



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Allan Mickael Splierer

**Compósitos de poliéster reforçados com resíduos industriais de algodão
obtidos por compressão a quente**

Blumenau-SC

2025

Allan Mickael Splieter

**Compósitos de poliéster reforçados com resíduos industriais de algodão
obtidos por compressão a quente**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Textil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane da Costa
Coorientadores: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza e Profa. Dra. Fernanda Steffens

Blumenau-SC

2025

Splietter, Allan Mickael

Compósitos de poliéster reforçados com resíduos industriais de algodão obtidos por compressão a quente / Allan Mickael Splietter ; orientador, Cristiane da Costa, coorientador, Antônio Augusto Ulson de Souza, coorientador, Fernanda Steffens, 2025.

74 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Compósitos. 3. Resíduos Têxteis. 4. Fibras Têxteis. 5. Compressão a quente. I. Costa, Cristiane da. II. Souza, Antônio Augusto Ulson de. III. Steffens, Fernanda IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. V. Título.

Allan Mickael Splierer

Título: Compósitos de poliéster reforçados com resíduos industriais de algodão obtidos por compressão a quente

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 14 de julho de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Odinei Hess Gonçalves, Dr.

Universidade Federal do Estado de Santa Catarina

Profa. Claudia Merlini, Dra.

Universidade Federal do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.



Prof. Dr. Miguel Angelo Granato

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Profa. Dra. Cristiane da Costa

Orientadora

Blumenau, 2025.

RESUMO

A indústria têxtil exerce papel econômico e social significativo, tanto no Brasil quanto mundialmente. Durante a execução dos processos que permeiam esta indústria, grandes quantidades de resíduos são geradas, com índices de 12 a 15 % das matérias-primas sendo desperdiçadas, especialmente fibras têxteis. Identificam-se ações pontuais para reaproveitar os resíduos pré-consumo (gerados no processo produtivo). Contudo, menos de 1 % desse material retorna à fabricação de novos produtos têxteis, sendo que a maior parte é destinada a aplicações de baixo valor agregado ou, em muitos casos, enviada a aterros sanitários ou simplesmente incinerada. Este estudo propõe a obtenção de um compósito a partir de resíduo têxtil de fibras de poliéster, no qual o poliéster é fundido para atuar como matriz, com carga de algodão proveniente do processo de navalhagem, utilizando o processo de compressão a quente. Foram produzidas amostras com quatro formulações: 100 % PES, 85 % PES + 15 % CO, 75 % PES + 25 % CO e 65 % PES + 35 % CO, que foram submetidas a ensaios de resistência mecânica, absorção de água, degradação por radiação ultravioleta (UV) e análise morfológica. Os resultados indicaram que a adição de 25 % de resíduos de algodão ao compósito proporcionou o melhor desempenho mecânico, com aumento significativo na resistência à tração em relação à amostra padrão, composta apenas por poliéster. A mesma composição apresentou ainda menor variabilidade nos resultados (com menor desvio padrão). Contudo, a exposição à radiação UV e a absorção de água reduziram consideravelmente a resistência do material, revelando limitações para aplicações em ambientes externos ou úmidos. A análise por MEV confirmou boa dispersão das fibras e interação entre os componentes. Esses resultados demonstram a viabilidade técnica do reaproveitamento dos resíduos têxteis de poliéster e algodão na produção de compósitos sustentáveis, oferecendo uma alternativa promissora para agregar valor a estes materiais que seriam descartados.

Palavras-chave: fibras têxteis, fibras recicladas, moldagem térmica, economia circular, desempenho mecânico.

ABSTRACT

The textile industry plays a significant economic and social role both in Brazil and globally. Throughout the various stages of this industry, large amounts of waste are generated, with 12% to 15% of raw materials, particularly textile fibers, being discarded. Although there are some initiatives aimed at reusing pre-consumer waste (generated during the production process), less than 1 % of this material is reincorporated into the manufacturing of new textile products. Most of it is directed toward low-value applications or, in many cases, disposed of in landfills or incinerated. This study proposes the development of a composite material from polyester fiber textile waste, in which the polyester is melted to act as the matrix, reinforced with cotton residues obtained from the shearing process, using hot-press molding. Samples were produced with four formulations: 100% PES, 85% PES + 15% CO, 75% PES + 25% CO, and 65% PES + 35% CO, and were subjected to mechanical strength testing, water absorption analysis, ultraviolet (UV) radiation degradation, and morphological evaluation. The results showed that the addition of 25 % cotton waste provided the best mechanical performance, with a significant increase in tensile strength compared to the control sample composed only of polyester. This composition also exhibited lower variability, as evidenced by a reduced standard deviation. However, exposure to UV radiation and water absorption significantly decreased the material's strength, indicating limitations for use in outdoor or humid environments. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis confirmed good fiber dispersion and interaction between components. These findings demonstrate the technical feasibility of reusing polyester and cotton textile waste in the production of sustainable composites, offering a promising alternative for adding value to materials that would otherwise be discarded.

Keywords: textile fibers, recycled fibers, thermal molding, circular economy, machanical performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção mundial de fibras têxteis	15
Figura 2 – Projeção da produção mundial de fibras têxteis.....	15
Figura 3 – Produção de fibras X percentual de fibras recicladas	16
Figura 4 – Percentual de fibras têxteis recicladas	19
Figura 5 – Classificação simplificada dos compósitos.....	24
Figura 6 – Busca por publicações relacionadas ao tema	26
Figura 7 – Resíduo de poliéster desfibrado (a); pó de navalhagem (b).....	33
Figura 8 – Prensa hidráulica com aquecimento (a); molde utilizado para a fabricação dos compósitos (b).....	34
Figura 9 – Resíduo processado pronto para ser inserido no molde	35
Figura 10 – Espectro de FTIR do resíduo de poliéster.....	41
Figura 11 – Espectro de FTIR do resíduo de algodão.....	41
Figura 12 – Análise TGA/DTG do resíduo de poliéster	42
Figura 13 – Análise TGA/TGD do resíduo de algodão.....	43
Figura 14 – Imagem da prensa com molde durante o aquecimento do material.....	44
Figura 15 – Compósitos produzidos: 100 % PES (a); 85 % PES + 15 % CO (b); 75 % PES + 25 % CO (c); 65 % PES + 35 % CO (d).	44
Figura 16 – Ensaio de resistência mecânica	45
Figura 17 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração das amostras	46
Figura 18 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração	47
Figura 19 – Valor médio e desvio padrão do alongamento das amostras obtidos nos ensaios de tração	48
Figura 20 – Análise Estatística ANOVA: alongamento.....	49
Figura 21 – Imagem de MEV da amostra A (100 % poliéster): ampliação 100x (a) e 500x (b).....	50
Figura 22 – Imagem de MEV da amostra B (85 % Poliéster e 15 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b).....	51
Figura 23 – Imagem de MEV da amostra C (75 % Poliéster e 25 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b).....	51
Figura 24 – Imagem de MEV da amostra D (65 % Poliéster e 35 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b).....	52

Figura 25 – Amostra A – 100 % poliéster (a); fratura (b).....	53
Figura 26 – Amostra B – 85 % poliéster e 15 % algodão (a); fraturada (b).....	53
Figura 27 – Amostra C – 75% Poliéster e 25% Algodão (a); fraturada (b).....	54
Figura 28 – Amostra D – 65% Poliéster e 35% Algodão (a); fraturada (b).....	54
Figura 29 – Fotografia das amostras expostas na câmara UV.....	55
Figura 30 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração antes e após degradação UV	56
Figura 31 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração antes e após degradação UV	57
Figura 32 – Valor médio e desvio padrão do alongamento antes e após degradação UV	58
Figura 33 – Análise Estatística ANOVA: alongamento antes e após degradação UV	59
Figura 34 – Ensaio de absorção de água.....	60
Figura 35 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração antes e após absorção de água	61
Figura 36 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração antes e após absorção de água	62
Figura 37 – Valor médio e desvio padrão do alongamento antes e após a absorção de água	62
Figura 38 – Análise Estatística ANOVA: alongamento antes e após absorção de água	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 FIBRAS TÊXTEIS	14
2.1.1 Fibra de algodão	16
2.1.2 Fibra de poliéster	17
2.2 RECICLAGEM DE FIBRAS TÊXTEIS	18
2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS E IMPACTO AMBIENTAL	20
2.4 DESAFIOS DO REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS	22
2.5 PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS COM RESÍDUOS TÊXTEIS	24
2.6 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE FIBRAS TÊXTEIS PARA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS	26
3 METODOLOGIA	33
3.1 MATERIAIS	33
3.2 EQUIPAMENTOS	34
3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS	34
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS COMPÓSITOS	36
3.4.1 Análise qualitativa e quantitativa dos resíduos	36
3.4.2 Análise termogravimétrica (TGA/DTG) dos resíduos	37
3.4.3 Resistência mecânica	37
3.4.4 Absorção de água	38
3.4.5 Degradação (UV)	38
3.4.6 Morfologia dos compósitos	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	40
4.1.1 Análise dos resíduos têxteis.....	40
4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS COMPÓSITOS.....	43
4.2.1 Resistência mecânica.....	45
4.2.2 Análise morfológica dos compósitos.....	50
4.2.3 Resistência mecânica após degradação UV.....	55
4.2.4 Resistência mecânica após absorção de água.....	59
5 CONCLUSÕES.....	65
6 REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil no Brasil tem uma longa história e possui mais de 22,5 mil unidades produtivas no país, empregando em torno de 1,34 milhão de pessoas diretamente (Abit, 2023). Considerando o cenário mundial, a indústria têxtil é uma das líderes em termos de representatividade econômica e número de empregados. Em contrapartida à sua relevância econômica, por consequência das matérias-primas utilizadas e dos processos de produção, trata-se também de uma indústria altamente poluidora (Hole; Hole, 2019).

No Brasil, dados do IEMI (2022) indicam que aproximadamente 295 mil toneladas de resíduos foram descartadas a partir de desperdícios nas mesas de corte, representando cerca de 20% da matéria-prima utilizada pela indústria têxtil nacional. Em uma perspectiva global, a Ellen MacArthur Foundation (2017) estima que menos de 1% da matéria-prima empregada na produção de vestuário é reciclada e reinserida na confecção de novas roupas, enquanto cerca de 12% são direcionados a aplicações de menor valor agregado — fator que contribui para a baixa atratividade da reciclagem no setor. Complementarmente, de acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2017) e Niinimäki et al. (2020), entre 12 % e 15 % da matéria-prima têxtil é desperdiçada ainda durante o processo produtivo, gerando os chamados resíduos pré-consumo. Esses resíduos incluem fibras, fios e aparas de tecidos e malhas, sendo estas últimas as principais responsáveis pelo maior volume de desperdício.

No cenário internacional, observa-se que, em alguns casos, esses resíduos são incinerados, conforme reportado por Niinimäki et al. (2020). Em outras situações, quando reaproveitados, estes resíduos são aplicados em soluções de baixo valor agregado, como em materiais para isolamento térmica ou acústica, panos de limpeza ou enchimentos (Ellen Macarthur Foundation, 2017). A ausência de tecnologia adequada para separar diferentes tipos de fibras têxteis utilizadas como matéria-prima explica, em grande parte, as dificuldades de reciclagem desses materiais, o que contribui para o baixo índice de reaproveitamento (Schmutz; Som, 2022).

Uma das formas de reaproveitar os resíduos têxteis é na fabricação de compósitos utilizando compressão a quente, em que calor e pressão são aplicados sobre camadas de fibras em molde específico, possibilitando explorar diferentes combinações de materiais e, assim, obter compósitos com propriedades térmicas, acústicas e mecânicas variadas (Islam e Bhat, 2019). A fabricação de compósitos

utilizando resíduos têxteis possibilita a formação de materiais com propriedades específicas, adaptadas às exigências de diferentes aplicações (Todor; Kiss; Cioata, 2021). Na literatura, observa-se o uso crescente de resíduos têxteis para obtenção de compósitos aplicados em mobiliário, construção civil ou isolamento acústico (Hamouda et al., 2019; Islam et al., 2020; Kamble; Behera, 2020). Entretanto, a maior parte desses estudos utiliza os resíduos como carga (fase dispersa) em matrizes poliméricas virgens ou com adição de ligantes químicos, como resinas epóxi, ou naturais, como a borracha.

Neste contexto, este trabalho propõe a produção de compósitos a partir de resíduos industriais de fibras de poliéster, os quais serão fundidos durante o processo de compressão a quente para atuar como matriz polimérica, e de resíduos de algodão provenientes do processo de navalhagem, que desempenharão a função de carga do compósito. O estudo é conduzido sem a utilização de aditivos químicos, buscando avaliar a viabilidade técnica de obtenção desses materiais, bem como seu potencial de valorização de resíduos industriais por meio de soluções sustentáveis e de baixo impacto ambiental.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é a obtenção de compósitos utilizando resíduos industriais de fibra têxtil sintética e natural por meio do processo de compressão a quente e avaliar a influência das proporções de misturas de fibras nas propriedades mecânicas, bem como os efeitos da exposição à radiação UV e da absorção de água.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a influência das proporções de fibras de poliéster e algodão nas propriedades mecânicas do compósito;
- Avaliar o efeito das proporções de fibras usadas na morfologia dos compósitos e em suas propriedades mecânicas;
- Estudar a influência da degradação UV e absorção de água nas propriedades mecânicas dos compósitos obtidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A indústria têxtil emerge como uma das líderes mundiais em termos de tamanho de mercado, número de empregados e valor de produtos. Enquanto esta indústria tem uma contribuição importante para a economia mundial, ela também é altamente poluidora (Hole; Hole, 2019).

No Brasil, a indústria têxtil tem quase 200 anos e é detentora da maior cadeia têxtil completa do ocidente. Contempla desde a produção de fibras, desenvolvimento de fios, manufatura de tecidos e malhas, beneficiamento e confecções. Possui fortes centros de varejos e também promove desfiles de moda. É referência mundial em design de moda praia, *jeanswear* e *homewear*. São mais de 22,5 mil unidades produtivas no país, empregando em torno de 1,34 milhão de pessoas diretamente (Abit, 2023).

Conforme apresentado por JGP Asset Management (2021) a cadeia produtiva da indústria de vestuário pode ser dividida em sete etapas, sendo elas: desenvolvimento de produtos; definição das matérias-primas; processamento; manufatura; transporte; varejo e uso; e descarte. Desde as etapas iniciais de desenvolvimento do produto e definição dos materiais, já é possível identificar impactos ambientais. A escolha dos insumos influencia diretamente a qualidade das peças e o aproveitamento do tecido em fases como o corte, por exemplo. Ao longo do processo produtivo e da distribuição, esses impactos continuam presentes. Eles também se estendem ao uso e ao descarte dos materiais. Em cada uma dessas etapas, os produtos e processos adotados para transformar ou transportar os materiais têxteis contribuem para diferentes formas de impacto ambiental.

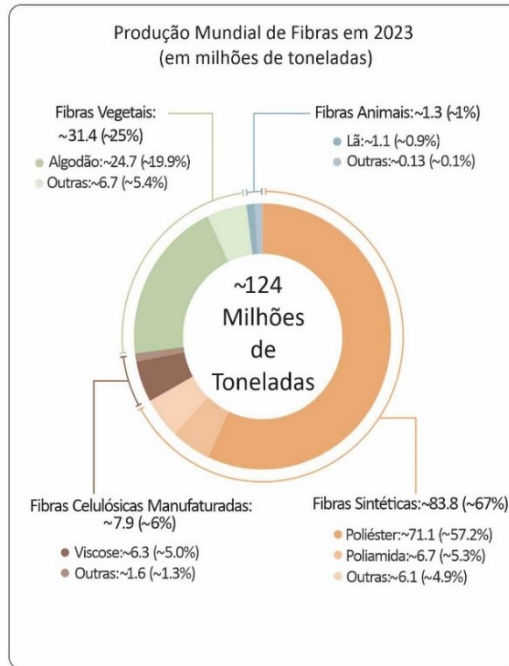
Empresas ao redor do mundo estão buscando metodologias alternativas para as etapas de design, produção e consumo de vestuário, baseadas nos princípios da economia circular, reduzindo desperdícios e impactos ambientais (Piller, 2022). Considerando este cenário da indústria nacional, é importante para esse ecossistema que soluções apropriadas para problemas gerados por esta indústria sejam desenvolvidas no Brasil, seja por replicação ou adaptação de tecnologias já aplicadas em outros lugares ou pela inovação e desenvolvimento de alternativas para sanar tais problemas.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

Na indústria têxtil, em torno de 97 % dos materiais empregados correspondem a matérias-primas virgens (Ellen MacArthur Foundation, 2017). As fibras utilizadas na produção de artigos têxteis podem ser divididas principalmente em duas categorias: fibras naturais, que são derivadas de plantas, animais ou minerais; e as fibras manufaturadas, que podem ser sintéticas, de base química, ou regeneradas, que são derivadas de um polímero natural mais comumente a celulose (Jabbar; Shaker, 2016). Como exemplo de fibras naturais podem ser citadas as fibras de algodão, linho, sisal e juta. Como exemplo de fibras manufaturadas, podem ser citadas as fibras de poliéster, poliamida, acrílico e polipropileno (Jabbar; Shaker, 2016).

A produção e consumo de fibras têxteis cresce constantemente e atinge novos recordes para suprir as necessidades de mercado. De acordo com o relatório Materials Market Report (Textile Exchange, 2024), a produção global de fibras têxteis em 2023 alcançou aproximadamente 124 milhões de toneladas. Dentre elas, as fibras de poliéster são predominantes, com aproximadamente 71 milhões de toneladas produzidas, representando em torno de 57 % do total. O algodão ficou em segundo lugar, com aproximadamente 24,7 milhões de toneladas, correspondendo a 19,9 % da produção total, ou seja, menos da metade da produção do poliéster. Na Figura 2 está apresentada a produção global de fibras em 2023 e divididas de acordo com sua classificação.

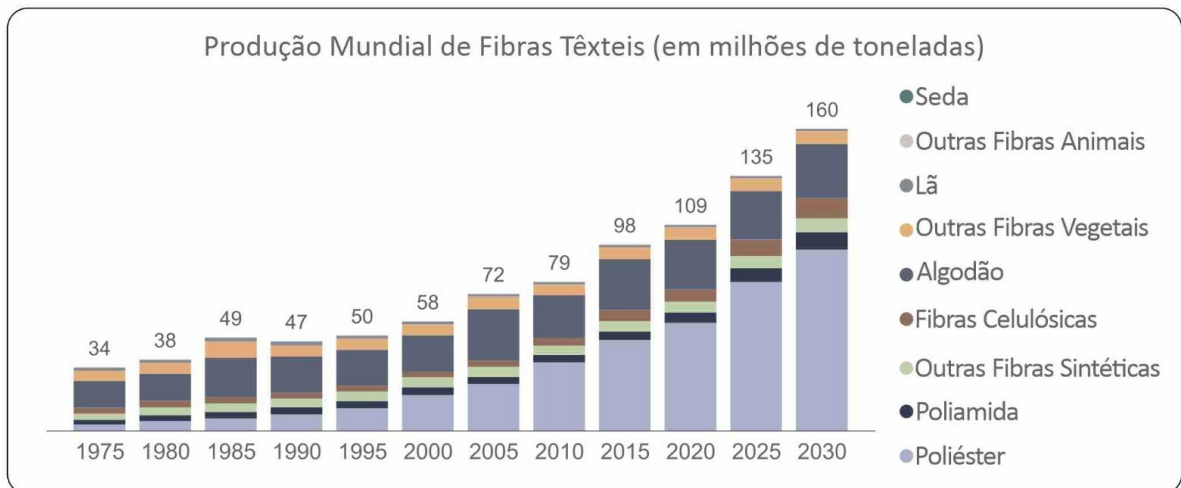
Figura 1 – Produção mundial de fibras têxteis



Fonte: Adaptado de (Textile Exchange, 2024).

As projeções apontam para uma continuidade do crescimento da produção de fibras têxteis, sendo que o consumo da fibra de poliéster e algodão deve continuar predominando no mercado. A Figura 2 apresenta dados históricos de produção de fibras têxteis bem como as projeções de consumo para os anos de 2025 e 2030. Considerando como base os valores de produção de 2023 (124 milhões de toneladas), estão projetados crescimento de aproximadamente 9 % da produção em 2025 e aproximadamente 30 % até 2030.

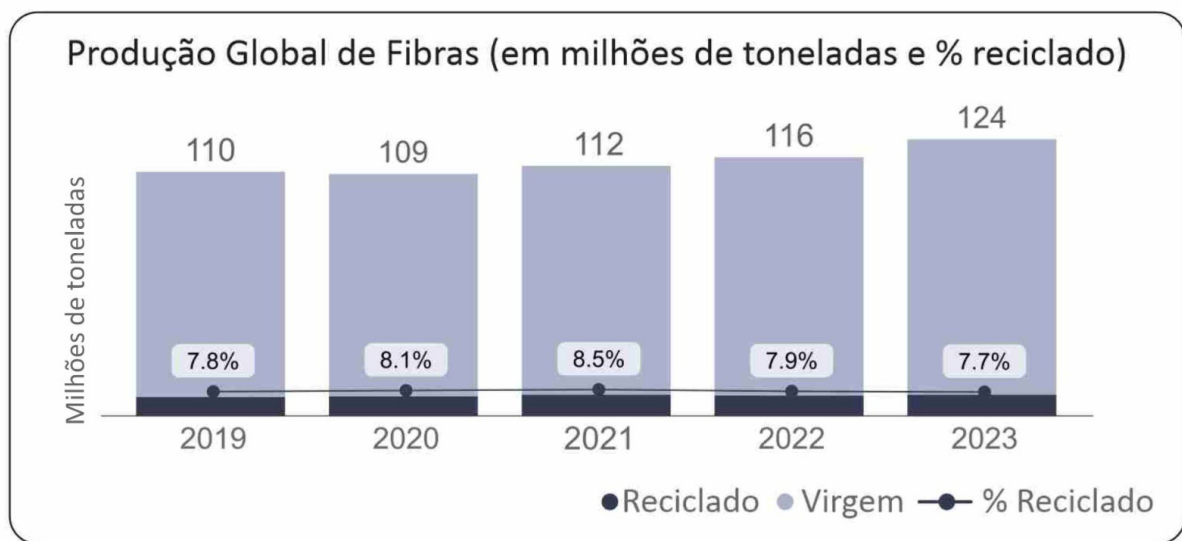
Figura 2 – Projeção da produção mundial de fibras têxteis



Fonte: Adaptado de (Textile Exchange, 2024).

Este crescimento pode causar impactos significantes para as pessoas e o planeta, uma vez que alterações no consumo de recursos não estão aumentando na proporção do crescimento da produção destes materiais, conforme apresentado na Figura 3. O consumo de matérias-primas que geram menores impactos, ou matérias-primas recicláveis, está crescendo de maneira mais lenta do que a produção de matéria-prima virgem (Textile Exchange, 2024).

Figura 3 – Produção de fibras X percentual de fibras recicladas



Fonte: Adaptado de (Textile Exchange, 2024).

Conforme os dados apresentados, enquanto a produção de fibras têxteis aumentou em aproximadamente 12,7 % entre 2019 e 2023, a participação de fibras recicladas variou ligeiramente neste mesmo período, passando de 7,8 % para 7,7 %.

2.1.1 Fibra de algodão

A fibra de algodão é de origem natural e tem como componente principal a celulose, que em fibras maduras representa mais de 90% da massa total. Morfologicamente, o algodão apresenta seção transversal em forma de “feijão”, com paredes secundárias espessas e lúmen estreito. Essas paredes secundárias são altamente cristalinas e formadas por microfibrilas de celulose fortemente orientadas, o que confere elevada tenacidade. Em consequência, a fibra apresenta resistência à tração relativamente elevada e baixo alongamento à ruptura em condições secas.

Outra característica relevante é a alta higroscopicidade, que faz com que a fibra se torne mais resistente quando molhada, mas também mais suscetível ao encolhimento por absorção de umidade (Pettolino et al., 2022).

O algodão é a segunda fibra têxtil mais produzida, ficando atrás apenas do poliéster. É uma fibra considerada curta, especialmente se comparada com fibras sintéticas como o poliéster, que geralmente possuem filamentos contínuos ou longos. O algodão cresce em uma cápsula protetora, conhecida como caroço, ao redor das sementes da planta do algodão. A fibra é fiada em fios e utilizada na produção de um tecido macio e respirável, amplamente empregado na confecção de vestuário. Além disso, o algodão é frequentemente misturado com outras fibras, como poliéster ou viscose, para melhorar as propriedades dos fios e tecidos resultantes ou até mesmo baratear o produto final. O algodão é amplamente utilizado no vestuário, produtos têxteis com aplicação médica e de higiene pessoal, como bandagens e compressas, bem como em têxteis para o lar, incluindo cortinas, toalhas e lençóis (Jabbar e Shaker, 2016).

Assim como o consumo de fibra de algodão é significativo, os volumes de resíduos gerados ao longo dos processos têxteis envolvendo esse material também se mostram significativos. Esses resíduos podem surgir em diversas etapas do processo de produção, desde a preparação da fibra durante a fiação até a confecção final do produto. Os resíduos de algodão manifestam-se de diversas formas, incluindo sobras de fibras, fios rompidos, retalhos de tecidos e produtos pós-consumo descartados, como roupas e artigos domésticos. Também podem originar-se de setores industriais que utilizam têxteis como insumos, a exemplo de descartes médicos ou automotivos. A gestão adequada desses resíduos é fundamental para minimizar impactos ambientais e viabilizar práticas mais sustentáveis na cadeia têxtil (Tang, 2023; Wang e Salmon, 2022).

2.1.2 Fibra de poliéster

A fibra de poliéster, também conhecida como PES, domina a indústria mundial de fibras sintéticas. Produzida a partir de fontes petroquímicas, é barata se comparada com outras fibras, apresenta fácil manufatura e uma gama desejável de propriedades físicas, sendo os produtos resultantes leves, resistentes mecanicamente e com boas propriedades de lavagem e uso (Jabbar e Shaker, 2016).

As fibras de poliéster referem-se principalmente ao polietileno tereftalato (PET), um polímero sintético linear obtido pela policondensação do etilenoglicol com o ácido tereftálico. Produzidas por fiação por fusão, essas fibras apresentam filamentos contínuos de seção transversal geralmente circular e estrutura semicristalina. Estudos recentes mostram que sua organização ocorre em microfibrilas nanométricas, constituídas por regiões cristalinas e amorfas dispostas ao longo do eixo da fibra. As regiões cristalinas conferem rigidez e resistência, enquanto as cadeias amorfas permitem maior mobilidade molecular e deformação (Ren Tomisawa et al., 2023). Esse arranjo estrutural, associado à orientação molecular durante o processamento, resulta em fibras de alta tenacidade, boa capacidade de alongamento e eficiente recuperação elástica (Bellan e Craighead, 2008; Ren Tomisawa et al., 2023). Por essas razões, o poliéster apresenta desempenho mecânico superior ao de fibras naturais como o algodão, destacando-se pela combinação de resistência, elasticidade e durabilidade.

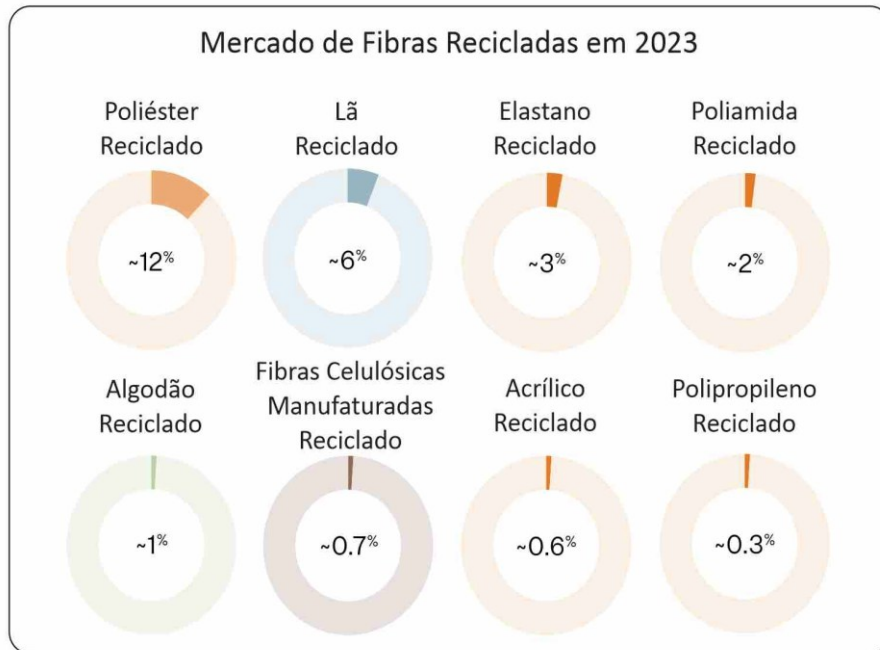
Os resíduos de fibras de poliéster na indústria têxtil se apresentam em diversas formas, como fios danificados, tecidos rejeitados, sobras de corte e até mesmo roupas pós-consumo. A natureza e a composição desses resíduos — que podem incluir misturas com algodão, elastano ou poliamida, além de acabamentos químicos e acessórios como zíperes e botões — influenciam diretamente a escolha da rota de reciclagem mais adequada. Resíduos têxteis de poliéster relativamente puros, oriundos de processos industriais, tendem a ser mais apropriados para reciclagem mecânica ou termomecânica. Já resíduos mistos ou pós-consumo frequentemente exigem rotas químicas mais complexas, capazes de recuperar os monômeros do PET ou separar as fibras. Essas abordagens têm sido estudadas como alternativas promissoras para aumentar a circularidade na cadeia têxtil (Enking et al., 2025).

2.2 RECICLAGEM DE FIBRAS TÊXTEIS

O poliéster destaca-se por apresentar o maior percentual de fibra reciclada, correspondendo a aproximadamente 12 % do total produzido. Ou seja, das 71,1 milhões de toneladas produzidas em 2023, aproximadamente 8,9 milhões de toneladas foram produzidas com material reciclado. Enquanto isso, em torno de 1 % do total de algodão consumido em 2023 tratava-se de material reciclado

mecanicamente, correspondendo a uma quantidade aproximada de 319.000 toneladas (Textile Exchange, 2024). Dados referentes à reciclagem de diversas fibras estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Percentual de fibras têxteis recicladas



Fonte: Adaptado de (TEXTILE EXCHANGE, 2024).

Apesar de 12 % do poliéster consumido ser proveniente de material reciclado, menos de 1 % deste total é oriundo da reciclagem de materiais pré ou pós-consumo da indústria têxtil, enquanto 99 % são produzidos a partir da reciclagem de garrafas PET (Textile Exchange, 2024).

A reciclagem têxtil divide-se em rotas mecânicas e químicas. Na reciclagem mecânica, os tecidos são triturados e cardados para extrair fibras reutilizáveis. Wang e Salmon (2022) relatam que, no algodão, esse processo gera frações de fibras longas, que podem ser respinadas em fios, e frações curtas usadas em compósitos. A via química do algodão envolve dissolver a celulose em solventes e regenerar fibras de celulose comparáveis à viscose. Já o poliéster pode ser reciclado mecanicamente a partir de material muito puro (como garrafas) para fiação direta, ou quimicamente depolimerizado em monômeros para re-sintetizar PET virgem.

Cada abordagem apresenta vantagens e limitações distintas. A reciclagem mecânica é energeticamente simples e de baixo custo, mas tende a degradar as propriedades das fibras recicladas (reduzindo resistência e comprimento). Por

exemplo, Wang e Salmon (2022) apontam que a alta cristalinidade do poliéster têxtil dificulta sua fusão, de modo que as fibras trituradas perdem valor comercial. Em contraste, a reciclagem química recupera monômeros puros, porém exige reagentes e energia em grande escala. Enking et al. (2025) observam que, na prática, métodos termo-mecânicos de para reciclagem de poliéster exigem entrada de polímero quase puro e são prejudicados por impurezas, como por exemplo, algodão ou elastano que obstruem filtros e reduzem o rendimento.

A escolha do método depende da pureza e complexidade do resíduo. Resíduos pós-industriais de poliéster puro ou garrafas PET são reciclados mecanicamente a baixo custo. Já resíduos têxteis mistos, coloridos ou complexos exigem rotas químicas especializadas: solventes podem dissolver seletivamente o algodão ou o poliéster para recuperar cada fração. Wang e Salmon (2022) explicam que misturas algodão e poliéster podem ser recicladas integralmente ou separadas quimicamente, por exemplo, com tratamento cáustico, para recuperar fibras específicas de cada tipo. Em síntese, a reciclagem mecânica é preferida para correntes limpas e volumosas, enquanto métodos químicos ou enzimáticos são reservados a resíduos de mistura, corantes ou alto valor agregado.

Apesar dos avanços, persistem lacunas técnicas. Tang (2023) ressalta que a heterogeneidade dos resíduos (misturas de fibras, corantes, acabamentos) dificulta a triagem automatizada. Wang e Salmon (2022) também apontam que a remoção de corantes continua sendo um desafio persistente. Enking et al. (2025) enfatizam a necessidade de compreender melhor o impacto de fibras mistas e impurezas em cada tecnologia de reciclagem. Em síntese, serão necessários solventes e catalisadores mais seletivos e estratégias de infraestrutura de triagem aprimorada para viabilizar ciclos verdadeiramente circulares de algodão e poliéster.

2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS E IMPACTO AMBIENTAL

A geração de resíduos sólidos acontece por toda a cadeia produtiva e diversos fatores contribuem com a variação da quantidade e qualidade do resíduo gerado. Em relação ao material, podem ser destacados como fatores impactantes na geração de resíduos a sua composição, número de peças produzidas, entre outros. Já sobre os processos, destacam-se os métodos de modelagem, encaixe das peças e o processo de manufatura em si, que pode ser manual ou automático (Pinheiro et al., 2019). Estes

resíduos podem ser sobras de materiais (fios, tecidos ou malhas), peças rejeitadas por defeitos ou outros resíduos relacionados a produção.

No Brasil, dados do IEMI (2022) estimam que em torno de 295 mil toneladas foram descartadas a partir de desperdícios nas mesas de corte, representando 20 % da matéria prima utilizada. O relatório da Ellen MacArthur Foundation (2017) estima que menos de 1 % da matéria-prima utilizada na produção de vestuário é reciclada e reinserida na fabricação de novas roupas. Além disso, cerca de 12 % dos materiais são reciclados para aplicações de menor valor agregado, o que pode explicar, em parte, a baixa atratividade da reciclagem para as indústrias têxteis. Em uma pesquisa realizada com 14 empresas da Suíça para analisar a gestão dos resíduos têxteis pré-consumo, foi identificado que a maior parte é incinerada, sendo estes compostos em sua maioria por materiais sintéticos ou mistura entre materiais sintéticos e naturais (Schmutz; Som, 2022).

Outro tipo de resíduo pré-consumo que merece a atenção é o estoque morto, ou seja, peças novas ou nunca utilizadas que não foram vendidas ou foram devolvidas pelos consumidores. Casos envolvendo grandes marcas ganharam notoriedade nos últimos anos, ao revelarem a existência de grandes volumes de produtos armazenados sem destinação adequada (Niinimäki et al., 2020).

Em muitos casos, a destinação final desses resíduos ainda é problemática, sendo que grande parte ainda é enviada para aterros sanitários ou incinerada. Alguns casos chamam a atenção e ilustram a gravidade da situação, como o que aconteceu com a H&M em 2018, que reportou possuir cerca de 4,3 bilhões de dólares em estoque não vendido e admitiu incinerar parte dessas peças em uma usina de transformação de resíduos em energia. Da mesma forma, a marca de luxo britânica Burberry teria incinerado aproximadamente 90 milhões de libras em produtos no mesmo ano (Niinimäki et al., 2020).

Esses dados destacam a relevância do tema e a crescente preocupação sobre como lidar com esses materiais. Em um período em que a economia circular ganha cada vez mais destaque, encontrar alternativas para evitar a incineração de resíduos ou produtos pela indústria têxtil antes do consumo torna-se importante para contribuir com a reintegração de materiais reciclados na economia, impulsionando a circularidade global. Além disso, essa prática não apenas oferece benefícios ambientais, mas também cria oportunidades de negócios em um mercado em expansão.

2.4 DESAFIOS DO REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS

Os baixos índices de reaproveitamento dos resíduos gerados na indústria têxtil na fabricação de novos produtos têxteis ocorrem devido a diversos desafios que ainda precisam ser superados. De acordo com a pesquisa realizada por Schmutz e Som (2022) com empresas suíças do setor têxtil, os principais desafios para a reciclagem de resíduos têxteis incluem a ausência de empresas especializadas ou de mercado para absorver esses materiais, bem como a falta de tecnologias adequadas para processá-los. Além disso, foram mencionadas dificuldades como a variação na quantidade gerada de resíduos, ausência de informações sobre o volume e a composição do lixo, inviabilidade econômica do processo, logística complexa e o baixo volume de resíduos por categoria. Esses fatores evidenciam os obstáculos estruturais e informacionais que ainda limitam a adoção de soluções mais eficazes para o reaproveitamento desses materiais.

A escassez de empresas especializadas na reciclagem desses materiais, aliada à ausência de um mercado consolidado para esses resíduos e à limitação tecnológica para o tratamento de misturas de materiais, configura-se como um dos principais desafios apontados pelas empresas participantes da pesquisa. A inexistência de demanda pode estar relacionada à falta de aplicações viáveis para esses resíduos. No entanto, com o avanço de tecnologias de reciclagem e o desenvolvimento de novas possibilidades de uso, é provável que se estabeleçam mercados capazes de absorver esses materiais.

A partir dos dados apresentados pelo relatório da JGP Asset Management (2021) é possível identificar diferentes tipos de reciclagem aplicáveis à indústria têxtil, juntamente com seus respectivos processos e desafios. Essas informações estão detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Diversidade e desafios da reciclagem de têxteis

Tipos de materiais	Método de reciclagem	Desafios
Reciclagem de tecidos	Pedaços de tecidos são usados para fazer partes de novas vestimentas.	Já é usada com alguma escala na indústria, mas existe o desafio de mapear as sobras na cadeia produtiva.
Reciclagem de fios	Os fios usados são desfiados para fazer novos produtos.	Só é possível aplicar em tecidos e malhas que podem ser destricotadas.
Reciclagem de fibras	O material é desfiado e processado retornando a forma de fibras.	Pode ser aplicada em escala, porém, gera perda de qualidade das fibras
Reciclagem de polímeros	<p>A reciclagem mecânica de polímeros é realizada por meio de fusão e extrusão de têxteis sintéticos</p> <p>A reciclagem química de polímeros dissolve têxteis com produtos químicos e pode ser aplicada a fibras de poliéster, algodão e outras.</p>	<p>Possível para fibras sintéticas de um único constituinte, porém poucos tecidos são assim</p> <p>Ainda não existem soluções consolidadas que deem escala para a reciclagem de fibras mistas</p>

Fonte: Adaptado de JGP Asset Management (2021).

Esses desafios apresentados ainda são *lacunas* que precisam ser explorados na busca de soluções para aumentar o índice de reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria têxtil. Oportunidades existem na logística, aproximando indústrias geradoras de resíduos de empresas capazes de tratar adequadamente esses materiais. Outra possibilidade está na busca por novas tecnologias e processos. Esses avanços podem viabilizar o reaproveitamento de materiais com misturas de fibras, garantindo material reciclado de qualidade e economicamente viável. Assim, superar esses obstáculos é fundamental para transformar o cenário atual e promover uma cadeia têxtil mais sustentável e eficiente.

A utilização de resíduos têxteis na fabricação de compósitos e a adoção de processos produtivos ecologicamente corretos configuram alternativas promissoras para mitigar os desafios relacionados ao fim de vida desses materiais (Islam et al.,

2020). Fibras obtidas por reciclagem mecânica podem ser aplicadas na produção de não-tecidos, mantas para isolamento térmico e acústico, enchimentos e materiais de construção, incluindo geotêxteis e elementos de proteção de encostas (Tang, 2023). Resíduos de algodão submetidos a tratamentos químicos permitem a regeneração de celulose em fibras artificiais (como viscose e lyocell), polpas dissolventes para novos ciclos produtivos e até nanocelulose para aplicações em embalagens e biomateriais (Wang e Salmon, 2022). Já no caso do poliéster, processos de despolimerização viabilizam a recuperação de monômeros para síntese de PET com propriedades equivalentes às do material virgem, possibilitando sua reinserção na cadeia têxtil (Enking et al., 2025).

2.5 PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS COM RESÍDUOS TÊXTEIS

Os materiais compósitos podem ser definidos como sistemas heterogêneos constituídos pela combinação de duas ou mais fases distintas, geralmente uma matriz contínua e uma carga descontínua, de forma que o material resultante apresenta propriedades superiores às fases individuais (Dinită et al., 2024). A classificação mais utilizada divide os compósitos segundo o tipo de matriz, podendo ser polimérica, metálica ou cerâmica, e segundo o tipo de carga, fibras contínuas, fibras descontínuas ou partículas (Bukvić et al., 2025). Entre esses, os compósitos de matriz polimérica destacam-se pela baixa densidade, facilidade de processamento e ampla gama de aplicações industriais.

A Figura 5 apresenta um esquema simplificado de classificação dos compósitos de acordo com o tipo de matriz e carga utilizada.



Fonte: O autor (2025)

No contexto dos compósitos poliméricos, uma diferenciação importante está entre matrizes termoplásticas e termofixas. As matrizes termoplásticas (por exemplo: PET, PP, PE) amolecem quando aquecidas e podem ser remoldadas. Já as matrizes termofixas (por exemplo: resina epóxi, poliéster insaturado) passam por um processo de cura irreversível, adquirindo elevada rigidez e estabilidade térmica, mas sem possibilidade de reprocessamento (Dinită et al., 2024; Bukvić et al., 2025).

O uso de fibras têxteis descontínuas e orientadas aleatoriamente como carga em compósitos é uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos têxteis. Neste arranjo, fibras curtas, provenientes por exemplo de retalhos de algodão, são incorporadas de forma dispersa na matriz. Embora esses compósitos geralmente apresentem desempenho mecânico inferior aos reforçados com fibras contínuas, eles oferecem vantagens significativas em termos de redução de custos, leveza e sustentabilidade, sendo aplicáveis em setores como automotivo, embalagens e construção civil (Dinită et al., 2024; Bukvić et al., 2025).

Diferentes métodos podem ser utilizados para a produção de compósitos a partir de resíduos têxteis, como por exemplo: compressão a quente, infusão a vácuo e termoformagem. A compressão a quente é uma metodologia simples para a fabricação de compósito, que consiste na prensagem do material em um molde aquecido e a transformação em uma peça moldada após o arrefecimento (Greene, 2021; Dumont et al., 2023). Na infusão a vácuo, utiliza-se um molde e aplica-se vácuo para compactar as fibras na forma desejada, conduzindo a resina através delas e promovendo sua completa impregnação nas camadas do compósito (Spasojevic, 2019). O processo de termoformagem, assim como a compressão a quente, utiliza pressão e calor para conformar os materiais. No entanto, neste caso, uma chapa fabricada com o material compósito é aquecida até atingir sua temperatura de amolecimento e, em seguida, esticada e moldada sobre uma matriz, adquirindo o formato desejado (Kutz, 2011). A principal desvantagem desse método, em comparação com a compressão a quente, é a necessidade de pré-fabricação da chapa com o material compósito desejado, o que adiciona uma etapa ao processo produtivo, além da geração de resíduos decorrentes do recorte do material após a moldagem.

Para este estudo, foi selecionada a produção de um compósito por compressão a quente, reforçado com fibras têxteis descontínuas orientadas

aleatoriamente. Essa escolha justifica-se pela simplicidade do processo, pela disponibilidade de tecnologia e pela fácil processabilidade com resíduos têxteis.

2.6 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE FIBRAS TÊXTEIS PARA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS

Foi realizada uma busca por artigos científicos no portal de periódicos da CAPES, utilizando os termos de pesquisa *'textile waste'* e *'composites'* em qualquer parte dos documentos, no período de janeiro de 2019 a maio de 2024. A busca inicial resultou em 111 artigos. Desses, 48 foram excluídos por tratarem de temáticas não relacionadas à produção de compósitos com fibras têxteis e 14 foram descartados por abordarem compósitos cimentícios ou blocos reforçados com fibras têxteis, os quais não são objeto de estudo deste trabalho. Após essa triagem, restaram 49 artigos, os quais foram analisados com base no critério metodológico de fabricação dos compósitos, sendo selecionados apenas aqueles que empregaram o processo de compressão a quente. A Figura 6 ilustra a pesquisa realizada.

Figura 6 – Busca por publicações relacionadas ao tema



Fonte: O autor (2025).

Ao final da seleção, foram identificados 16 artigos, publicados nos últimos cinco anos, que tratam da obtenção de compósitos utilizando resíduos têxteis pelo processo de compressão a quente. No Quadro 2 estão relacionados os artigos identificados.

Quadro 2 – Artigos que apresentam a obtenção de compósitos com resíduos têxteis usando o processo de compressão a quente

(continua)

Título	Referência	Fibras utilizadas	Compósito produzido
<i>Development of nonwoven composites from recycled cotton/polyester apparel waste materials for sound absorbing and insulating properties</i>	(Sakthivel et al., 2021)	Algodão e poliéster	Compósito reforçado com não-tecido a partir de resíduos têxteis para aplicação de absorção sonora
<i>Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation</i>	(Muthuraj et al., 2019)	Algodão	Compósitos biodegradáveis a partir de 4 subprodutos: resíduos de fibras têxteis (algodão), casca de arroz, casca de trigo e fibras de madeira. O objetivo era a destinação para isolamento interno de edifícios
<i>Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications</i>	(Echeverria et al., 2019)	Algodão, lã, acrílico, poliéster, polipropileno, nylon e elastano	Compósitos obtidos a partir de resíduos de diversas fibras têxteis a fim de analisar propriedades mecânicas do material para a sua destinação na construção
<i>Wool waste used as sustainable nonwoven for building applications</i>	(Rubino et al., 2021)	Lã e poliéster	Compósitos de lã com uma matriz de poliéster para estudar as propriedades acústicas do compósito a fim de avaliar a sua destinação para a construção

Quadro 2 – Artigos que apresentam a obtenção de compósitos com resíduos têxteis usando o processo de compressão a quente

(continuação)

<p><i>Influence of cellulosic and non-cellulosic particle fillers on mechanical, dynamic mechanical, and thermogravimetric properties of waste cotton fibre reinforced green composites</i></p>	<p>(Kamble et al., 2021)</p>	<p>Algodão</p>	<p>Compósito de algodão carregado com nanopartículas de grafeno e micropartículas de cânhamo para melhorar as propriedades mecânicas. Foi identificada a potencial aplicação para móveis internos de trens e ônibus</p>
<p><i>Development of fabric-reinforced polymer matrix composites using bio-based components from post-consumer textile waste</i></p>	<p>(Todor; Kiss; Cioata, 2021)</p>	<p>Algodão e juta</p>	<p>Compósitos utilizando resinas termofixas reforçadas com resíduos têxteis de algodão e juta com objetivo de ser um material estrutural leve e sustentável, podendo substituir fibras sintéticas em produtos de engenharia.</p>
<p><i>An environmentally friendly sound insulation material from post – industrial textile waste and natural rubber</i></p>	<p>(Dissanayake et al., 2021)</p>	<p>Algodão e poliéster</p>	<p>Compósito utilizando resíduos de algodão e poliéster utilizando borracha natural como material ligante. O objetivo foi estudar as propriedades acústicas do material</p>
<p><i>Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from postconsumer recycled denim fabrics</i></p>	<p>(Islam et al., 2020)</p>	<p>Algodão</p>	<p>Compósito de algodão e um aglutinante termoplástico biodegradável para aplicação em painéis de isolamento acústico</p>

Quadro 2 – Artigos que apresentam a obtenção de compósitos com resíduos têxteis usando o processo de compressão a quente

(continuação)

<p><i>Mechanical properties and water absorption characteristics of composites reinforced with cotton fibres recovered from textile waste</i></p>	<p>(Kamble; Behera, 2020)</p>	<p>Algodão</p>	<p>Compósito utilizando resíduos de algodão e uma resina epóxi com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas para substituir a madeira em itens de mobiliário ou componentes automotivos visíveis e não visíveis</p>
<p><i>Development and characterization of thermoset nanocomposites reinforced with cotton fibres recovered from textile waste</i></p>	<p>(Kamble et al., 2020)</p>	<p>Algodão</p>	<p>Compósito utilizando resíduos de algodão com uma resina epóxi e incorporando nanopartículas de óxido de grafite. Sugere-se a destinação destes compósitos em móveis e componentes automotivos</p>
<p><i>NewWaste-Based Composite Material for Construction Applications</i></p>	<p>(Ailenei et al., 2021)</p>	<p>Não classificadas</p>	<p>Compósito utilizando resíduos têxteis não identificados como carga e uma combinação de filmes de polipropileno biorientados, resíduos de não tecidos de polipropileno e fibras virgens de polipropileno como matriz. O objetivo é destinar o compósito para substituir placas de madeira.</p>

Quadro 2 – Artigos que apresentam a obtenção de compósitos com resíduos têxteis usando o processo de compressão a quente

(continuação)

<i>Mechanical and Thermogravimetric Properties of PP Based Thermoplastic Composites Reinforced with Cotton and Polyester Waste under Dry and Wet Conditions</i>	(Kamble; Behera, 2021)	Algodão e poliéster	Compósito utilizando polipropileno como matriz, reforçado com fibras de algodão e poliéster. Propriedades mecânicas do material foram avaliadas
<i>Evaluation of Mechanical and Physical Properties of Hybrid Composites from Food Packaging and Textiles Wastes</i>	(Hamouda et al., 2019)	Lã	Compósitos utilizando resíduos de caixas Tetra Pak® com resíduos de lã. Estudos foram realizados para avaliar a utilização deste compósito em construções, bem como, substituindo painéis de madeira.
<i>Research on Sustainable Furniture Design Based on Waste Textiles Recycling</i>	(Wang et al., 2023)	Não classificado	Compósito a partir de amido-têxtil residual combinado com resíduos têxteis utilizando expansão de micro-ondas. Posteriormente, foram moldadas placas a quente para produzir móveis
<i>Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications</i>	(Kamble; Behera, 2021)	Algodão e juta	Compósito com resíduos de algodão e juta junto com uma pré-forma de vidro unidirecional para aprimorar a estabilidade do material. Sugere-se a aplicação deste compósito para substituição de madeira em mobiliário ou materiais de construção.

Quadro 2 – Artigos que apresentam a obtenção de compósitos com resíduos têxteis usando o processo de compressão a quente

			(conclusão)
<i>The Impact of TextileWaste on the Features of High-Density Polyethylene (HDPE) Composites</i>	(Lahtela; Kumar; Kärki, 2021)	Poliéster e rayon	Compósitos utilizando polietileno de elevada densidade como matriz e poliéster e rayon como carga. Propriedades mecânicas foram avaliadas e mostraram uma melhoria na resistência do material.

Fonte: O autor (2025).

A análise dos artigos listados no Quadro 2 evidencia que grande parte das pesquisas com resíduos têxteis na produção de compósitos tem se concentrado em aplicações voltadas à substituição de materiais tradicionais na construção civil, como madeira, ou em soluções para isolamento acústico. Observa-se também o uso crescente em mobiliário sustentável, indicando uma preocupação com o reaproveitamento de resíduos em produtos de maior valor agregado. Todos os estudos analisados no Quadro 2 empregam resíduos têxteis como carga do compósito, combinando-os com algum tipo de matriz, seja por meio de polímeros sintéticos virgens, como resinas epóxi e polipropileno, ou de polímeros naturais e termoplásticos biodegradáveis. Nenhuma das pesquisas identificadas segundo os critérios definidos evidencia a utilização de resíduos têxteis de poliéster como matriz do compósito, indicando a existência de oportunidades para a exploração de abordagens que utilizem exclusivamente esses resíduos, sem a adição de materiais externos.

Esses estudos indicam um potencial significativo para o desenvolvimento de processos que valorizem a utilização de resíduos têxteis, contribuindo para uma economia mais sustentável e eficiente, além de mitigar os impactos ambientais associados ao descarte desses materiais. A transição para práticas mais ecológicas na reciclagem e reaproveitamento de resíduos têxteis não só promove a sustentabilidade, mas também impulsiona a inovação dentro da indústria têxtil.

Akonda et al. (2014) propuseram o desenvolvimento de um compósito termoplástico a partir de fibras de carbono oriundas de processos industriais com fibras de poliéster virgens, formando um tecido não-trançado. Para a fabricação do

material, os resíduos foram inicialmente misturados por cardagem, seguidos de uma etapa de pré-impregnação para estabilização, dando origem a um não tecido, que posteriormente foi consolidado em camadas por meio de compressão a quente.

Este trabalho propõe a produção de compósitos a partir de resíduos industriais de fibras de poliéster, os quais serão fundidos durante o processo de compressão a quente para atuar como matriz polimérica, e de resíduos de algodão provenientes do processo de navalhagem, que desempenharão a função de carga do compósito. A preparação do compósito neste trabalho será mais simples em comparação ao estudo de Akonda et al. (2014), pois não envolve etapas de cardagem, estabilização ou produção de não tecido. Os resíduos serão apenas desfibrados, misturados e diretamente moldados, resultando no compósito por meio da compressão a quente. Essa abordagem, além de simplificar o processamento, elimina a necessidade de insumos químicos adicionais e propõe um modelo de reaproveitamento alinhado aos princípios da economia circular, contribuindo para a transformação de resíduos industriais têxteis em novos materiais com potencial de aplicação técnica e sustentável.

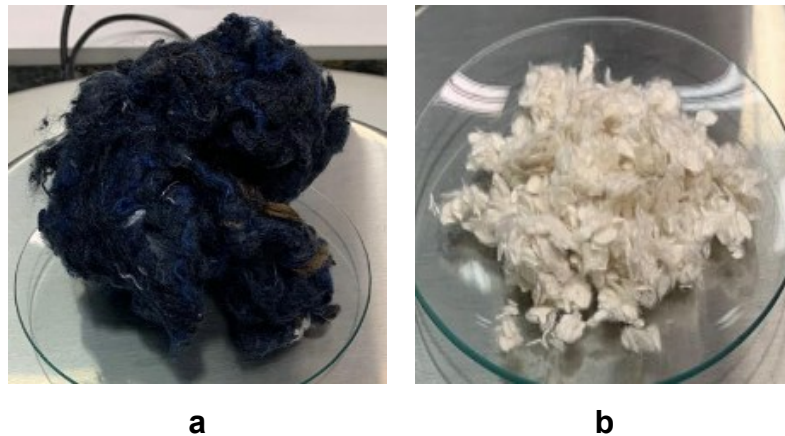
3 METODOLOGIA

Descrevem-se a seguir os materiais selecionados para utilização nesta dissertação, bem como os processos de preparo de amostras e as análises realizadas para caracterização do material.

3.1 MATERIAIS

Para este estudo, foram selecionados dois tipos de resíduos têxteis: poliéster desfibrado, proveniente de resíduos de corte, e pó de navalhagem (algodão), constituído por partículas finas de fibra geradas durante o processo de acabamento de toalhas felpudas. O poliéster desfibrado foi escolhido como matriz do compósito, em razão de suas boas propriedades mecânicas e da necessidade de se buscar aplicações viáveis para esse tipo de resíduo. Já o pó de navalhagem foi utilizado como carga, com o objetivo de avaliar o comportamento do compósito a partir de diferentes proporções de mistura entre os materiais.

Figura 7 – Resíduo de poliéster desfibrado (a); pó de navalhagem (b)



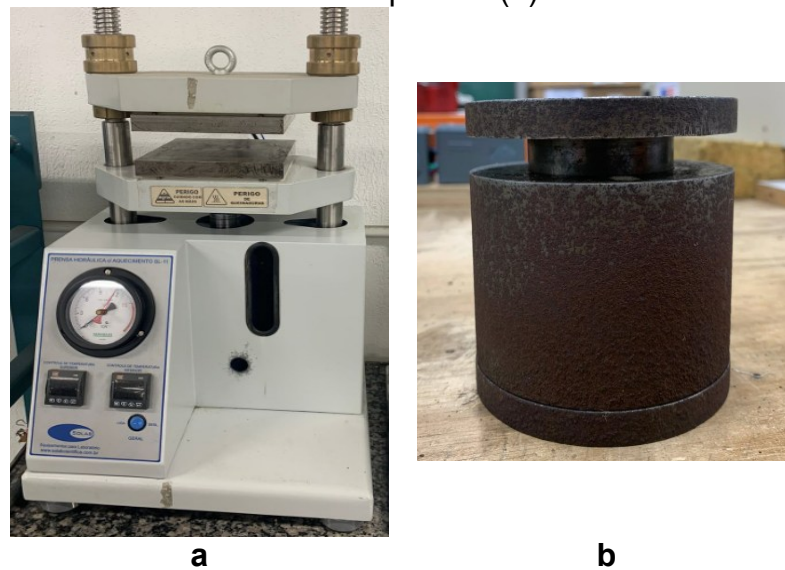
Fonte: O autor (2025).

O resíduo de poliéster foi fornecido por uma empresa do Rio Grande do Sul especializada no processamento de materiais têxteis, que disponibilizou o material já na forma desfibrada. Por sua vez, o pó de navalhagem foi obtido diretamente na empresa Karsten, durante visita técnica realizada para coleta do material.

3.2 EQUIPAMENTOS

Para a produção do compósito utilizou-se um molde metálico e uma prensa hidráulica com sistemas de aquecimento nas placas superior e inferior. A seguir, são apresentadas imagens dos equipamentos empregados no processo.

Figura 8 – Prensa hidráulica com aquecimento (a); molde utilizado para a fabricação dos compósitos (b)



Fonte: O autor (2025).

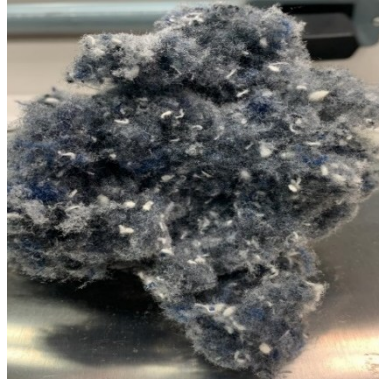
A prensa hidráulica utilizada é do modelo Solab SL-11, com capacidade de prensagem de até 15 toneladas e aquecimento controlado de até 300 °C. O molde metálico empregado possibilita a produção de amostras com diâmetro de 50 mm, sendo a espessura ajustável de acordo com a massa aplicada. Para este estudo comparativo, optou-se por não variar a massa, a fim de manter a espessura das amostras constante e garantir uniformidade nos resultados.

3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

O compósito foi fabricado utilizando fibras descontínuas orientadas aleatoriamente, tendo o poliéster como matriz polimérica e o pó de navalhagem como fase dispersa (carga). A preparação dos resíduos seguiu as etapas descritas a seguir: inicialmente, os resíduos de poliéster e o pó de navalhagem foram pesados

separadamente em uma balança analítica, sendo então fracionadas as massas de cada amostra conforme as proporções estabelecidas para as misturas. Em seguida, as massas previamente separadas foram homogeneizadas em um liquidificador doméstico por 30 segundos, com o objetivo de obter uma mistura uniforme dos resíduos. A Figura 9 ilustra os resíduos após o processo de homogeneização.

Figura 9 – Resíduo processado pronto para ser inserido no molde



Fonte: O autor (2025).

Os compósitos foram produzidos no Laboratório de Processamento de Materiais (LPM) da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Blumenau. Os resíduos utilizados foram previamente processados e levados ao laboratório já preparados para inserção no molde.

Diversos testes preliminares foram realizados com o objetivo de definir os parâmetros ideais de temperatura, pressão e tempo para a formação dos compósitos. As temperaturas testadas variaram entre 200 °C e 260 °C, os tempos entre 5 e 20 min, e a pressão aplicada entre 10 e 30 MPa. Os resultados mais satisfatórios de conformação foram alcançados sob a condição de 240 °C, 10 minutos e 20 MPa de pressão, parâmetros que possibilitaram a obtenção de um corpo de prova de 5 g, caracterizado por bom aspecto visual e ausência de aderência ao molde.

O molde foi previamente aquecido até a temperatura de 240 °C. Em seguida, o material foi inserido, o molde foi fechado e transferido para a prensa hidráulica, onde a pressão previamente definida foi aplicada durante o tempo estipulado. Foram produzidos 4 tipos de amostras, variando a proporção de carga nos compósitos. A Tabela 01 apresenta os parâmetros utilizados na obtenção de cada uma das amostras.

Tabela 01 – Parâmetros para obtenção dos compósitos

Amostras	Temperatura [°C]	Tempo [min]	Pressão [MPa]	Poliéster [%]	Pó de navalhagem [%]
A	240	10	20	100	-
B	240	10	20	85	15
C	240	10	20	75	25
D	240	10	20	65	35

Fonte: O autor (2025).

Após a produção das amostras A, B, C e D, conforme apresentado na Tabela 01, foram realizados ensaios de caracterização mecânica por meio de ensaios de resistência à tração e alongamento. A amostra que apresentou o melhor desempenho nesses ensaios foi selecionada para ser submetida à exposição à radiação ultravioleta (UV) e ao teste de absorção de água, seguida da realização de novos ensaios mecânicos.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS COMPÓSITOS

Análises laboratoriais foram realizadas nos resíduos e nos compósitos a fim de caracterizar os materiais. A seguir estão descritas as metodologias aplicadas para a realização dos ensaios.

3.4.1 Análise qualitativa e quantitativa dos resíduos

A composição final do compósito foi determinada pela mistura dos resíduos no momento da fabricação. Nestes resíduos foram realizados ensaios para verificar a sua composição de acordo com as normas AATCC 20 e AATCC 20A (American Association Of Textile Chemists And Colorists, 2021) no laboratório LAFITE do Instituto SENAI de Tecnologia Têxtil, Vestuário e Design que é acreditado pela Cgcre do INMETRO para realização destes ensaios. Foi aplicado o método de diluição para determinação da composição dos materiais.

Também foi realizada a análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando o modo de reflectância total atenuada (ATR). As análises foram conduzidas na Central de Análises do Departamento de

Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (CAEQA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As condições operacionais utilizadas incluíram atmosfera de nitrogênio, faixa espectral de 400 a 4000 cm^{-1} , resolução espectral de 4 cm^{-1} e 32 varreduras por amostra. Os espectros foram obtidos em função da transmitância, e os dados foram exportados no formato .TXT para posterior tratamento.

3.4.2 Análise termogravimétrica (TGA/DTG) dos resíduos

A análise TGA foi realizada em analisador térmico simultâneo (STA 449 F3 Jupiter, Netzsch). As amostras de poliéster desfibrado e pó de navalhagem foram colocadas no forno do equipamento e as medições realizadas sob atmosfera de nitrogênio com vazão de gás de 20 mL/min, com taxa de aquecimento de 10 °C/min de 20 a 600 °C.

3.4.3 Resistência mecânica

Foram realizados ensaios de resistência mecânica à tração e ao alongamento dos compósitos baseados na norma ASTM D638-14 realizando ajustes devido as dimensões dos corpos de prova. Estes apresentavam 50 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura, com desvio padrão de 0,2 mm. Os ensaios foram conduzidos em uma máquina universal de ensaios EMIC DL500, equipada com célula de carga de 200 kgf. Os testes foram realizados seguindo os seguintes parâmetros: distância entre garras de 20 mm e velocidade de deslocamento de 50 mm/min. As amostras foram fixadas de forma centralizada nas garras, conforme ilustrado na Figura 16. Os ensaios foram conduzidos em três condições distintas: após a fabricação, após a absorção de água e após a exposição à luz com radiação UV.

Os dados obtidos nos ensaios de tração e alongamento foram submetidos à análise estatística utilizando o software Statistica, por meio da análise de variância (ANOVA), com o objetivo de comparar as médias e verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. A análise ANOVA indicou efeito significativo com nível de confiança de 95 %, sendo posteriormente aplicado o teste de Tukey para comparação múltipla entre as médias. O gráfico de cada análise ANOVA realizada apresenta os valores médios das medições e o intervalo de confiança dos dados obtidos.

3.4.4 Absorção de água

Os compósitos foram ensaiados acordo com o especificado pela ASTM D570 (American Society For Testing And Materials, 2022) para determinação dos índices de absorção de água por meio de ganho de massa ao mergulhar as amostras em água destilada em temperatura controlada.

As amostras foram individualmente imersas em béqueres contendo água destilada grau 3, conforme especificado na norma ISO 3696:1987 (International Organization For Standardization, 1987), mantida à temperatura ambiente. Cada amostra foi previamente pesada antes da imersão e novamente após 24 horas submersa. O percentual de absorção foi calculado individualmente para cada amostra, com base na equação 1.

$$\% \text{ absorção de água} = \frac{\text{massa final} - \text{massa inicial}}{\text{massa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Após a exposição à umidade, ensaios de resistência mecânica foram realizados e comparados com a amostra de mesma composição que não foi exposta a a umidade.

3.4.5 Degradação (UV)

As amostras foram submetidas à radiação ultravioleta com o objetivo de acelerar o processo de degradação do material, simulando as condições de exposição à luz solar. O ensaio foi realizado com base nos parâmetros especificados pela ABNT NBR 14535 (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2008) em uma câmara equipada com uma lâmpada UVA – 351 com intensidade de irradiação ajustada para 0,76 W/m² a 353 nm. As amostras serão submetidas a esta luz por 24 h em uma temperatura de 50 ± 3 °C. Após o ciclo de degradação, ensaios de resistência mecânica foram realizados e comparados com a amostra de mesma composição que não foi exposta a degradação.

3.4.6 Morfologia dos compósitos

Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura - MEV (SEM, JEOL JSM-6390LV, JP) para investigar a morfologia do compósito e a interface entre as fibras de algodão e a matriz de poliéster. As análises foram realizadas a 8kV com aumento de até 500x, após recobrimento das amostras com ouro. As análises foram realizadas na secção transversal das amostras, onde o corpo de prova foi preparado sendo realizado o corte do mesmo com o uso de um bisturi.

Também foram realizadas imagens em alta definição das amostras por meio de fotografia, com o objetivo de documentar visualmente a aparência geral dos compósitos obtidos. As imagens mostram aspectos como a distribuição das fibras na superfície do compósito. Além disso, foram registradas as regiões fraturadas após os ensaios mecânicos, possibilitando a observação das características de ruptura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos resíduos, bem como os resultados da produção das amostras e o desempenho mecânico de resistência à tração do compósito produzido e os efeitos da degradação UV e a absorção de água. São discutidos os resultados dos testes e comparados com outros estudos já realizados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

4.1.1 Análise dos resíduos têxteis

Foram realizadas análises da composição dos resíduos têxteis e os resultados obtidos nas análises estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados das análises qualitativas e quantitativas dos resíduos.

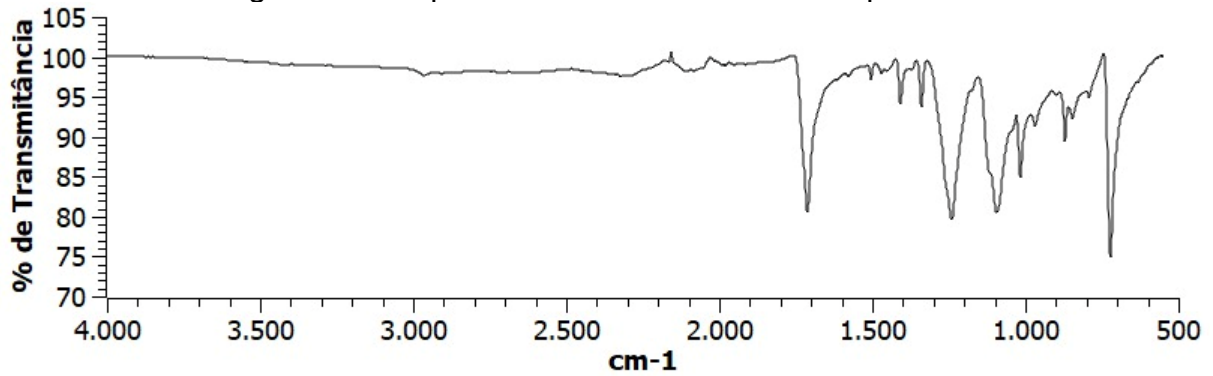
Amostra	Fibras identificadas	%
Resíduo de poliéster desfibrado	Poliéster	97
	Outras Fibras	3
Pó de navalhagem	Algodão	100

Fonte: O autor (2025).

No resíduo de poliéster desfibrado, entre os 3% de outras fibras foram identificadas: algodão, viscose, poliamida, elastano e acrílico.

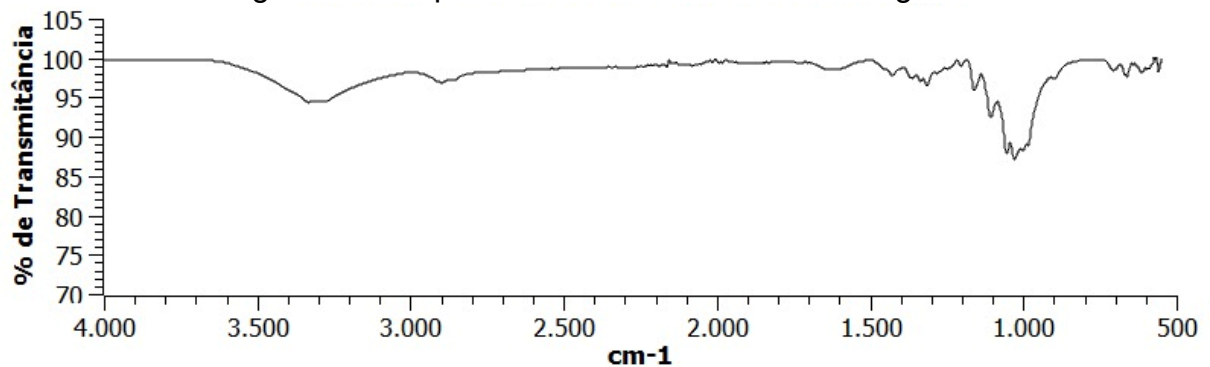
Foram realizadas as análises FTIR nos resíduos de poliéster e pó de navalhagem, conforme apresentado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Espectro de FTIR do resíduo de poliéster



Fonte: O autor (2025).

Figura 11 – Espectro de FTIR do resíduo de algodão

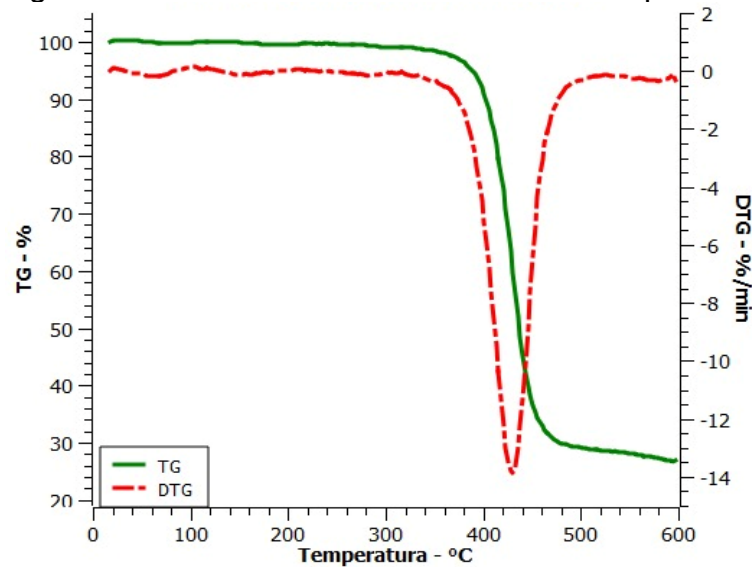


Fonte: O autor (2025).

Ao comparar os espectros de FTIR obtidos com os dados apresentados por Shaikh e Agrawal (2007), verifica-se a presença de bandas características do poliéster, como a absorção intensa em torno de 1700 cm^{-1} (estiramento C=O do grupo éster), além de bandas em 1250 cm^{-1} (estiramento C-O) e na região de $705\text{--}900\text{ cm}^{-1}$, relacionadas a vibrações de anéis aromáticos. No espectro do resíduo de algodão, observam-se bandas típicas da celulose, com destaque para 3400 cm^{-1} (O-H), 2900 cm^{-1} (C-H), $1400\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ (dobras CH_2) e $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ (C-O e C-C). A presença desses picos confirma certa mistura de materiais na composição do resíduo de poliéster, corroborando os resultados obtidos previamente pelo método de diluição.

Foi realizada a análise termogravimétrica (TGA/TGD) dos resíduos de poliéster e pó de navalhagem, conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

Figura 12 – Análise TGA/DTG do resíduo de poliéster

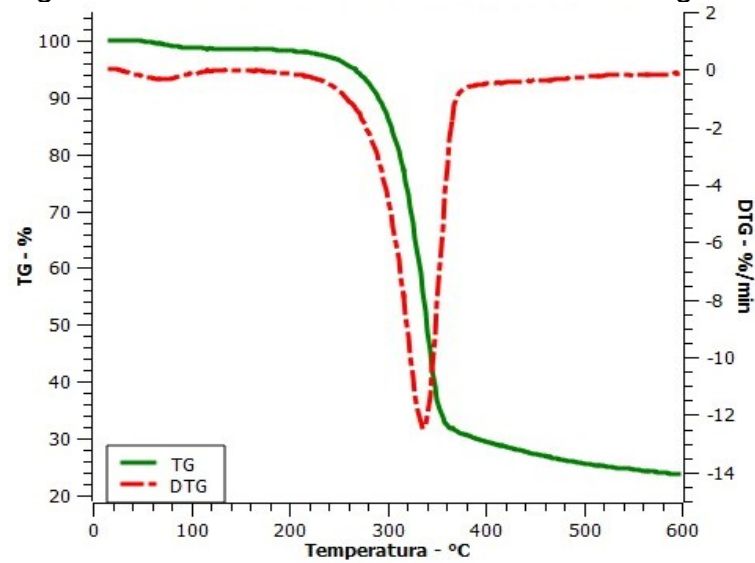


Fonte: O autor (2025).

A curva termogravimétrica (TG) evidencia uma perda de massa acentuada na faixa de 400 a 500 °C, com o ponto de máxima taxa de degradação identificado em aproximadamente 430 °C. Observa-se, ainda, uma resistência à degradação térmica da amostra até cerca de 350 °C, faixa na qual a perda de massa é praticamente inexistente. Estes valores são similares aos resultados encontrados por Younis (2018), que também realizou análise termogravimétrica em poliéster e identificou que o material inicia o processo de degradação a partir de 340 °C, ocorrendo a maior perda de massa entre 340 °C e 495 °C.

Dessa forma, pode-se considerar até 300 °C, que é a temperatura máxima da termo prensa utilizada, como uma temperatura de trabalho segura para o material analisado, evitando-se a degradação térmica dos seus constituintes.

Figura 13 – Análise TGA/TGD do resíduo de algodão



Fonte: O autor (2025).

A curva termogravimétrica (DTG) do resíduo apresenta duas regiões distintas de perda de massa. A primeira, entre 100 e 200 °C, é caracterizada por uma leve redução de massa, atribuída, possivelmente, à evaporação de umidade residual e compostos voláteis. A segunda, mais expressiva, ocorre entre 250 e 400 °C, com o pico de degradação térmica evidenciado pela curva DTG em aproximadamente 340 °C. Essa faixa de degradação é compatível com a decomposição térmica do algodão identificada por Pereira et al. (2024), que identificou a degradação do algodão entre 330 e 455 °C. Com base nesses dados, estima-se que a temperatura de trabalho segura para esse material esteja abaixo de 250 °C, a fim de preservar sua integridade estrutural durante o processamento.

4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS COMPÓSITOS

Os compósitos foram produzidos conforme os parâmetros estabelecidos na Tabela 01. Foram realizados diversos testes, variando-se o tempo e a temperatura de processamento, sempre respeitando os limites térmicos identificados na análise TGA dos resíduos, a fim de evitar a degradação do material. Após essa etapa experimental, verificou-se que os melhores resultados na formação do compósito foram obtidos com a aplicação de 240 °C por 10 minutos. A Figura 14 apresenta o compósito sendo produzido.

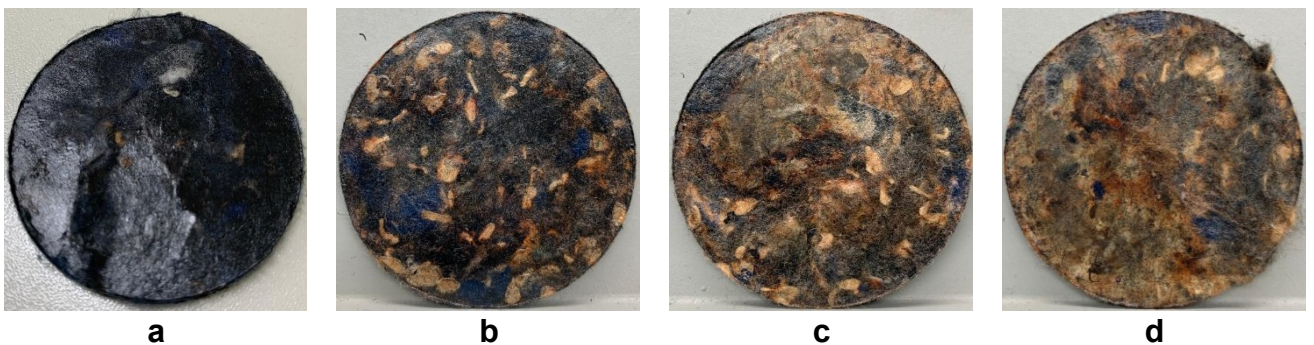
Figura 14 – Imagem da prensa com molde durante o aquecimento do material



Fonte: O autor (2025).

Observa-se, visualmente, uma variação significativa na coloração e aspecto superficial à medida que se incrementa a proporção de fibras de algodão na composição dos compósitos. A amostra composta por 100 % de poliéster apresenta uma superfície mais uniforme e compacta. Com o aumento da quantidade de algodão nas formulações, tornam-se evidentes alterações visuais, com uma coloração progressivamente mais clara e distribuída de maneira menos uniforme, sugerindo uma dispersão menos homogênea das fibras. A Figura 15 apresenta os compósitos produzidos nas diferentes proporções de misturas de PES e CO.

Figura 15 – Compósitos produzidos: 100 % PES (a); 85 % PES + 15 % CO (b); 75 % PES + 25 % CO (c); 65 % PES + 35 % CO (d).



Fonte: O autor (2025).

Os corpos de prova foram obtidos na forma de discos, com 50 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura, com desvio padrão de 0,2 mm. A escolha dessa geometria decorreu da disponibilidade do molde empregado na realização do trabalho.

4.2.1 Resistência mecânica

Foram realizados ensaios de resistência à tração nas quatro amostras produzidas de acordo com os parâmetros estabelecidos na Tabela 01. Para cada amostra, para a análise dos valores médios, 6 corpos de prova foram considerados. Os resultados individuais obtidos para cada grupo de amostra encontram-se disponíveis no Apêndice A. A Figura 16 apresenta como o compósito foi preso ao aparelho para realização do ensaio de resistência mecânica.

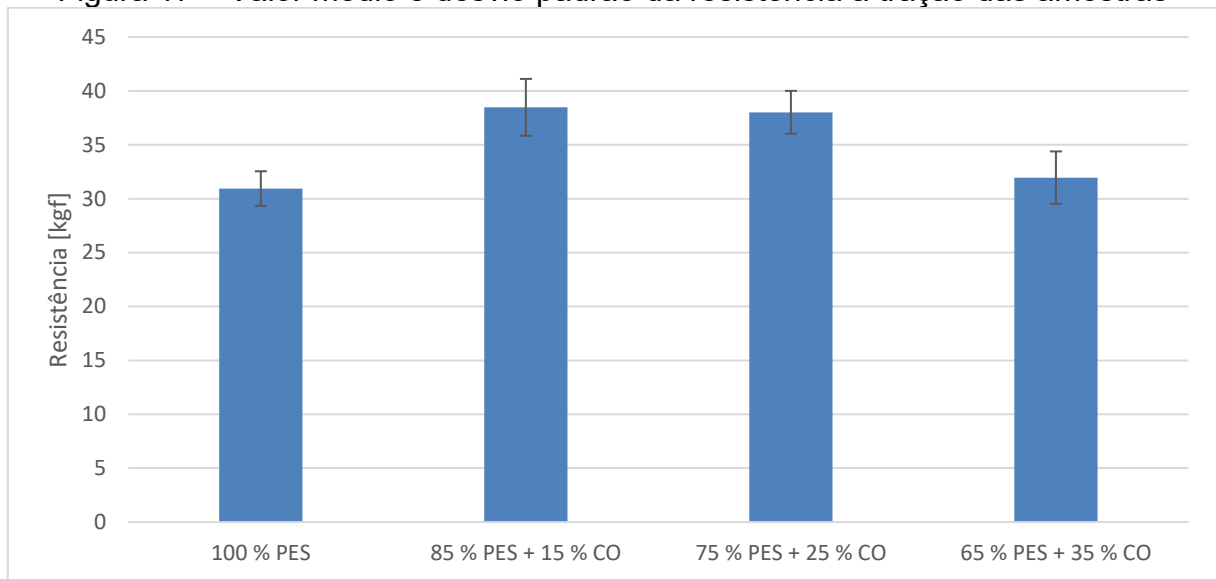
Figura 16 – Ensaio de resistência mecânica



Fonte: O autor (2025).

Os resultados médios obtidos nos ensaios de resistência a tração estão expostos na Figura 17. Optou-se por apresentar os resultados de resistência mecânica em kgf, e não em kPa, uma vez que a conversão para tensão depende diretamente da área real de cada corpo de prova. Como não foi realizada a medição individual da espessura de cada amostra, eventuais variações dimensionais poderiam introduzir incertezas adicionais nos cálculos. Dessa forma, a manutenção dos valores em kgf garante maior fidedignidade e consistência na comparação entre as diferentes condições de ensaio.

Figura 17 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração das amostras



Fonte: O autor (2025).

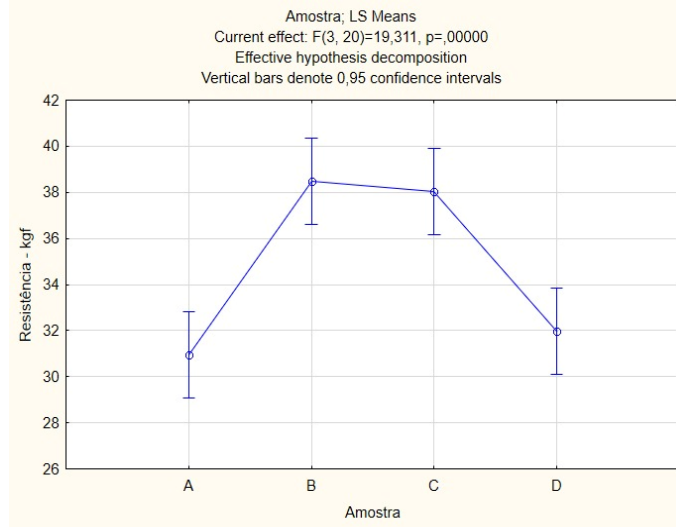
Observa-se que a adição de carga de algodão ao compósito resultou em um aumento da resistência mecânica do material. Tal efeito ficou evidente nas amostras B e C, que contêm, respectivamente, 15% e 25% de algodão, apresentando os maiores valores de resistência entre todas as formulações testadas. Islam e Bhat (2019) também relataram um aumento na resistência mecânica ao incorporar fibras de cânhamo e partículas de madeira em compósitos poliméricos, proporcionando melhor transferência de tensões e maior rigidez estrutural.

Quando a proporção de carga excedeu o limite ideal (como na amostra D, com 35 % de algodão), verifica-se uma redução no desempenho mecânico do compósito. Tal comportamento pode ser atribuído à má dispersão das fibras na matriz, ao aumento de defeito na interface entre a fase dispersa e a matriz polimérica, e à formação de regiões de concentração de tensões — mecanismos frequentemente observados quando há excesso de carga sólida em sistemas compósitos. Conforme demonstrado por Kamble et al. (2021), tais condições favorecem o surgimento de microtrincas e a perda de integridade estrutural do material. Além disso, como apontado por Islam e Bhat (2019), a adição excessiva de fibras recicladas, sem compatibilização adequada, compromete a coesão do compósito e limita seu desempenho mecânico.

Com base nos resultados do teste de Tukey, observou-se que as amostras A e D pertencem ao mesmo grupo estatístico, ou seja, não apresentam diferença significativa entre si. Da mesma forma, as amostras B e C também não diferem

estatisticamente entre si. No entanto, há uma diferença significativa entre os dois grupos: as amostras A e D apresentaram valores de resistência mecânica inferiores em comparação às amostras B e C. Os resultados obtidos da análise estatística são apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração

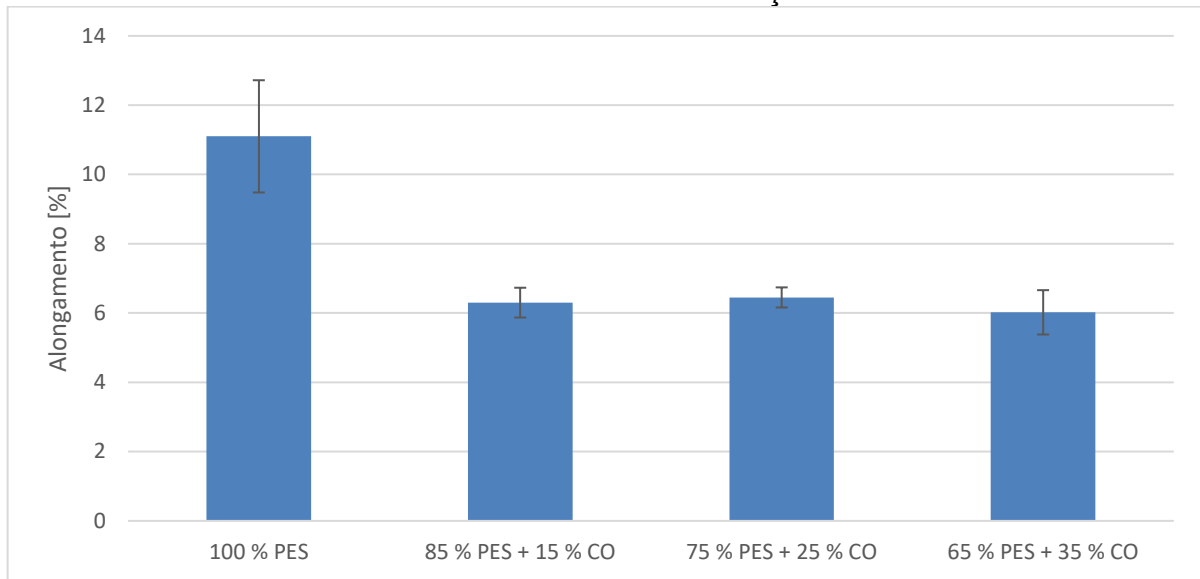


Fonte: O autor (2025).

A análise gráfica reforça os achados estatísticos, demonstrando a formação de dois grupos distintos. O primeiro grupo, composto pelas amostras A e D, apresenta os menores valores médios de resistência à tração. O segundo grupo, formado pelas amostras B e C, evidencia maior resistência, sugerindo que a adição de carga de algodão nas proporções de 15% e 25% contribui para a melhoria da propriedade mecânica do compósito, enquanto concentrações mais elevadas (35%) não mantêm esse ganho.

A análise do parâmetro de alongamento foi conduzida de forma complementar à avaliação da resistência à tração, com o objetivo de compreender de maneira mais abrangente o comportamento mecânico das amostras. Os resultados de alongamento à tração são apresentados na Figura 19.

Figura 19 – Valor médio e desvio padrão do alongamento das amostras obtidos nos ensaios de tração



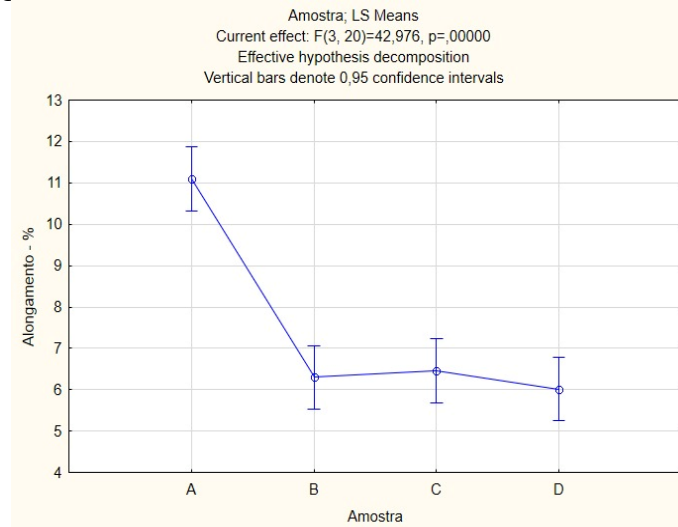
Fonte: O autor (2025).

Os resultados indicaram que a adição de carga de algodão ao compósito de poliéster provoca uma redução significativa na capacidade de alongamento do material. No entanto, variações na proporção de carga entre 15 % e 35 % não resultaram em diferenças estatisticamente significativas, sugerindo que o efeito redutor sobre o alongamento se estabiliza já nas concentrações mais baixas de carga.

Observa-se que a amostra C, com 25 % de carga de algodão, apresentou o menor desvio padrão entre todas as amostras avaliadas. Esse resultado indica maior estabilidade e repetibilidade nos ensaios de alongamento para essa formulação, sugerindo uma distribuição mais uniforme da carga no compósito e, possivelmente, melhor homogeneização do material.

Os valores de alongamento obtidos para as amostras também foram analisados estatisticamente por meio do teste de Tukey. Os resultados indicaram que as amostras B, C e D não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si, formando um mesmo grupo. No entanto, todas elas diferem significativamente da amostra A, que apresentou o maior valor médio de alongamento. A Figura 20 ilustra esses resultados de forma gráfica, evidenciando a separação estatística entre a amostra A e as demais, que apresentaram desempenho inferior nessa propriedade.

Figura 20 – Análise Estatística ANOVA: alongamento



Fonte: O autor (2025).

A menor variação entre os resultados de tração e alongamento observada na composta por 75% PES + 25 % CO, que apresentou o menor desvio padrão entre os conjuntos testados, indica maior uniformidade e estabilidade mecânica do material. Essa composição demonstrou ser a mais adequada em termos de equilíbrio entre resistência, rigidez e reprodutibilidade, o que a torna promissora para aplicações técnicas consistentes.

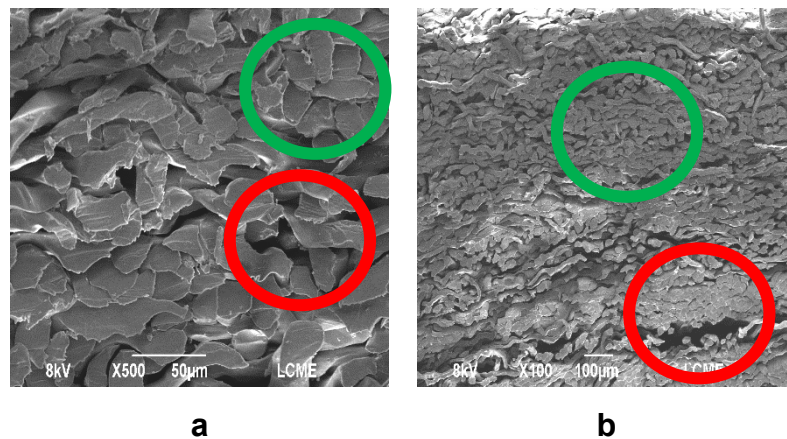
O comportamento das propriedades mecânicas observadas nos ensaios realizados estava em conformidade com o esperado, uma vez que a adição de carga ao compósito tende a aumentar sua resistência mecânica, resultando, simultaneamente, em uma redução do alongamento até a ruptura (Egbo, 2020).

Diante dos resultados obtidos, a amostra C, composta por 75 % de poliéster e 25 % de algodão, destacou-se por apresentar o melhor desempenho em termos de resistência à tração, associada ao menor desvio padrão entre os ensaios realizados. Esse comportamento evidencia não apenas uma boa capacidade de reforço mecânico, mas também uma maior uniformidade e estabilidade da formulação, características desejáveis para aplicações técnicas. Além disso, os testes estatísticos confirmaram que essa composição se encontra entre as que apresentaram diferença significativa positiva em relação a amostra padrão, sem carga (amostra A) e à formulação com maior teor de carga (amostra D), cujo desempenho foi inferior. Com base nesses resultados, a amostra C foi selecionada para a continuidade dos demais ensaios experimentais, por reunir as melhores condições de desempenho e reprodutibilidade.

4.2.2 Análise morfológica dos compósitos

A seguir estão apresentadas as análises realizadas referente a microscopia eletrônica de varredura (MEV) nos compósitos produzidos. Estão apresentadas ampliações de 100 e 500x para cada uma das misturas (Figuras 21 a 24), a fim de contribuir na avaliação da interação entre matriz e a carga do compósito.

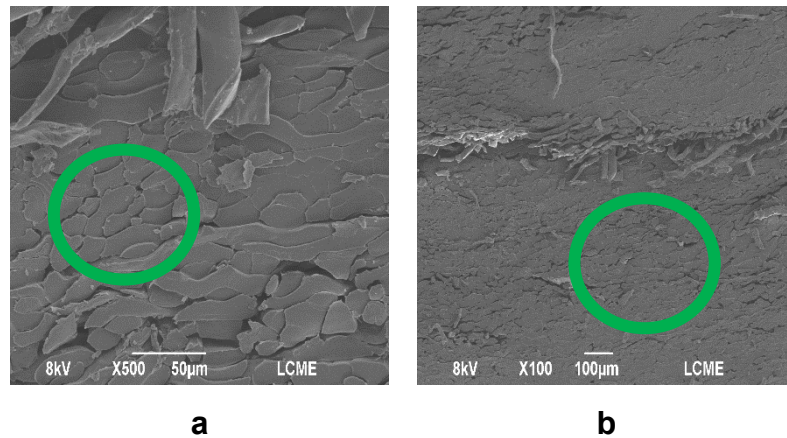
Figura 21 – Imagem de MEV da amostra A (100 % poliéster): ampliação 100x (a) e 500x (b)



Fonte: O autor (2025).

Observa-se, na Figura 21, que existem partes “vazias” na estrutura do compósito, onde não houve aderência entre as partículas que compõem a matriz de poliéster. Esses vazios e a falta de adesão comprometem a transferência de tensões entre matriz e partículas, o que resulta na redução da resistência e da rigidez do compósito. Nos pontos de contato entre as partículas, por outro lado, ocorre a aderência entre as partes do material desfibrado, conferindo maior resistência ao compósito.

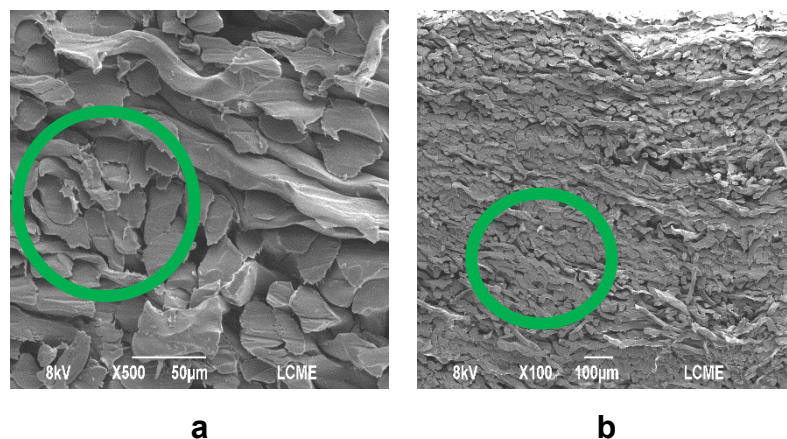
Figura 22 – Imagem de MEV da amostra B (85 % Poliéster e 15 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b)



Fonte: O autor (2025).

Ao adicionar carga ao compósito (Figura 22), a carga contribui para o preenchimento dos espaços vazios resultantes do fato de o poliéster não ter fundido completamente, favorecendo uma melhor distribuição e adesão entre as fibras e a matriz polimérica. Esse efeito melhora a transferência de tensões na interface matriz-carga e, conseqüentemente, contribui para o aumento da resistência mecânica das amostras produzidas.

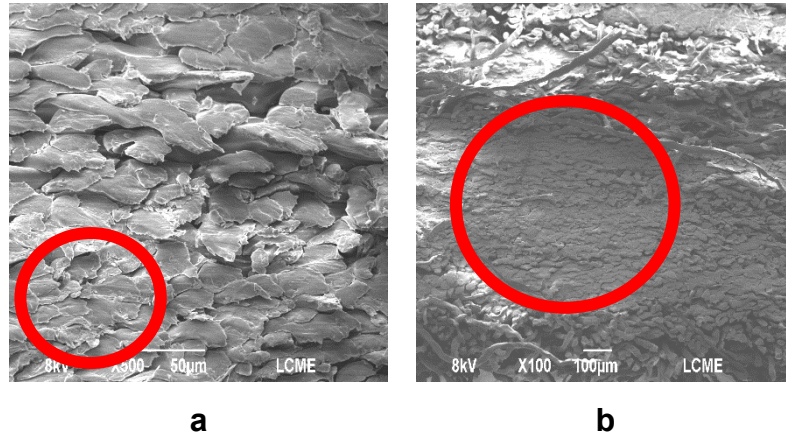
Figura 23 – Imagem de MEV da amostra C (75 % Poliéster e 25 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b)



Fonte: O autor (2025).

Com o aumento da carga para 25 %, o preenchimento dos espaços do compósito ainda continua, porém, começa-se a observar acúmulos maiores de carga, porém, ainda mantendo uma adequada mistura entre carga e matriz do compósito.

Figura 24 – Imagem de MEV da amostra D (65 % Poliéster e 35 % Algodão): ampliação 100x (a) e 500x (b)



Fonte: O autor (2025).

Já com o aumento da carga para 35 % (Figura 24) ocorre “empilhamento” da carga, no caso o algodão, reduzindo a interação com a matriz do compósito, explicando a queda na resistência mecânica. Como a função da matriz de poliéster é fundir e envolver as partículas de reforço, a elevada quantidade de algodão – que não apresenta capacidade de fusão – dificulta esse processo, resultando em regiões de empilhamento de fibras e, conseqüentemente, em maior fragilidade do compósito e redução de sua resistência mecânica.

Comparando com o estudo de Kamble et al. (2020) que investigou compósitos epóxi reforçados com fibras de algodão recicladas, observa-se que a adesão interfacial também foi considerada adequada nas formulações com menor volume de fibra. No entanto, para maiores teores de carga (acima de 30 %), os autores relataram falhas de interface e descolamento de fibras, visíveis nas imagens realizadas no MEV. Isso sugere que a proporção de carga influencia diretamente a integridade da interface, corroborando os resultados da dissertação.

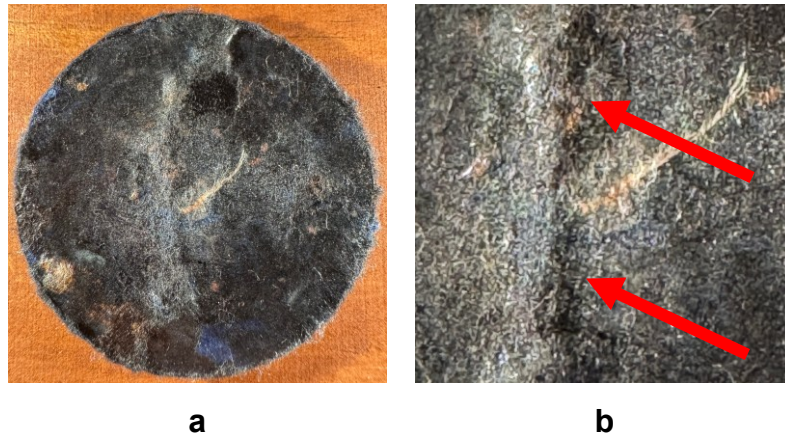
Outro estudo relevante é o de Kamble e Behera (2021) que analisou compósitos termoplásticos de polipropileno reforçados com resíduos de algodão e poliéster. As imagens de MEV mostraram fibras com impregnação parcial e evidências de falhas de adesão para teores elevados de fibras (em torno de 28 %), semelhantes aos casos com 35 % de algodão apresentados na Figura 24, onde também se observou maior fragilidade e falhas visuais na fratura.

Desta forma, ressalta-se a importância da interação entre a carga e a matriz. Como a matriz é responsável por envolver a carga e dar a estrutura ao compósito, ao

aumentar o percentual acima de 25 %, a interação entre a carga e matriz fica comprometida.

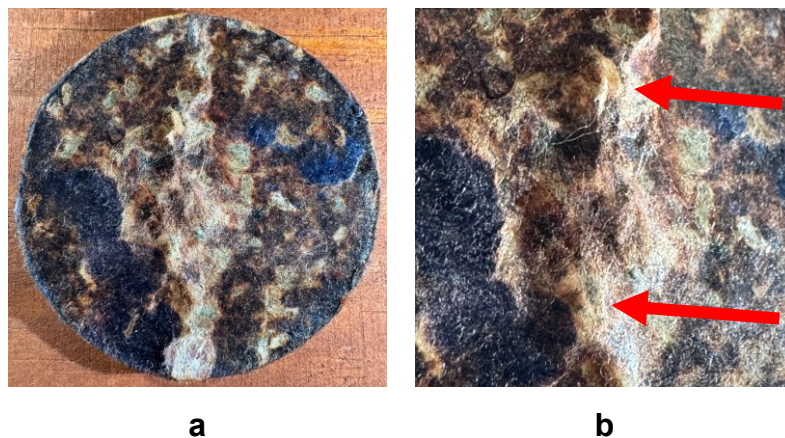
As Figuras 25 a 28 apresentam os registros fotográficos das amostras fraturadas (após o ensaio de resistência mecânica) dos compósitos produzidos com diferentes proporções de fibras de poliéster e algodão, bem como imagens ampliadas das regiões de fratura.

Figura 25 – Amostra A – 100 % poliéster (a); fratura (b).



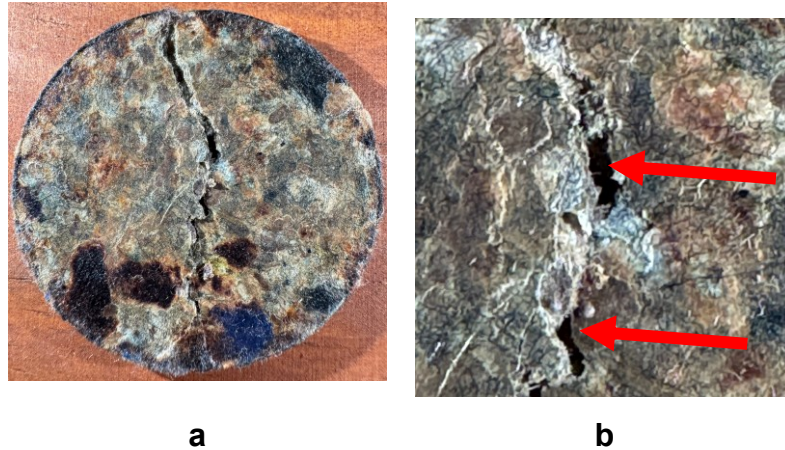
Fonte: O autor (2025).

Figura 26 – Amostra B – 85 % poliéster e 15 % algodão (a); fraturada (b).



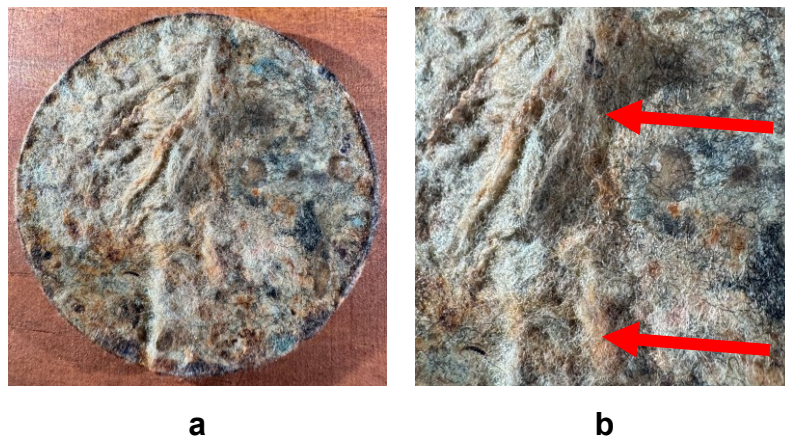
Fonte: O autor (2025) .

Figura 27 – Amostra C – 75% Poliéster e 25% Algodão (a); fraturada (b).



Fonte: O autor (2025).

Figura 28 – Amostra D – 65% Poliéster e 35% Algodão (a); fraturada (b)



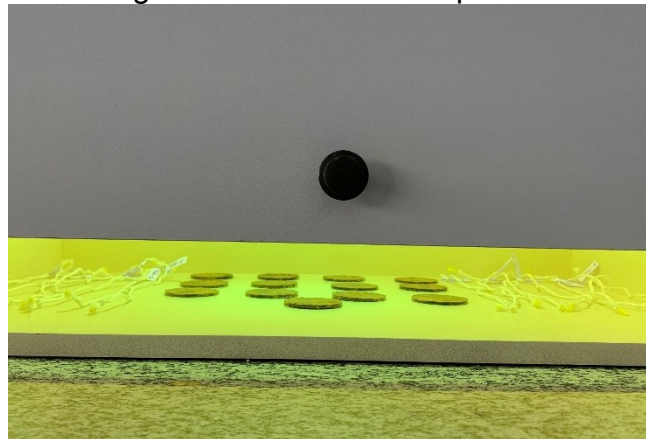
Fonte: O autor (2025).

São evidenciadas alterações visuais associadas ao aumento do teor de fibras no compósito, bem como diferenças nas regiões de fratura. A amostra com 100% de poliéster (Figura 25) apresenta uma fratura centralizada e bem definida, enquanto as amostras com 85% PES + 15% CO (Figura 26) e 75% PES + 25% CO (Figura 27) exibem fraturas mais irregulares, com indícios de separação de fases, o que pode estar relacionado ao melhor desempenho mecânico observado nessas formulações. Já a amostra com 65% PES + 35% CO (Figura 28) apresenta fratura pouco visível, devido à presença de grande quantidade algodão na superfície, que não foi totalmente encapsulado pela matriz de poliéster - característica não observada nas demais amostras.

4.2.3 Resistência mecânica após degradação UV

Novas amostras foram produzidas utilizando a proporção de 75 % de poliéster e 25 % de algodão, com o objetivo de realizar os ensaios de degradação acelerada por radiação UV, bem como a avaliação de sua resistência mecânica após o processo de exposição. Os resultados obtidos foram comparados com os dados das amostras de mesma formulação previamente analisadas no item 4.2.1. Assim como nas amostras iniciais, para análise dos resultados médios, 6 corpos de prova foram considerados. A Figura 29 apresenta o processo de exposição dos compósitos a radiação UV.

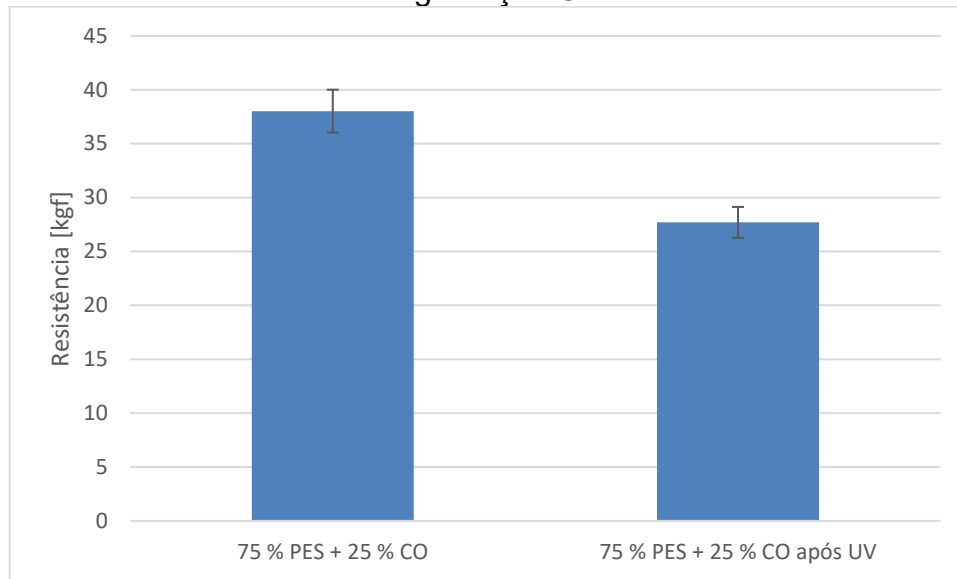
Figura 29 – Fotografia das amostras expostas na câmara UV



Fonte: O autor (2025).

Os valores médios de resistência à tração após a degradação UV encontram-se apresentados na Figura 30, enquanto os dados individuais estão disponíveis no Apêndice B.

Figura 30 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração antes e após degradação UV



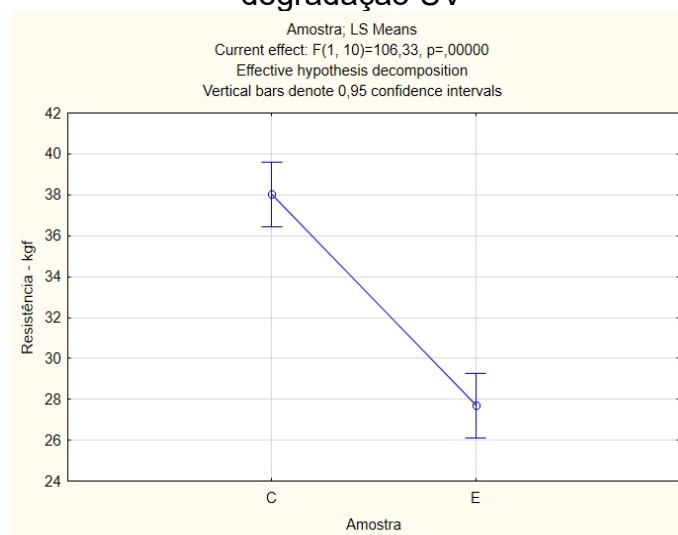
Fonte: O autor (2025).

A exposição à radiação UV provocou uma redução significativa na resistência à tração da amostra analisada. Conforme ilustrado na Figura 25, a resistência média do compósito produzido com 75 % PES + 25 % CO passou de 38,02 kgf para 27,70 kgf após o processo de degradação, representando uma queda de aproximadamente 27 % na capacidade de suportar carga. Este resultado está de acordo com os dados encontrados na literatura para materiais semelhantes. Em estudo conduzido por Wiener et al. (2017), tecidos de poliéster submetidos a 600 minutos de radiação UV (intensidade de 40,4 mW/cm² UVA e 4,1 mW/cm² UVB) apresentaram uma redução linear de resistência à tração entre 20 % e 35 %, dependendo da presença ou não de nanopartículas de TiO₂. O algodão, por sua vez, demonstrou ser menos sensível à degradação mecânica por UV, com perdas inferiores a 10 % nas mesmas condições experimentais. Assim, os resultados obtidos neste trabalho são coerentes com os da literatura, indicando que a maior parte da degradação observada pode ser atribuída ao poliéster, especialmente por se tratar de material reciclado, o qual apresenta estrutura polimérica já parcialmente degradada e menor estabilidade frente à radiação ultravioleta. A presença de fibras de algodão, embora contribua com menor parcela para a perda de desempenho, pode também atuar como sítio de iniciação de degradação quando associada a alta umidade e oxigênio presentes durante o processo de envelhecimento artificial (Wiener et al., 2017).

A redução da resistência à tração observada no compósito após a exposição à radiação ultravioleta está relacionada à degradação fotoquímica dos constituintes poliméricos. No caso do algodão, a radiação UV rompe ligações glicosídicas da celulose e degrada grupos hidroxila, enfraquecendo estruturalmente a fibra (Temel et al., 2019; Ye et al., 2022). Embora o poliéster apresente relativa estabilidade térmica e fotolítica, sua matriz também sofre degradação superficial sob exposição prolongada aos raios UV, com quebra de ligações poliméricas e indícios de comprometimento na adesão na interface fibra-matriz (Vasylius et al., 2023; Tubio et al., 2022). Como resultado, o compósito torna-se estruturalmente mais frágil e menos capaz de resistir às solicitações mecânicas, justificando a queda significativa de resistência à tração observada após a degradação.

A aplicação do teste de Tukey, com nível de confiança de 95 %, indicou que há uma diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas com 75 % PES + 25 % CO antes e após a degradação UV. Essa diferença também é evidenciada graficamente na Figura 31, a qual demonstra a redução dos valores de resistência à tração na amostra envelhecida em relação à amostra padrão (antes do envelhecimento).

Figura 31 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração antes e após degradação UV

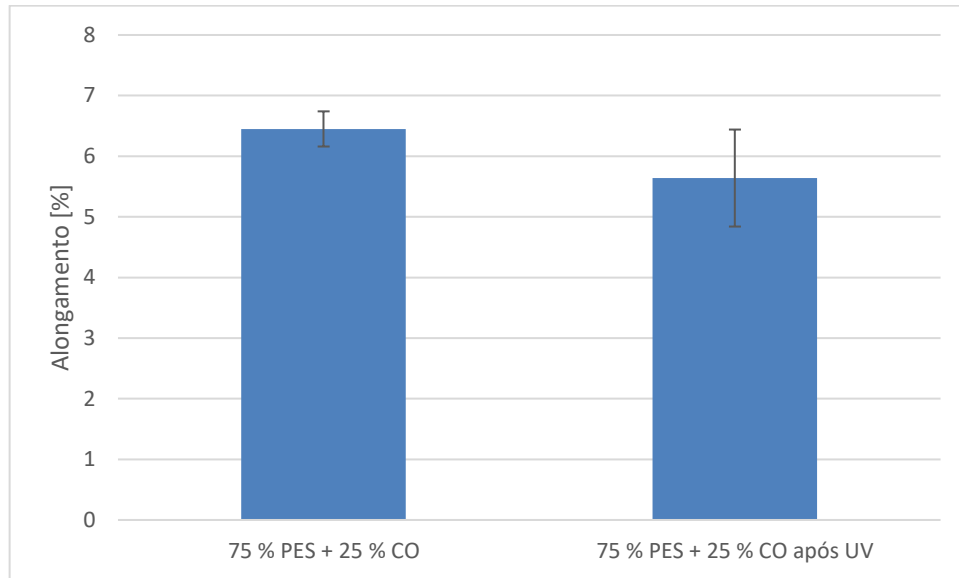


Fonte: O autor (2025).

Também se observa uma redução no alongamento da amostra até o ponto de ruptura após a exposição à radiação UV (Figura 32). A média de alongamento da amostra composta por 75 % PES + 25 % CO caiu de 6,45% para 5,64% após a

degração UV, indicando uma redução de flexibilidade do compósito em decorrência do envelhecimento acelerado. Esse resultado indicou que o material se torna mais rígido e propenso à fratura sob deformação, o que pode ser associado à degradação da matriz polimérica ou à perda de coesão na interface fibra-matriz.

Figura 32 – Valor médio e desvio padrão do alongamento antes e após degradação UV



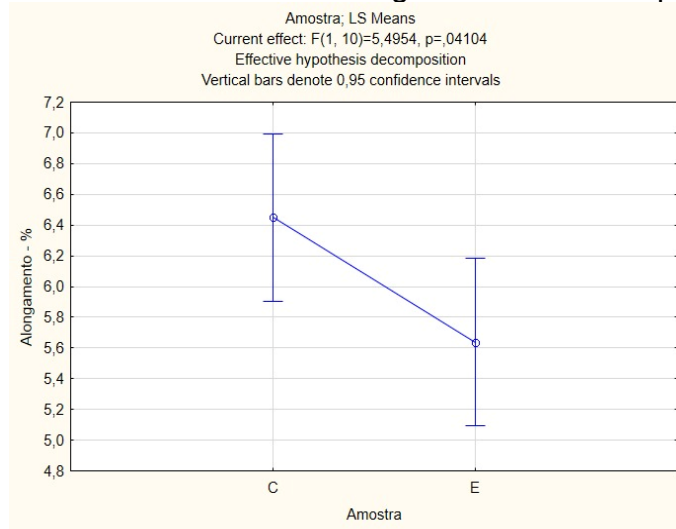
Fonte: O autor (2025).

Além disso, o aumento do desvio padrão observado na amostra degradada evidencia uma maior variabilidade no comportamento mecânico, o que reforça a influência da radiação UV na perda de uniformidade estrutural do compósito.

O aumento no desvio padrão dos valores de alongamento pode indicar comportamento mecânico instável, frequentemente associado à degradação superficial não homogênea induzida por radiação UV. Essa degradação localizada leva à formação de microfissuras e alterações estruturais distintas entre os corpos de prova (Andrady et al., 2023).

A análise do alongamento das amostras, realizada por meio do teste de Tukey com nível de confiança de 95%, indicou que os resultados também apresentam diferenças estatisticamente significativas. Essa diferença é corroborada pela representação gráfica apresentada na Figura 33, que evidencia a redução do alongamento na amostra envelhecida em comparação à amostra controle.

Figura 33 – Análise Estatística ANOVA: alongamento antes e após degradação UV



Fonte: O autor (2025).

Embora haja certa sobreposição nos intervalos de confiança, a análise estatística indica que, em média, os valores de alongamento da amostra após a degradação UV são significativamente inferiores aos da amostra ensaiadas antes do processo de degradação. A maior variação observada nos resultados da amostra envelhecida contribui para essa distinção, como evidenciado na Figura 32. Assim, conclui-se que o envelhecimento acelerado provocou uma redução significativa na capacidade de deformação do compósito.

4.2.4 Resistência mecânica após absorção de água

Novas amostras foram preparadas com a proporção de 75 % de poliéster e 25 % de algodão e submetidas ao ensaio de absorção de água conforme o procedimento descrito na Seção 3.4.4, previamente à realização dos ensaios de resistência mecânica. A Figura 34 apresenta as amostras sendo submetidas à absorção de água.

Figura 34 – Ensaio de absorção de água

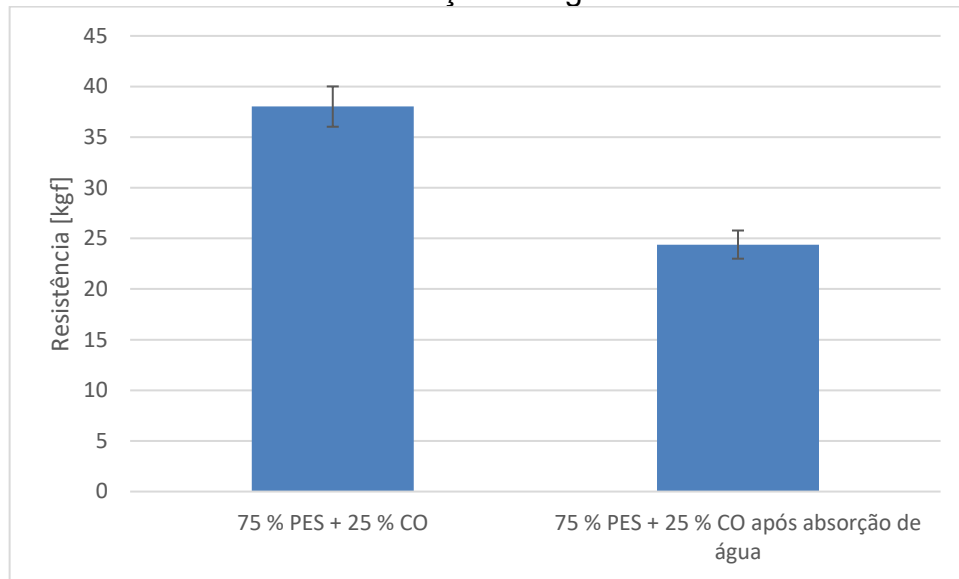


Fonte: O autor (2025).

A média de absorção de água observada foi de 28 ± 2 %. Os valores individuais obtidos nesse ensaio encontram-se disponibilizados no Apêndice D. Este valor é consideravelmente superior aos dados reportados por Eyasu Ferede et al. (2024), que encontraram 10,29 % de absorção para compósitos de polipropileno reciclado reforçados com 30% de resíduos de tecido de algodão. Essa diferença pode estar relacionada ao tipo de matriz empregada, neste caso, o polipropileno no estudo citado, enquanto na presente pesquisa utilizou-se uma matriz poliéster. Adicionalmente, Baccouch et al. (2020) observaram que compósitos reforçados com resíduos não tecidos de algodão e poliéster apresentaram maior absorção de umidade em comparação àqueles com apenas poliéster, embora não tenham quantificado em termos percentuais essa absorção. Isso reforça que a presença de fibras naturais celulósicas, como o algodão, mesmo em baixa proporção, é suficiente para intensificar significativamente a captação de água nos compósitos, especialmente quando combinadas com matrizes hidrofílicas como o poliéster insaturado. Não foi avaliado como ou quanto a porosidade do compósito produzido interfere na absorção de água.

Imediatamente após a conclusão do ensaio de absorção e a pesagem das amostras, foram realizados os ensaios mecânicos correspondentes. A média dos resultados obtidos nesses ensaios está apresentada na Figura 35, enquanto os dados individuais estão organizados no Apêndice C.

Figura 35 – Valor médio e desvio padrão da resistência à tração antes e após absorção de água

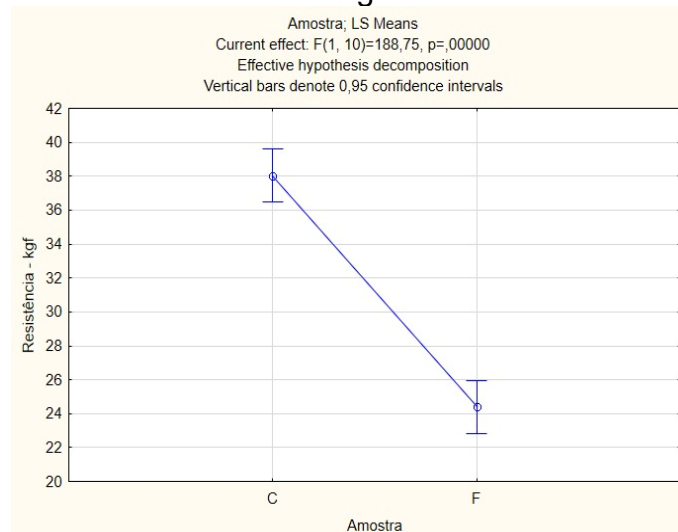


Fonte: O autor (2025).

A análise dos resultados apresentados no gráfico demonstra que a absorção de água exerceu um impacto significativo sobre a resistência mecânica do material. A amostra C (75 % poliéster e 25 % algodão) apresentou uma resistência média de 38,02 kgf, enquanto a amostra F (exposta à absorção de água) registrou uma média de apenas 24,39 kgf. Essa diferença representa uma redução de aproximadamente 36 %, evidenciando que a umidade compromete de forma expressiva as propriedades mecânicas do material. Esses resultados sugerem que a exposição à umidade pode limitar o desempenho mecânico do material em aplicações sujeitas a ambientes úmidos, sendo, portanto, um fator crítico a ser considerado no seu uso em condições reais. Isso ocorre devido à natureza hidrofílica das fibras naturais, que, ao absorverem umidade, causam falhas na interface entre a matriz e a carga. Estudos recentes reportam reduções de até 28,9 % na resistência à tração após exposição à água, o que confirma a tendência observada neste trabalho (Mohammed et al., 2023; Haque et al., 2023; Sanjeevi et al., 2021).

Com base no teste de Tukey, realizado a partir da ANOVA, foi possível afirmar, com 95 % de confiança, que há diferença estatisticamente significativa entre os resultados das amostras antes e após a absorção de água. Essa diferença também é evidenciada graficamente na Figura 36, que apresenta os dados referentes à resistência à tração antes e após o processo de absorção de água.

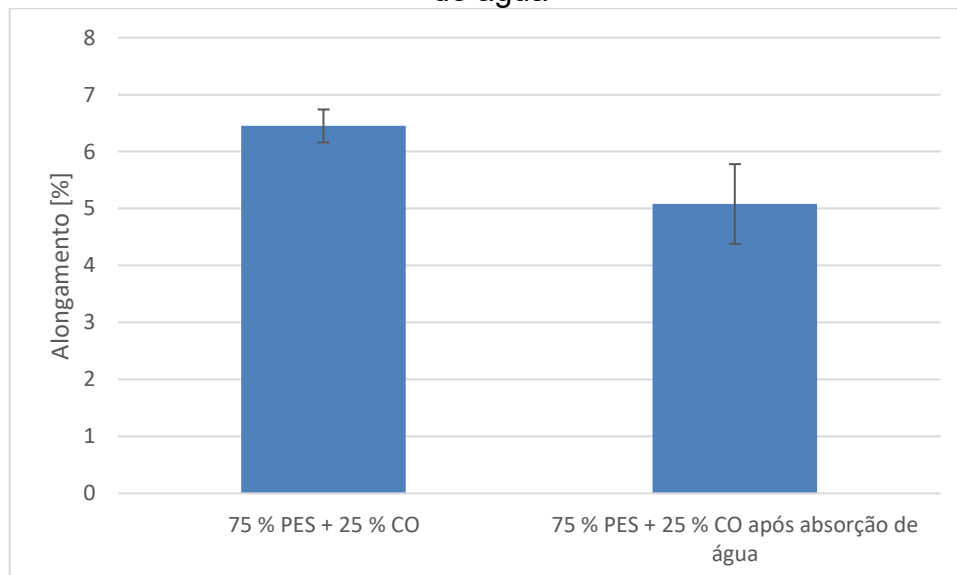
Figura 36 – Análise estatística ANOVA: resistência à tração antes e após absorção de água



Fonte: O autor (2025).

A Figura 37 apresente os resultados médios do alongamento das amostras ensaiadas antes e após o processo de absorção de água.

Figura 37 – Valor médio e desvio padrão do alongamento antes e após a absorção de água



Fonte: O autor (2025).

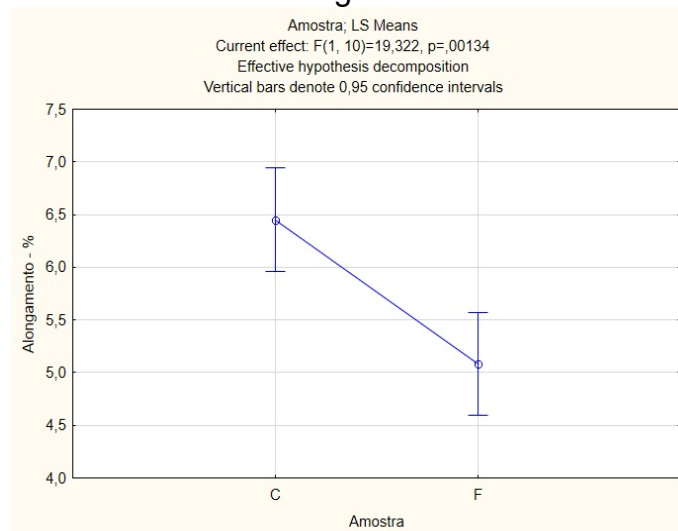
Também observa-se uma redução no alongamento das amostras até o ponto de ruptura. Esse resultado indica que a absorção de umidade compromete não apenas a resistência, mas também a ductilidade do material, fazendo com que ele se rompa com menor deformação. A diminuição na capacidade de alongamento reforça

a hipótese de que a presença de água afeta negativamente a estrutura interna do material, tornando-o mais frágil e menos capaz de suportar deformações.

Além da resistência, o alongamento do material também foi afetado pela umidade. O inchaço das fibras de algodão e a perda de aderência com a matriz provocam fratura precoce, reduzindo a capacidade de deformação do compósito. Esses efeitos foram também observados por Mohammed et al. (2023) e Sanjeevi et al. (2021), que associam a redução do alongamento à fragilização do material em ambientes úmidos.

A análise dos dados de alongamento, realizada por meio do teste de Tukey com nível de confiança de 95%, indicou que os resultados também apresentam diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. Essa variação é corroborada pela representação gráfica apresentada na Figura 38.

Figura 38 – Análise Estatística ANOVA: alongamento antes e após absorção de água



Fonte: O autor (2025).

As análises estatísticas realizadas permitiram confirmar a existência de diferenças significativas entre os resultados obtidos das amostras antes e após a absorção de água. Os dados demonstram que essas variações não são aleatórias, mas sim indicativas de alterações reais no comportamento do material.

De forma integrada, os dados indicaram que a exposição à umidade reduz tanto a resistência mecânica quanto a ductilidade do compósito, portanto, a literatura recomenda o uso de tratamentos superficiais hidrofóbicos ou barreiras protetoras como estratégias para mitigar esse efeito (Mohammed et al., 2023). Essas medidas

são fundamentais para garantir a durabilidade e o desempenho do material em aplicações práticas.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo produzir compósitos por meio de compressão a quente, usando como matriz resíduos industriais de poliéster e como carga pó de navalhagem de algodão. Avaliou-se o impacto das proporções dessas misturas nas propriedades de resistência mecânica, absorção de água e degradação por radiação ultravioleta. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade técnica da proposta, com evidências claras de que a incorporação de até 25 % de algodão melhora a resistência à tração sem comprometer significativamente a estabilidade dimensional do material.

A adição de carga de algodão promoveu um aumento na rigidez do compósito, conforme esperado para materiais lignocelulósicos, ao passo que reduziu o alongamento até a ruptura, reduzindo sua deformação. A proporção de 75 % poliéster e 25 % algodão apresentou os melhores resultados em termos de equilíbrio entre resistência mecânica, repetibilidade dos dados e comportamento morfológico, sendo indicada como formulação mais promissora entre as testadas.

Por outro lado, a exposição à radiação UV e a absorção de água reduziram significativamente a resistência mecânica e o alongamento dos compósitos, além de aumentar a variabilidade dos resultados obtidos. Esses efeitos estão associados à degradação da matriz polimérica e à fragilização da interface entre as fibras e a matriz, evidenciando a necessidade de estratégias adicionais de proteção quando se objetiva o uso do material em ambientes externos ou úmidos.

Conclui-se que reaproveitar estes resíduos industriais têxteis na produção de compósitos é alternativa viável e sustentável, com potencial para fortalecer a economia circular e reduzir o impacto ambiental da indústria têxtil. A ausência de aditivos químicos ou ligantes sintéticos no processo reforça ainda mais o caráter ecológico da solução proposta.

Recomenda-se que futuros estudos avaliem a durabilidade a longo prazo dos compósitos desenvolvidos, bem como explorem o uso de tratamentos de superfície nas fibras para aprimorar a adesão interfacial, ou a incorporação de aditivos durante a formação do material, com o objetivo de aumentar sua resistência mecânica quando objetiva-se a exposição as intempéries.

6 REFERÊNCIAS

- ABIT. **Perfil do Setor**. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 06 nov. 2023.
- AILENEI, E. C. et al. New Waste-Based Composite Material for Construction Applications. **Materials**, v. 14, n. 20, p. 6079, 1 jan. 2021.
- AKONDA, M. et al. A novel non-crimped thermoplastic fabric prepreg from waste carbon and polyester fibres. **Journal of Composite Materials**, v. 48, n. 7, p. 843–851, 21 mar. 2013.
- AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. AATCC 20: Fiber analysis: qualitative. 2021.
- AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. AATCC 20A: Fiber analysis: quantitative. 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D570:2022 – Standard test method for water absorption of plastics. West Conshohocken, 2022.
- ANDRADY, A. L. et al. Effects of UV radiation on natural and synthetic materials. **Photochemical and Photobiological Sciences**, v. 22, 11 abr. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14535:2008 – Móveis de madeira – Requisitos e ensaio para superfícies pintadas. Rio de Janeiro, 2008.
- BACCOUCH, W. et al. Investigation of the mechanical, thermal, and acoustical behaviors of cotton, polyester, and cotton/polyester nonwoven wastes reinforced epoxy composites. **Journal of Industrial Textiles**, p. 152808372090186, 23 jan. 2020.
- BELLAN, L. M.; CRAIGHEAD, H. G. Molecular orientation in individual electrospun nanofibers measured via polarized Raman spectroscopy. **Polymer**, v. 49, n. 13-14, p. 3125–3129, 16 maio 2008.
- BUKVIĆ, M. et al. Production Technologies and Application of Polymer Composites in Engineering: A Review. **Polymers**, v. 17, n. 16, p. 2187, 2025.
- DINIȚĂ, A. et al. Advancements in Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Comprehensive Analysis. **Polymers**, v. 16, n. 1, p. 2, 1 jan. 2024.
- DISSANAYAKE, D. G. K. et al. An environmentally friendly sound insulation material from post-industrial textile waste and natural rubber. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p. 101606, jan. 2021.
- DUMONT, P., MARTOIA, F., and ORGÉAS, L. 11 - compression moulding, em **Design and manufacture of structural composites**, 273–300. 2023.

ECHEVERRIA, C. A. et al. Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1524–1536, jan. 2019.

EGBO, M. K. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, v. 33, n. 8, jul. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>>. Acesso em: 06 nov. 2023.

ENKING, J. et al. Recycling processes of polyester-containing textile waste—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 219, p. 108256, mar. 2025.

EYASU FEREDÉ et al. Production and Characterization of Recycled Polypropylene Composite Reinforced with Cotton Fabric Waste. **Journal of Engineering**, v. 2024, p. 1–13, 18 maio 2024.

HAQUE, M. S. et al. Impact of water absorption on tensile strength: A comparative study of jute fiber composites with various fiber content. **Malaysian Journal on Composites Science and Manufacturing**, v. 12, n. 1, p. 114–124, 2023.

HAMOUDA, T. et al. Evaluation of Mechanical and Physical Properties of Hybrid Composites from Food Packaging and Textiles Wastes. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 3, p. 489–497, 12 jan. 2019.

HOLE, Glenn; HOLE, Anastasia S. Recycling as the way to greener production: A mini review. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 910-915, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.080>. Acesso em: 06 nov. 2023.

IEMI. Brasil Têxtil 2023: Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira. São Paulo: IEMI, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3696:1987 – Water for analytical laboratory use – Specification and test methods. Geneva, 1987.

ISLAM, S.; BHAT, G. Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. **Journal of Environmental Management**, v. 251, p. 109536, dez. 2019.

ISLAM, S. et al. Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from post-consumer recycled denim fabrics. **Journal of Industrial Textiles**, p. 152808372094074, 6 jul. 2020.

Greene, J. P. 16 - compression molding, em **Automotive plastics and composites** (United States: Elsevier), 265–278. 2021.

JABBAR, Madeha; SHAKER, Khubab. Textile raw materials. **Physical Sciences Reviews**, v. 1, n. 7, 1 jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/psr-2016-0022>. Acesso em: 12 nov. 2023.

JGP ASSET MANAGEMENT. **Carta II: ESG na moda – Agosto 2021**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.jgp.com.br/wp-content/uploads/2023/07/jgp-carta-esg-moda-ago21pdf-202210211029.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2023.

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Mechanical properties and water absorption characteristics of composites reinforced with cotton fibres recovered from textile waste. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 15, p. 155892502090153, jan. 2020.

KAMBLE, Z. et al. Development and characterization of thermoset nanocomposites reinforced with cotton fibres recovered from textile waste. **Journal of Industrial Textiles**, p. 152808372091353, 23 abr. 2020.

KAMBLE, Z. et al. Influence of cellulosic and non-cellulosic particle fillers on mechanical, dynamic mechanical, and thermogravimetric properties of waste cotton fibre reinforced green composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 207, p. 108595, fev. 2021.

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications. **Construction and Building Materials**, v. 284, p. 122800, maio 2021.

KAMBLE, Z.; BEHERA, B. K. Mechanical and Thermogravimetric Properties of PP Based Thermoplastic Composites Reinforced with Cotton and Polyester Waste under Dry and Wet Conditions. **Journal of Natural Fibers**, p. 1–14, 28 nov. 2021.

KHAIRUL AKTER, M. MD. et al. Textile-apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: A conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh. **Cleaner Environmental Systems**, v. 4, p. 100070, mar. 2022.

Kutz, M. 19 - thermoforming, em **Applied plastics engineering handbook** (United States: Elsevier), 333–358. 2011.

LAHTELA, V.; KUMAR, A.; KÄRKI, T. The Impact of Textile Waste on the Features of High-Density Polyethylene (HDPE) Composites. **Urban Science**, v. 5, n. 3, p. 59, 12 ago. 2021.

MOHAMMED, M. et al. Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites. **Polymer testing**, v. 124, n. 108083, p. 108083, 2023.

MUTHURAJ, R. et al. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. **Industrial Crops and Products**, v. 135, p. 238–245, set. 2019.

NIINIMÄKI, Kirsi et al. The environmental price of fast fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 189-200, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>. Acesso em: 12 nov. 2023.

PEREIRA, M. et al. Thermogravimetry as a tool to evaluate the contribution of different fabric constituents to fibre release. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 149, n. 19, p. 10497–10509, 21 jun. 2024.

PETTOLINO, F. A. et al. Polysaccharide composition during cotton seed fibre development: temporal differences between species and in different seasons. **Journal of Cotton Research**, v. 5, n. 1, 30 nov. 2022.

PILLER, Lisa Westover. Designing for circularity: sustainable pathways for Australian fashion small to medium enterprises. **Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal**, 17 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/jfmm-09-2021-0220>. Acesso em: 18 nov. 2023.

PINHEIRO, Eliane et al. How to identify opportunities for improvement in the use of reverse logistics in clothing industries? A case study in a Brazilian cluster. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 612-619, fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.024>. Acesso em: 18 nov. 2023.

REN TOMISAWA et al. Tensile strength of polyester fiber estimated by molecular-chain extension prior to structure formation. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 20 jul. 2023.

RUBINO, C. et al. Wool waste used as sustainable nonwoven for building applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123905, jan. 2021.

SAKTHIVEL, S. et al. Development of nonwoven composites from recycled cotton/polyester apparel waste materials for sound absorbing and insulating properties. **Applied Acoustics**, v. 180, p. 108126, set. 2021.

SANJEEVI, S. et al. Effects of water absorption on the mechanical properties of hybrid natural fibre/phenol formaldehyde composites. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 13385, 2021.

SCHMUTZ, Mélanie; SOM, Claudia. Identifying the potential for circularity of industrial textile waste generated within Swiss companies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 182, p. 106132, jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106132>. Acesso em: 06 nov. 2023.

SHAIKH, T. N.; AGRAWAL, S. A. Qualitative and Quantitative Characterization of Textile Material by Fourier Transform Infra-Red A Brief Review. v. 3297, n. 3 1, p. 8496–8502, 1 fev. 2007.

Spasojevic, P. 15.10.2.3 Vacuum infusion processing, in **Unsaturated polyester resins** (Elsevier), 367–406. 2019.

TANG, D. State of the Art in Textile Waste Management: A Review. **Textiles**, v. 3, n. 4, p. 454–467, 18 dez. 2023.

TEMEL, E.; BOZDOĞAN, F.; MİZMİZOĞLU, Z. D. STRUCTURAL INVESTIGATION OF UV AGED TENT FABRICS. **Tekstil ve Konfeksiyon**, v. 29, n. 3, p. 246–252, 30 set. 2019.

TEXTILE EXCHANGE. **Materials Market Report 2024 - Textile Exchange**. Disponível em: <<https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2024/>>.

TODOR, M.-P.; KISS, I.; CIOATA, V. G. Development of fabric-reinforced polymer matrix composites using bio-based components from post-consumer textile waste. **Materials Today: Proceedings**, jan. 2021.

TUBIO, C. R. et al. Fiber-Reinforced Polyester Composites with Photoluminescence Sensing Capabilities for UV Degradation Monitoring. **Polymers**, v. 14, n. 17, p. 3666–3666, 3 set. 2022.

VASYLIUS, M. et al. Degradation of Mechanical Properties of A-PET Films after UV Aging. **Polymers**, v. 15, n. 20, p. 4166, 1 jan. 2023.

WANG, S.; SALMON, S. Progress toward Circularity of Polyester and Cotton Textiles. **Sustainable Chemistry**, v. 3, n. 3, p. 376–403, 5 set. 2022.

WANG, Y. et al. Research on Sustainable Furniture Design Based on Waste Textiles Recycling. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3601, 15 fev. 2023.

WIENER, J. et al. Effect of UV Irradiation on Mechanical and Morphological Properties of Natural and Synthetic Fabric Before and After Nano-TiO₂ Padding. **Autex Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 370–378, 20 dez. 2017.

YE, S. et al. Supercritical CO₂ Assisted TiO₂ Preparation to Improve the UV Resistance Properties of Cotton Fiber. **Polymers**, v. 14, n. 24, p. 5513–5513, 16 dez. 2022.

YOUNIS, A. A. Optimization of mechanical, thermal, and ignition properties of polyester fabric using urea and phosphoric acid. **Journal of Industrial Textiles**, v. 49, n. 6, p. 791–808, 7 set. 2018.

APÊNDICE A – Resultados individuais dos ensaios de tração

Amostra	Número	Resistência	Alongamento	Resistência média	Alongamento médio
		[kgf]	[%]	[kgf]	[%]
A	48	31,49	12,46		
A	49	31,91	11,54		
A	53	30,83	11,56	30,94 ± 1,61	11,10 ± 1,62
A	54	29,79	11,58		
A	55	28,52	11,59		
A	106	33,07	7,88		
B	70	39,87	5,91		
B	71	41,61	6,80		
B	72	40,00	6,60	38,48 ± 2,64	6,30 ± 0,43
B	73	38,58	6,26		
B	74	36,35	5,68		
B	114	34,45	6,54		
C	76	37,67	6,81		
C	80	39,25	6,63		
C	81	38,94	6,16	38,02 ± 1,99	6,45 ± 0,29
C	82	34,77	6,53		
C	115	37,06	6,04		
C	116	40,45	6,53		
D	87	32,23	5,73		
D	89	31,74	5,63		
D	90	35,84	6,60	31,96 ± 2,43	6,02 ± 0,64
D	93	31,99	7,03		
D	118	31,77	5,61		
D	119	28,18	5,50		

**APÊNDICE B – Resultados individuais dos ensaios de tração após
envelhecimento UV**

Teste	Amostra	Resistência [kgf]	Alongamento [%]	Resistência Média [kgf]	Alongamento Médio [%]
E	121	26,31	6,33		
E	122	26,13	5,85		
E	125	27,06	4,62		
E	126	28,71	5,12	27,70 ± 1,43	5,64 ± 0,80
E	130	29,70	6,71		
E	133	28,30	5,20		

APÊNDICE C – Resultados individuais dos ensaios de tração após absorção de água

Teste	Amostra	Resistência [kgf]	Alongamento [%]	Resistência Média [kgf]	Alongamento Médio [%]
F	134	25,77	5,51		
F	137	24,57	4,53		
F	138	22,47	4,10		
F	143	26,00	6,07	24,39 ± 1,39	5,08 ± 0,70
F	144	24,36	5,29		
F	146	23,19	4,99		

APÊNDICE D – Resultados individuais da absorção de água

Amostra	Peso Inicial [g]	Peso Final [g]	Absorção de Água [%]	Absorção de Água Médio [%]
134	4,97	6,40	28,77%	
137	4,89	6,10	24,74%	
138	4,94	6,43	30,16%	
143	4,93	6,37	29,21%	28,03% ± 2,03
144	4,95	6,38	28,89%	
146	4,92	6,22	26,42%	