XXVI engema

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2024

ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL COM FOCO EM ALGODÃO: UMA ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS FOCADAS EM ALGODÃO NA ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL

SOPHIA LIMA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

SAMUEL VINÍCIUS BONATO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

CATHERINE SANTOS SALOMÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

Resumo
A economia circular (EC) tem se destacado como uma estratégia importante para reduzir impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. A EC é definida como um sistema regenerativo que minimiza o uso de recursos e energia, além de reduzir o desperdício ao desacelerar, fechar e estreitar os ciclos de materiais. Esse modelo contrasta com o sistema linear tradicional de "extrair-fazer-desperdiçar", oferecendo uma alternativa mais eficiente. No setor têxtil, especialmente na produção de algodão, a EC é essencial devido aos grandes impactos ambientais. A produção global de algodão, cerca de 25 milhões de toneladas por ano, exige muitos recursos e gera poluição. O modelo linear predominante no setor utiliza matérias-primas virgens e descarta resíduos em aterros, agravando a poluição. A reciclagem de resíduos de algodão tem sido explorada como uma solução sustentável. A fabricação de tecidos com barreira térmica a partir de fibras recicladas é amplamente discutida como um processo que transforma resíduos em materiais de alta qualidade, preservando recursos naturais e diminuindo impactos ambientais. Além disso, a reutilização de fibras recuperadas para reforçar aerogéis de sílica, demonstra o potencial da EC em melhorar o desempenho de materiais em isolamento térmico e acústico. Além disso, há um grande potencial dos subprodutos do algodão contribuírem com a EC, oferecendo oportunidades para substituir matérias-primas virgens por resíduos industriais. Diante disso, através da síntese de diferentes estudos e estratégias, este artigo busca apresentar uma visão abrangente das práticas e tecnologias mais eficazes dentro do conceito da EC, que podem ser implementadas para minimizar os danos ambientais e otimizar o uso dos recursos naturais no setor têxtil.

Palavras Chave
Economia Circular, Têxtil, Algodão

Agradecimento a orgão de fomento
Agradecemos à FAPERGS (A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) pelo fomento, apoio financeiro e a oportunidade da realização desta pesquisa.

ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL COM FOCO EM ALGODÃO: UMA ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS FOCADAS EM ALGODÃO NA ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL

1 INTRODUÇÃO

A economia circular (EC) tem se destacado como uma estratégia importante para reduzir impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. Geissdoerfer et al. (2017) definem a EC como um sistema regenerativo que minimiza o uso de recursos e energia, além de reduzir o desperdício ao desacelerar, fechar e estreitar os ciclos de materiais. Esse modelo contrasta com o sistema linear tradicional de "extrair-fazer-desperdiçar", oferecendo uma alternativa mais eficiente (Palakshappa, Venkateswar e Ganesh, 2023).

No setor têxtil, especialmente na produção de algodão, a EC é essencial devido aos grandes impactos ambientais. A produção global de algodão, cerca de 25 milhões de toneladas por ano, exige muitos recursos e gera poluição (Aronsson e Persson, 2020). O modelo linear predominante no setor utiliza matérias-primas virgens e descarta resíduos em aterros, agravando a poluição (Mölsä et al., 2022).

A reciclagem de resíduos de algodão tem sido explorada como uma solução sustentável. Bhuiyan et al. (2023) discutem a fabricação de tecidos com barreira térmica a partir de fibras recicladas, um processo que transforma resíduos em materiais de alta qualidade, preservando recursos naturais e diminuindo impactos ambientais. Além disso, a reutilização de fibras recuperadas para reforçar aerogéis de sílica, conforme descrito por Linhares et al. (2023), demonstra o potencial da EC em melhorar o desempenho de materiais em isolamento térmico e acústico. Além disso, Serra et al. (2021) ressaltam o potencial dos subprodutos do algodão para contribuir com uma EC, oferecendo oportunidades para substituir matérias-primas virgens por resíduos industriais.

Através da síntese de diferentes estudos e estratégias, este artigo busca apresentar uma visão abrangente das práticas e tecnologias mais eficazes dentro do conceito da EC, que podem ser implementadas para minimizar os danos ambientais e otimizar o uso dos recursos naturais no setor têxtil. Utiliza-se no artigo, três perguntas de pesquisa como base, sendo elas:

1. Quais são as principais estratégias de EC aplicadas referente ao algodão no setor têxtil?
2. Como as diferentes alternativas da EC têxtil com foco em algodão contribuem para a redução da poluição e promoção da sustentabilidade ambiental?
3. Quais são os desafios/lacunas que requerem mais estudos a fim de viabilizar de fato as alternativas?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REUTILIZAÇÃO

No que se refere à reutilização de resíduos têxteis, Mölsä et al. (2022) investiga a reutilização de resíduos têxteis, especificamente os rolos de toalhas de algodão, comparando os impactos ambientais de um ciclo de vida linear com um ciclo de economia circular (EC). O objetivo principal do estudo foi avaliar como a reutilização e a reciclagem desses itens influenciam as mudanças climáticas e o consumo de água. Os resultados mostram que a reutilização de toalhas, que pode ocorrer até 100 ciclos de lavagem e prolongar sua vida útil para até 10.500 usos, oferece uma redução significativa nos impactos ambientais, com uma diminuição de 24% nas alterações climáticas e 47% no consumo de água.

Em contraste, a reciclagem apresenta impactos mais variáveis, com reduções entre -8% e +9% nas alterações climáticas e de -66% a +1% no consumo de água, dependendo da tecnologia e do tipo de produto substituído (Mölsä et al., 2022). A pesquisa destaca que,

enquanto a reutilização é a estratégia mais eficaz para mitigar os impactos ambientais dos ciclos lineares, a reciclagem, embora ainda benéfica, apresenta resultados menos previsíveis e mais dependentes das condições específicas de implementação (Mölsä et al.,2022).

2.2 RECICLAGEM

A reciclagem têxtil é abordada por vários estudos que exploram diferentes métodos e suas implicações para a sustentabilidade na indústria, visto que, sublinham a diversidade de abordagens e a importância de soluções inovadoras na reciclagem têxtil, cada uma contribuindo para uma maior sustentabilidade no setor. O estudo de Bhuiyan et al. (2023) por exemplo, investigou a transformação de resíduos de algodão em tecidos com propriedades avançadas, como resistência térmica e conforto, promovendo a economia circular ao reduzir a dependência de recursos virgens. Já Hussain et al. (2023) analisaram compósitos de polipropileno com fibras de algodão pós-consumo, destacando a adequação dos compósitos para aplicações estruturais e ambientais, com variações de desempenho baseadas na carga de fibra.

Ademais, Wesley et al. (2023) focaram na eficiência energética da produção de fibras de carbono a partir de têxteis, demonstrando que a produção de fibras de carbono de alta qualidade requer altas temperaturas, mas com benefícios significativos para a redução de resíduos e o consumo energético. Outrossim, Bonifazi et al. (2022) aplicaram espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para melhorar a triagem de fibras têxteis, conseguindo uma precisão elevada na identificação de tecidos e destacando a tecnologia como uma ferramenta valiosa para a reciclagem eficiente.

De Oliveira Neto et al. (2023) investigaram a trituração mecânica da celulose de algodão, revelando benefícios econômicos e ambientais significativos, com uma redução notável dos impactos ambientais. Por outro lado, Plesu Popescu et al. (2021), propõem a Pegada de Exergia para avaliar a sustentabilidade dos processos de reciclagem química, mostrando uma redução substancial nas emissões de gases de efeito estufa e impactos ambientais. Já o projeto TEX2MAT, descrito por Piribauer et al. (2020), desenvolveu um processo inovador de reciclagem para misturas de algodão e poliéster, utilizando hidrólise enzimática para separar os componentes e reciclar o poliéster.

Por fim, o estudo de Aronsson e Persson (2019) examinou o impacto da trituração de resíduos de algodão no comprimento das fibras, revelando que a trituração suave é crucial para manter a qualidade das fibras recicladas. Em contrapartida Haslinger et al. (2019) propôs um método para transformar resíduos mistos de algodão e poliéster em novas fibras de celulose, com desafios na recuperação do PET, mas mostrando um potencial significativo para a produção de fibras têxteis sustentáveis.

2.3 UPCYCLING

Com a crescente necessidade de desenvolver materiais sustentáveis e eficientes, a pesquisa sobre aerogéis de sílica reforçados com fibras têxteis recuperadas se destaca como uma abordagem promissora. Diante disso, a pesquisa de Linhares et al. (2023) investigou o aprimoramento de aerogéis de sílica com fibras têxteis recuperadas, visando melhorar suas propriedades de isolamento térmico e acústico e promover práticas sustentáveis. O estudo avaliou a eficácia de diferentes fibras de algodão, poliéster e lã em aerogéis de sílica, com o objetivo de superar a fragilidade inerente dos aerogéis devido à sua alta porosidade.

Os resultados mostraram que os compósitos com fibras de algodão ofereceram excelente absorção sonora, com coeficientes de até 0,86; as fibras de poliéster demonstraram a melhor condutividade térmica; e os compósitos com lã equilibraram eficientemente as propriedades térmicas e acústicas. A pesquisa sublinhou a contribuição das fibras têxteis

recicladas para a sustentabilidade ao reduzir a fragilidade dos aerogéis e promover a economia circular (EC).

Por sua vez, o estudo de Mohl et al. (2022) abordou o desenvolvimento de produtos semiacabados ecológicos utilizando fibras recicladas de algodão e linho combinadas com ácido polilático (PLA) como matriz termoplástica. O objetivo foi criar compósitos de base biológica que sejam ao mesmo tempo ecologicamente corretos e econômicos e como resultados, a pesquisa observou que a combinação de fibras recicladas com termoplásticos de base biológica é uma abordagem promissora para a reciclagem de resíduos têxteis, permitindo a criação de materiais sustentáveis e eficazes (Mohl et al., 2022).

2.4 REDESIGN E INOVAÇÃO DE PRODUTOS

Com o crescente interesse em soluções sustentáveis e a necessidade de reaproveitar materiais, o estudo de compósitos têxteis tem se tornado um campo de pesquisa importante. Diante disso, o estudo de Hussain et al. (2023) analisou a usabilidade e as propriedades mecânicas dos compósitos de polipropileno reforçados com fibras de algodão pós-consumo (PP-PCCF) para aplicações industriais. O objetivo foi avaliar como diferentes cargas de fibra (0 a 40%) afetam o desempenho mecânico dos compósitos em testes de tração, compressão e impacto.

Os resultados revelaram que compósitos com 10% de PCCF apresentaram boas propriedades de tração, enquanto compósitos com 30% e 40% de PCCF foram adequados para aplicações ambientais devido a sua resistência melhorada. A pesquisa destacou a influência da carga de fibra na microestrutura e nas propriedades mecânicas, sugerindo que os compósitos PP-PCCF têm potencial para uso em setores estruturais e ambientais.

Já o trabalho de Serra et al. (2021) investigou a viabilidade de utilizar resíduos têxteis tingidos de algodão na fabricação de compósitos à base de polipropileno, com foco no módulo de flexão. Os resultados mostraram um aumento significativo no módulo de flexão (até 272%) com a adição de até 50% de fibras de algodão, e o MAPP melhorou a adesão e a capacidade de deformação dos compósitos. Diante disso, a pesquisa sugeriu que os compósitos de polipropileno com fibras de algodão são competitivos em termos econômicos e técnicos, mas indicou que tingimentos podem afetar complexamente as propriedades dos materiais.

Por fim, a pesquisa de Levänen et al. (2021) comparou o potencial de aquecimento global (GWP) de cinco cenários de gestão de um par de jeans: uso básico com descarte, uso prolongado, revenda, reciclagem industrial e serviço de aluguel. Utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), os resultados demonstraram que os cenários de uso prolongado (REDUCE) e revenda (REUSE) apresentaram os menores impactos de GWP.

2.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A integração de práticas sustentáveis e circulares em modelos de negócios tem o potencial de enfrentar questões complexas, como a degradação ambiental e a pobreza. No setor agrícola, especialmente na produção de algodão, a transição para modelos de economia circular (EC) pode oferecer soluções inovadoras que beneficiem tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais. Diante disso, artigo de Palakshappa, Venkateswar e Ganesh, (2023) explorou a implementação de práticas sustentáveis na agricultura do algodão através da iniciativa Appachi Eco-Logic, localizada no sul da Índia.

O objetivo foi demonstrar como modelos de economia circular (EC) podem enfrentar simultaneamente a degradação ambiental e a pobreza nas comunidades rurais. A Appachi Eco-Logic adotou cinco estratégias-chave: educação e treinamento em agricultura orgânica, contratos agrícolas para garantir preços justos, diversificação de culturas para segurança

alimentar, eliminação de intermediários para melhorar a margem de lucro dos agricultores, e regeneração ambiental para promover a biodiversidade. O estudo concluiu que essas práticas ajudam a estabelecer um modelo sustentável que integra aspectos sociais, econômicos e ambientais, mas também enfrentam desafios significativos, como a escala e a necessidade de maior regeneração e redistribuição dos benefícios.

Em contraste, o estudo de Zandberga, Kalnins e Gusca (2023) desenvolveu um algoritmo de decisão multicritério para avaliar produtos recuperados de resíduos têxteis, utilizando técnicas de Análise Hierárquica de Processos (AHP) e TOPSIS. A pesquisa identificou que glicose e ácido tereftálico possuem o maior potencial de valorização, enquanto etanol e combustíveis derivados de resíduos têm menor potencial. Além disso, o estudo destacou a importância de critérios como o valor acrescentado do produto e a abordagem da EC na tecnologia, sugerindo futuras análises das necessidades energéticas e impactos ambientais dos processos de recuperação.

Por fim, Alves et al. (2022) revisaram a rastreabilidade na cadeia de valor têxtil, enfatizando a importância da tecnologia blockchain e da Internet das Coisas (IoT) para promover a EC. A pesquisa concluiu que a blockchain proporciona uma solução robusta para transparência na cadeia de suprimentos, enquanto a IoT facilita o rastreamento e a identificação dos itens, apoiando a sustentabilidade. Assim, o estudo revela como essas tecnologias emergentes são cruciais para avançar a EC na indústria têxtil.

2.6 EDUCAÇÃO E ENGAJAMENTO DO CONSUMIDOR

No que se refere à educação e engajamento do consumidor na EC têxtil, Cruz e Cruz (2023) apresentam estratégias digitais que envolvem o consumidor de forma direta e indireta nas práticas de EC têxtil. A pesquisa visou identificar e analisar abordagens digitais que incentivem práticas sustentáveis, considerando o consumidor final como um agente crucial para a mudança. Entre as estratégias analisadas, os aplicativos com elementos de gamificação se destacam por integrar aspectos lúdicos, como pontuações e recompensas, para tornar o aprendizado sobre práticas sustentáveis mais envolvente e eficaz (Cruz e Cruz, 2023).

Além disso, os sistemas de recomendação oferecem uma solução personalizada e acessível para ajudar os consumidores a tomarem decisões mais informadas e ecológicas (Cruz e Cruz, 2023); Ademais, o marketing social e sustentável promove campanhas que visam transformar comportamentos em benefício do meio ambiente e da sociedade (Cruz e Cruz, 2023); E os aplicativos não gamificados, facilitam a troca, aluguel e customização de roupas, contribuindo para uma economia colaborativa e a extensão da vida útil dos produtos têxteis (Cruz e Cruz, 2023).

Por fim, a pesquisa concluiu que tanto os aplicativos gamificados quanto os não gamificados são eficazes em promover práticas de consumo sustentável, destacando a importância das soluções digitais para a educação e engajamento dos consumidores na EC (Cruz e Cruz, 2023). A análise também ressalta que, em contextos de consumo elevado e geração de resíduos, essas abordagens digitais são fundamentais para fomentar uma maior adoção de práticas sustentáveis no setor têxtil.

3 CONCLUSÃO

A implementação da economia circular (EC) no setor têxtil, com foco no algodão, é essencial para promover a sustentabilidade e reduzir os impactos ambientais dessa indústria. A revisão sistemática identificou várias abordagens e tecnologias inovadoras, como a reciclagem de resíduos de algodão e a reutilização de fibras têxteis, que diminuem a necessidade de recursos virgens e a poluição ambiental. Essas estratégias, além de conservar recursos naturais, permitem a criação de produtos de maior valor e funcionalidade. Também é importante incluir

outros tecidos poluentes, como o poliéster, para uma abordagem mais completa (Aronsson e Persson, 2019; Haslinger et al., 2019).

A gamificação e outras ferramentas digitais são eficazes para engajar consumidores na economia colaborativa e no comércio de roupas usadas, ajudando a prolongar a vida útil dos produtos e a reduzir os resíduos (Cruz e Cruz, 2023). No entanto, desafios permanecem, como a melhoria dos processos de reciclagem e a viabilidade econômica em larga escala, além da necessidade de análise de ciclo de vida e educação dos consumidores (Piribauer et al., 2020; Plesu Popescu et al., 2021; Levänen et al., 2021).

A transição para a EC no setor têxtil, especialmente no algodão, é promissora, e a combinação de inovação tecnológica, engajamento digital e políticas públicas pode criar um ciclo de produção mais sustentável, beneficiando o meio ambiente e a sociedade (Bhuyan et al., 2023; Linhares et al., 2023).

Como implicações práticas, a implementação das estratégias discutidas no presente estudo pode acarretar na redução do impacto ambiental da produção de algodão: a diminuição no consumo de recursos naturais; e na promoção de uma indústria mais sustentável. Teoricamente, a pesquisa propõe contribui para a teoria da EC ao oferecer novos paradigmas que desafiam os modelos econômicos lineares tradicionais; além de proporcionar fundamentos teóricos para o desenvolvimento de modelos de avaliação de ciclo de vida mais sofisticados, que considerem não apenas os impactos ambientais da produção de algodão, mas também os benefícios sociais e econômicos da implementação da EC.

Ademais, socialmente, a indústria têxtil, ao fortalecer a responsabilidade social das suas empresas, pode melhorar sua imagem corporativa e a aceitação pelos consumidores, impulsionando o mercado para produtos têxteis sustentáveis; além de preservar o meio ambiente.

Como sugestões para estudos futuros, é interessante desenvolver modelos de classificação para uma maior variedade de resíduos têxteis, tanto puros quanto misturados (Bonifazi et al., 2022); explorar outros processos de reciclagem de fibras têxteis e investigar seus impactos ambientais e a circularidade (De Oliveira Neto et al., 2022); além de realizar pesquisas para entender melhor como diferentes composições de resíduos têxteis afetam os processos de recuperação pode otimizar a eficiência das tecnologias (Zandberga, Kalnins, e Gusca, 2023).

REFERÊNCIAS

ALVES, Luís et al. Towards circular economy in the textiles and clothing value chain through blockchain technology and IoT: A review. Waste Management & Research, v. 40, n. 1, p. 3-23, 2022.

ARONSSON, Julia; PERSSON, Anders. Tearing of post-consumer cotton T-shirts and jeans of varying degree of wear. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, v. 15, p. 1558925020901322, 2020.

BHUIYAN, MA Rahman et al. Recycling of cotton apparel waste and its utilization as a thermal insulation layer in high performance clothing. **Fashion and Textiles**, v. 10, n. 1, p. 22, 2023.

BONIFAZI, Giuseppe et al. End-of-life textile recognition in a circular economy perspective: a methodological approach based on near infrared spectroscopy. Sustainability, v. 14, n. 16, p. 10249, 2022.

CRUZ, Estrela Ferreira; DA CRUZ, AM Rosado. Digital solutions for engaging end-consumers in the circular economy of the textile and clothing value chain-A systematic review. Cleaner and Responsible Consumption, p. 100138, 2023.

DE OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso et al. Assessment of the Eco-Efficiency of the Circular Economy in the Recovery of Cellulose from the Shredding of Textile Waste. Polymers, v. 14, n. 7, p. 1317, 2022.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

HASLINGER, Simone et al. Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers. Waste Management, v. 97, p. 88-96, 2019.

HUSSAIN, Abrar et al. Experimental mechanics analysis of recycled polypropylene-cotton composites for commercial applications. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, v. 6, n. 3, p. 226-238, 2023.

LEVÄNEN, Jarkko et al. Innovative recycling or extended use? Comparing the global warming potential of different ownership and end-of-life scenarios for textiles. Environmental Research Letters, v. 16, n. 5, p. 054069, 2021.

LINHARES, Teresa et al. A Comparative Thermoacoustic Insulation Study of Silica Aerogels Reinforced with Reclaimed Textile Fibres: Cotton, Polyester and Wool. Gels, v. 9, n. 7, p. 548, 2023.

MOHL, Claudia et al. Development of natural fibre-reinforced semi-finished products with bio-based matrix for eco-friendly composites. Polymers, v. 14, n. 4, p. 698, 2022.

MÖLSÄ, Kiia M. et al. Linear, reuse or recycling? An environmental comparison of different life cycle options for cotton roller towels. **Journal of Cleaner Production**, v. 374, p. 133976, 2022.

PALAKSHAPPA, Nitha; VENKATESWAR, Sita; GANESH, Shiv. Broadening the circle: creativity, regeneration and redistribution in value loops. Social Responsibility Journal, v. 19, n. 10, p. 1870-1884, 2023.

PIRIBAUER, Benjamin et al. Tex2mat–Next level textile recycling with biocatalysts. Detritus, v. 13, p. 78-86, 2020.

PLESU POPESCU, Alexandra et al. Exergy footprint assessment of cotton textile recycling to polyethylene. Energies, v. 15, n. 1, p. 205, 2021.

SERRA, Albert et al. Exploring the potential of cotton industry byproducts in the plastic composite sector: Macro and micromechanics study of the flexural modulus. Materials, v. 14, n. 17, p. 4787, 2021.

WESLEY, Charlotte et al. An investigation into the minimum energy requirements for transforming end-of-life cotton textiles into carbon fibre in an Australian context. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 17, p. 200123, 2023.

ZANDBERGA, Anda; KALNINS, Silvija Nora; GUSCA, Julija. Decision-making algorithm for waste recovery options. Review on textile waste derived products. Environmental and Climate Technologies, v. 27, n. 1, p. 137-149, 2023.