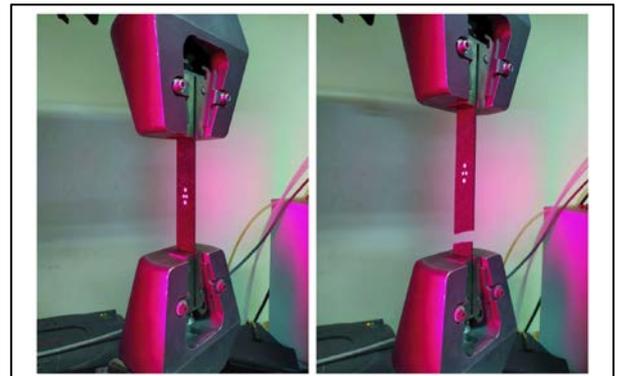


Figura 14 Execução do ensaio de cisalhamento e rompimento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Os resultados gerais do ensaio de cisalhamento são apresentados na **Tabela 3** e **Figura 15**, onde é possível a visualização do gráfico de carga versus deformação.

Tabela 3 Resultados ensaio de cisalhamento

Medição	Média dos resultados
Força de ruptura (N)	1.884,17
Tensão de ruptura (N/mm ²)	30,51
Deslocamento de ruptura (N/mm ²)	12,41
Deformação de ruptura (%)	24,13
Módulo de cisalhamento (N/mm ²)	2.752,00
Coefficiente de Poisson	0,41

(Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Dentre os resultados do ensaio de cisalhamento, é possível observar que a força necessária para o rompimento do corpo de prova foi de 1.884,17 N. O corpo de prova teve um alongamento de aproximadamente 24,13%, ligeiramente maior em relação ao ensaio de tração. O Módulo de cisalhamento, ficou em média 2.752,00 N/mm², representando sua tensão de corte em relação a sua deformação. Por fim, o Coeficiente de Poisson ficou, em média, em 0,41, que representa a fração de expansão em seu comprimento pela fração de contração em sua largura quando submetido à uma deformação.

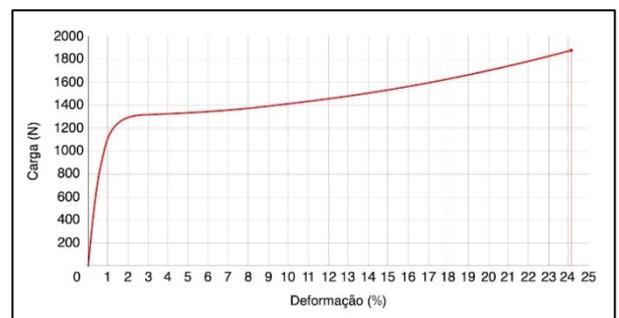


Figura 15 Carga X Deformação - Médias do ensaio de cisalhamento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

3.3 Prototipagem

Para a confecção do protótipo, os retalhos de denim foram misturados com a resina epóxi e prensados em moldes camada com camada. Para a produção da frente dos óculos são utilizadas um total de seis camadas, as quais são separadas em peças de camadas duplas para formar a peça completa. Essa separação de duas em duas camadas se deve à necessidade de

haver uma sobra de espaço para a lente se encaixar aos óculos no interior da camada dupla do meio. Dessa maneira, é possível cortar o material separadamente, pensando em aproveitar este espaço para o encaixe da lente.

Para a geração das hastes, o material é preparado e prensado em molde com um total de seis camadas, não sendo necessária a separação de duas em duas camadas como ocorre para a frente dos óculos.

Após o material estar curado e em sua pré-forma (Figura 16), é realizado o corte na máquina a laser para que o material fique aproximado de sua forma final.



Figura 16 Produção do material compósito em pré-forma. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Conforme o plano de corte abaixo (Figura 17), é possível perceber a diferença do espaço das lentes do corte no desenho inferior em relação aos demais. Neste plano de corte também são retiradas peças para reforçar a área de encaixe das hastes com a frente e, também, aumentar a área de apoio na região do nariz, garantindo, assim, um maior conforto ao usuário. A área das lentes dos dois desenhos da região superior poderia, ainda, ser aproveitada para, por exemplo, compor um chaveiro de brinde, buscando um melhor aproveitamento do material. O processo de corte é o mesmo para as hastes.

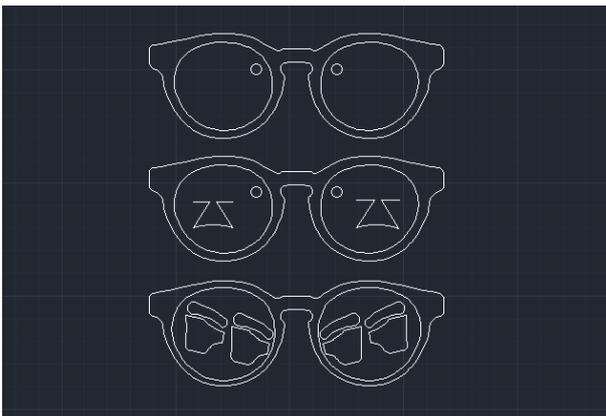


Figura 17 Plano de corte para a máquina a laser. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Após o corte a laser, as peças que compõem a frente dos óculos foram montadas e coladas umas nas outras com a resina epóxi, para garantir a boa fixação a montagem foi colocada no molde de curvatura em compressão até a cura total da resina. Com as peças coladas (Figura 18), o processo de acabamento é manual, utilizando principalmente uma ferramenta de micro retífica para o desbaste e lixas finas para o acabamento superficial das peças. O processo de acabamento é o mesmo utilizado para as hastes. No caso de uma produção seriada, que seria importante para gerar impactos relevantes na redução efetiva do desperdício, seria necessário um processo

automatizado para o acabamento, assim como para outras etapas.



Figura 18 Montagem das peças antes do acabamento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

As charneiras foram inseridas na frente dos óculos após a realização de furos com as dimensões apropriadas para um encaixe suave. Para garantir a boa fixação das charneiras, a resina foi aplicada nos furos para soldar as peças das charneiras. As partes das charneiras das hastes foram fixadas com o uso de parafusos. Com as charneiras acopladas em seus respectivos lugares, é feita a junção das hastes com a frente com o uso de um parafuso transversal que une as duas peças das charneiras para cada lado dos óculos. Este processo de montagem é ilustrado na Figura 19.



Figura 19 Processo de montagem dos óculos após acabamento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

Para a montagem das lentes, os óculos foram enviados a um laboratório ótico onde ocorre o processo de escaneamento

dos aros internos dos óculos, o corte das lentes em CNC e, por fim, a montagem. As lentes utilizadas foram lentes polarizadas com 400 UVA/UVB de proteção, as lentes polarizadas oferecem uma vantagem em relação às lentes orgânicas por terem maior

maleabilidade, facilitando, assim, a montagem nas armações. A seguir, na **Figura 20**, é possível verificar o resultado final dos protótipos montados.



Figura 20 Processo de montagem dos óculos após acabamento. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos realizados e apresentados neste trabalho, ficou demonstrada a viabilidade do desenvolvimento e aplicação de compósitos de resíduos têxteis e epóxi para evitar o descarte indiscriminado destes materiais. O atual sistema de produção e comércio de moda está gerando um problema socioambiental e, com a execução desse projeto, é possível indicar caminhos para mitigar os danos causados pelo setor têxtil e confeccionista. Utilizando resíduos gerados pela produção e confecção (sólidos industriais) e, ainda, dos descartes pós-uso, é criada uma alternativa para a reutilização destes materiais como matéria-prima para produção de novos produtos, renovando o ciclo de vida dos mesmos.

Para alcançar o objetivo desejado no desenvolvimento do produto, foram escolhidos resíduos têxteis do tecido denim e, após o teste de três tipos de resinas como matriz para o material, a escolha foi pelo compósito de resina epóxi, uma vez que apresentou melhor desempenho frente às demais opções. Desta forma, levando em consideração os ensaios mecânicos realizados com o material e a produção do protótipo, ficou demonstrado que se trata de um material com qualidades compatíveis e apropriadas para aplicação em armações de óculos e, possivelmente, em outros produtos.

Além do desenvolvimento do material, foi desenvolvido um produto e o seu processo de produção. Com isso, foi possível comprovar na prática os resultados obtidos a partir dos ensaios. O compósito de resíduos de denim com matriz epóxi é um material resistente, flexível, leve e capaz de formar uma estrutura com a rigidez necessária para a aplicação em armações de óculos, confirmando a relevância e aplicabilidade desse projeto. Frente a isto, foi desenvolvido um produto sustentável, baseado em economia circular, resultando na prática em possibilidade para uma diminuição do impacto ambiental.

Visando futuros estudos relacionados a esta pesquisa, aprofundar as possibilidades de processamento da resina de PU vegetal para atingir um maior grau de dureza na aplicação do compósito é um tema de grande relevância para integrar no projeto, bem como realizar mais ensaios do material e comparar os resultados com outros materiais, possibilitando a seleção deste material para aplicação em outros produtos. Outro tópico interessante consiste em estudar métricas para avaliar o ciclo de vida e medir o grau de sustentabilidade aplicado nessa proposta, visando medir o possível impacto ambiental positivo que pode ser criado com a aplicação do presente projeto.

REFERÊNCIAS

1. ABIT TÊXTIL E CONFECÇÃO. Santista Jeanswear retoma suas raízes com variações de azul. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/home>>. Acesso em: 25 mar.2018.
2. ANCELOTTI, A. C. J. Efeitos da Porosidade na Resistência ao Cisalhamento e nas Propriedades Dinâmicas de Compósitos de Fibra de Carbono/Resina Epóxi. 203 f. Dissertação de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2006.
3. ASTM D3039 / D3039M. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. EUA, 2002.
4. ASTM D3518 / D3518M. Standard Test Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a 645° Laminate. EUA, 2001.
5. ASTM D3878-04A. Standard Terminology for Composite Materials. EUA, 2017.
6. BAXTER, Mike. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
7. BONSIPE, Gui. Metodologia experimental: desenho industrial. Brasília: CNPq, 1984.
8. FERNANDES, Renata. Sustentabilidade na moda: de quem é esta responsabilidade? Centro Universitário Estácio do Ceará, Brasil 9º Colóquio de Moda – Fortaleza, 2013.
9. GALVÃO, Luís Flávio Balieiro. A influência do processo de cura nas propriedades do compósito estrutural carbono/epóxi fabricado via VARTM: processamento e caracterização. 2012. 79 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.
10. GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. Ensaios dos materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
11. GWILT, Alisson. Moda sustentável: Um guia prático. Tradução Márcia Longarço. 1. Ed. São Paulo: Gustavo Gili Ltda, 2014.
12. KORICHO, E. G.; BELINGARDI, G. An experimental and finite element study of the transverse bending behaviour of CFRP composite T-joints in vehicle structures. Elsevier, 2015.
13. LÖBACH, Bernd. Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
14. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 02 abr.18.
15. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS). Disponível em<<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/plano-nacional>>. Acesso em: 02 abr.18.
16. NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL (ONUBR). Momento de ação global para as pessoas e o planeta. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 31 mar. 2018.
17. OLIVEIRA, J. L. Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana. Dissertação de mestrado. Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Volta Redonda, 2015. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/45376727-Processamento-e-caracterizacao-de-compositos-de-polipropileno-reforcados-com-fibras-da-palmeira-real-australiana.html>>. Acesso em: 14 jul. 2021.
18. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/>>. Acesso em: 12 set. 2020.
19. SALCEDO, Elena. Moda ética para um futuro sustentável. Tradução Denis Fracalossi. Ed. G. Gili, SL, 2014.
20. SILVA, Rosana V. Compósito de resina de poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) USP, São Carlos, 2003.
21. SINDITÊXTIL. Projeto de Lei dá incentivo fiscal ao fabricante têxtil que usar reciclados. Disponível em <<http://www.sinditextilsp.org.br/noticias/projeto-de-lei-d%C3%A1-incentivo-fiscal-ao-fabricante-t%C3%AAtil-que-usar-reciclados>>. Acesso em: 01 abr.18.
22. SUN, G. et al. Mechanical properties of hybrid composites reinforced by carbon and basalt fibers. Elsevier, 2018.
23. TOUMPANAKI, E. et al. Effect of internal moisture content and dynamic mechanical analysis testing conditions on the Tg values of CFRP tendons. Elsevier, 2019.
24. WAGNER, T. et al. Experimental and numerical assessment of aerospace grade composites based on high-velocity impact experiments. Elsevier, 2018.