

Alternativas de reutilização de resíduos têxteis

Alternatives of reusing textile waste

Alternativas para la reutilización de residuos textiles

Recebido: 26/11/2020 | Revisado: 03/12/2020 | Aceito: 06/12/2020 | Publicado: 10/12/2020

Ademir José Velicko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0544-5506>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: 188053@upf.br

Rafael Luis Amrginski

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0423-0981>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: 188055@upf.br

Marcelo Hemkemeier

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6541-4827>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: marceloh@upf.br

Resumo

Os produtos têxteis são indispensáveis no cotidiano, estando presentes em diversos formatos e características. No entanto, a indústria têxtil é o segundo maior poluente do mundo devido as poucas técnicas de reutilização e reciclagem que acarretam grandes impactos ambientais. Dados mostram que a reciclagem dos resíduos têxteis não chega a 25% do que é gerado, assim, produzindo cerca de 1,2 bilhões de toneladas de emissões de gases de efeito estufa por ano. A reciclagem dos resíduos têxteis é considerada de grande necessidade e viabilidade na concretização do conceito de economia circular, porém é desafiadora, especialmente porque estes resíduos geralmente são misturados com outras fibras. Neste sentido, o presente trabalho apresenta o conceito de economia circular relacionado a indústria têxtil e as formas de reciclagem de tecidos, visando a redução dos impactos ambientais. A economia circular, apresenta um modelo capaz de desvincular o crescimento econômico da geração de resíduos, transformando-os em novos produtos e materiais com a máxima eficiência objetivando chegar a um modelo econômico com desperdício zero, imprescindível para alcançar um crescimento sustentável. A transição para uma economia circular deve começar com a prevenção de

resíduos e a minimização dos resíduos depositados em aterro e finalmente a implantação de processos de reciclagem. Os diferentes processos de reciclagens se apresentaram como promissores no sentido de contribuir de forma significativa com a economia circular. As principais tecnologias de reciclagem, de resíduos têxteis, compreendem o processo de moldagem por compressão a quente, o processo de reciclagem mecânica e o processo de reciclagem química.

Palavras-chave: Resíduos têxteis; Economia circular; Moldagem por compressão; Reciclagem mecânica; Reciclagem química.

Abstract

Textile products are indispensable in everyday life, being present in different formats and characteristics. However, the textile industry is the second largest pollutant in the world due to the few of reuse and recycling techniques that cause great environmental impacts. Data show the recycling of textile waste does not reach 25% of what is generated, thus producing about 1.2 billion tons of greenhouse gas per year. The textile waste recycling is considered to be of great need and viability in the curricular economy implementation, but it is challenging, especially since these wastes are usually mixed with other fibers. In this way, the present article presents the concept of circular economy related to the textile industry and the ways of recycling fabrics, aiming to reduce environmental impacts. The circular economy presents a model capable of decoupling economic growth from the waste production, transforming waste into new products and materials with maximum efficiency, aiming at reaching an economic model with zero waste, essential to achieve sustainable growth. The transition to a circular economy must begin with the waste prevention and the waste minimization waste deposited in landfills and finally the recycling process implementation. The different recycling processes were shown to be promising wards the significantly contribution to the circular economy. The main recycling technologies, for textile waste, include the hot compression molding process, the mechanical recycling process and the chemical recycling process.

Keywords: Textile waste; Circular economy; Compression molding; Mechanical recycling; Chemical recycling.

Resumen

Los productos textiles son indispensables en el día a día, estando presentes en diferentes formatos y características. Sin embargo, la industria textil es el segundo contaminante más grande del mundo debido a las pocas técnicas de reutilización y reciclaje que tienen grandes

impactos ambientales. Los datos muestran que el reciclaje de residuos textiles no llega al 25% de lo que se genera, produciendo así alrededor de 1.200 millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero al año. El reciclaje de residuos textiles se considera de gran necesidad y viabilidad en la implementación del concepto de economía circular, pero es un desafío, especialmente porque estos residuos suelen estar mezclados con otras fibras. En este sentido, el presente trabajo presenta el concepto de economía circular relacionado con la industria textil y las formas de reciclar tejidos, con el objetivo de reducir los impactos ambientales. La economía circular presenta un modelo capaz de desvincular el crecimiento económico de la generación de residuos, transformando los residuos en nuevos productos y materiales con la máxima eficiencia, con el objetivo de alcanzar un modelo económico con cero residuos, imprescindible para lograr un crecimiento sostenible. La transición a una economía circular debe comenzar con la prevención de residuos y la minimización de residuos depositados en vertederos y finalmente la implementación de procesos de reciclaje. Los diferentes procesos de reciclaje demostraron ser prometedores en el sentido de contribuir significativamente a la economía circular. Las principales tecnologías de reciclaje incluyen el proceso de moldeo por compresión en caliente, el proceso de reciclaje mecánico y el proceso de reciclaje químico para residuos textiles.

Palabras clave: Desechos textiles; Economía circular; Moldeo por compresión; Reciclaje mecánico; Reciclaje químico.

1. Introdução

A indústria têxtil é o segundo setor mais poluente do mundo, respondendo por 10% do total das emissões mundiais de carbono (Echeverria, Handoko, Pahlevani, & Sahajwalla, 2019). Além disso, os estudos recentemente mostraram que a reutilização e reciclagem de têxteis em geral pode reduzir o impacto ambiental em comparação com a incineração e aterro (Sandin & Peters, 2018; Zhang et al., 2018; Yousef et al., 2019). Um dos problemas ambientais dominantes para a indústria do vestuário é a produção de resíduos durante os processos de corte. Embora todos os sistemas contemporâneos de gestão de resíduos considerem o aterro a pior opção, continua sendo a forma preferida de remoção e descarte dos têxteis. Na União Europeia, os consumidores eliminam cerca de 5,8 milhões de toneladas de têxteis, dos quais cerca de 4,3 milhões de toneladas são descartados em aterros e incinerados, enquanto apenas 1,5 milhões de toneladas (25%) são reciclados (Trajković, Jordeva, Tomovska, & Zafirova, 2017).

Os produtos têxteis são indispensáveis no nosso cotidiano, porém proporcionam a geração anual de milhões de toneladas de resíduos que acabam sendo descartados sem a utilização de processos de reciclagem (Ouchi, Toida, Kumaresan, Ando, & Kato, 2010; Trajković et al., 2017). A quantidade de resíduos têxteis varia de acordo com a região e depende da cultura, densidade populacional, estilo de vida e renda. Como exemplo, a quantidade anual de resíduos têxteis na China, EUA e Reino Unido está estimada em 26, 15,1 e 1,7 milhões de toneladas, respectivamente (Hu et al., 2018). Toda essa quantidade de resíduos resulta na geração de 3% das emissões globais dos gases de efeito estufa (Norup, Pihl, Damgaard, & Scheutz, 2018).

A reutilização de valiosos recursos não renováveis contribui de forma eficiente para uma vida sustentável. Polietileno tereftalato (PET) é um polímero termoplástico não renovável à base de petróleo amplamente usado que precisa ser reutilizado ou reciclado. Os tecidos com mistura de PET/algodão são amplamente utilizados em roupas, artigos de decoração e outros têxteis domésticos e normalmente são descartados como resíduos urbanos que são destinados aos aterros sanitários (Zou, Reddy, & Yang, 2011). A maior parte dos resíduos de jeans (ou de tecido de denim) são compostos principalmente de algodão e poliéster e a maioria dos jeans ainda são produzidos de algodão virgem puro revestido com tintas têxteis (Wang et al., 2018).

Ramamoorthy, Persson e Skrifvars (2014), destacam que a reciclagem de tecidos PET é muito mais desafiadora, especialmente porque eles geralmente são misturados com outras fibras. Cerca de 74% do PET usado na indústria têxtil é usado na fabricação de fibras descontínuas. Essas fibras básicas são principalmente misturadas com fibras de algodão para produzir tecidos de mistura de algodão/PET. Esses tecidos mistos devem ser descartados após o uso e muitas vezes são incinerados para recuperar energia, mas a maior parte acaba indo para aterros. A degradação do PET é lenta e proporcionam problemas ambientais. Além disso, o valioso recurso não renovável à base de petróleo é desperdiçado (Zou et al., 2011).

A quantidade de fibras têxteis produzidas em 2011 atingiu um recorde histórico de 84,2 milhões de toneladas (Ramamoorthy, Skrifvars, Alagar, & Akhtar, 2018). Trajković et al. (2017), ressaltam que em 2014 a produção de fibras artificiais atingiu 55 milhões de toneladas, representando mais de 70% da produção total de fibras mundiais. A produção de poliéster é responsável por quase 60% das fibras artificiais e tem projeção de dobrar nos próximos 20 anos.

Nos últimos anos, o modelo de economia linear (extrair, transformar, descartar) subjacente ao setor têxtil e de vestuário está em declínio. São várias as tendências interligadas

que trouxeram o setor a este ponto: o fast fashion e o consumismo com sua atitude de descarte e vida ativa mais curta das roupas, expansão da população global e da classe média e a queda dos preços das roupas. As tendências quase naturalmente acarretaram um aumento na demanda por produtos têxteis e de vestuário relativamente baratos e fibras convencionais, além de contribuir para um aumento na quantidade de resíduos têxteis de baixa qualidade, falta de capacidade de aterro e custos de descarte mais elevados. Ao mesmo tempo, novas tendências estão surgindo em direção à economia circular: digitalização, sustentabilidade, ênfase na transparência, com o surgimento dessas novas tendências muito amplas e potencialmente de longo alcance.

Devido à periodicidade de geração de resíduos têxteis, sua reciclagem é considerada de grande viabilidade na concretização do conceito de economia circular (Oliveira Neto, Correia, Silva, Sanches, & Lucato, 2019). Alguns estudos têm obtido sucesso na produção de energia através dos resíduos têxteis, mas nestes casos o ciclo da economia circular dos resíduos têxteis se considera aberto, pois na geração de energia o algodão é irreversivelmente decomposto (Kocic, Bizjak, Popovi, Popari, & Stankovi, 2019). Para fechar completamente o ciclo de vida desses resíduos, todos os seus componentes devem ser recuperados (Leal Filho et al., 2019).

De acordo com Ramamoorthy et al. (2018), existe intensa e vasta pesquisa no desenvolvimento de materiais compostos renováveis, novos, leves e ecológicos a baixo custo para diversas aplicações. Embora os pesquisadores tenham desenvolvido biocompósitos de muitas fibras naturais e plásticos baseados em recursos renováveis com boas propriedades mecânicas, uma grande quantidade de polímeros não renováveis é usada hoje em inúmeras aplicações, incluindo os têxteis. Portanto, neste ponto, a reciclagem de resíduos têxteis é considerada a solução adequada, pelo fato de que essas práticas incluem o reprocessamento de resíduos têxteis pré ou pós-consumo para uso em novos produtos têxteis ou não têxteis (Peña-Pichardo et al., 2018; Echeverria et al., 2019).

A transição para uma economia circular deve começar com a prevenção de resíduos e a minimização dos resíduos depositados em aterro. Este processo tem três fases que são cruciais para o modelo de economia circular: concepção e desenvolvimento de produtos, coleta e triagem de resíduos e reciclagem eficaz. Neste sentido, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar o conceito de economia circular relacionado a indústria têxtil e as formas já existentes de reciclagem de tecidos mistos visando a redução dos impactos ambientais.

2. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida de forma bibliográfica e de natureza qualitativa, onde os dados foram obtidos através de artigos, livros e meios digitais. Sendo os procedimentos metodológicos para esta pesquisa baseados na definição dos critérios de seleção, definindo assim os termos de pesquisa a serem buscados e a criação de relações de buscas. Para isto foram buscados diversos artigos que passaram por avaliação e posteriormente selecionados de acordo com o grau de relevância e contribuição para o vigente estudo, apresentando uma metodologia que melhor se encaixe para o trabalho. A revisão bibliográfica aborda os seguintes tópicos: a redução dos impactos ambientais de resíduos têxteis, a economia circular têxtil, os métodos de reciclagem, moldagem por compressão à quente, reciclagem mecânica e reciclagem química.

3. Revisão Bibliográfica

Os tópicos a seguir apresentam a fundamentação teórica e os principais conceitos referentes as alternativas de reutilização de resíduos têxteis, sob o ponto de vista de autores e de estudos já realizados, fornecendo embasamento teórico no desenvolvimento da atividade, em especial na etapa de compreensão dos sistemas de reciclagem existentes.

3.1 Redução dos impactos ambientais de resíduos têxteis

Os produtos têxteis estão presentes em nosso cotidiano em diversos formatos e características e juntamente com a indústria do vestuário, movimentam uma parte significativa das economias mundiais, determinando hábitos e comportamentos de consumo na sociedade. Tais comportamentos de consumo são supridos por um modelo econômico de produção linear baseado em “extrair, transformar, descartar” que depende de grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso à água e energia em abundância (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016).

O Brasil está entre os dez maiores mercados da indústria têxtil, posicionando-se como o segundo maior fornecedor de índigo e o terceiro produtor de tecidos, segundo dados da Associação Brasileira de Têxtil e Vestuário do ano de 2015. Uma indústria que vale US\$ 797 bilhões em valor global segundo estimativas da Organização Mundial do Comércio. No ambiente econômico atual, a competição por novos mercados é cada vez mais acirrada e a

percepção dos consumidores por produtos sustentáveis e acessíveis está aumentando rapidamente. Isso faz com que os produtores invistam na qualidade de seus produtos e na gestão responsável dos resíduos, visando não só a sustentabilidade da empresa, mas também para as inúmeras oportunidades de negócios, até o final do ciclo de vida do produto (Amaral et al., 2018).

Neste contexto, a recuperação e reciclagem de têxteis, tornam-se cada vez mais necessárias, não só ambientalmente, mas também economicamente, reduzindo a necessidade de espaço para aterro, o consumo de água e energia, a pressão sobre os recursos naturais e, conseqüentemente, reduzindo os custos operacionais da indústria. O modelo de produção ideal incorporaria a ideia de economia circular em suas cadeias globais de valor que exercem influência estratégica sobre o desenho dos produtos, seu consumo e a recuperação de materiais usados, uma proposta de planejamento econômico do setor privado que estabeleceu metas de utilizar recursos materiais que dependem da consciência social. Portanto, as definições de economia circular têxtil aliado aos processos de reciclagem de resíduos têxteis apresentam-se como importantes diretrizes para auxiliar na redução dos impactos ambientais deste importante setor da economia mundial.

3.1.1 Economia circular têxtil

O declínio dos recursos naturais levou muitos países a buscar formas de aumentar sua resiliência a um déficit de oferta de matérias-primas industriais. Assim, reciclar resíduos e sobras de processos de fabricação para fazer novos produtos é uma solução barata e eficaz. Recentemente, o termo denominado “Economia Circular”, popularizado pela Ellen McArthur Foundation em 2010, apresenta um modelo capaz de desvincular o crescimento econômico da geração de resíduos.

De acordo com Amaral et al. (2018), o termo ganhou popularidade entre as empresas globais devido aos seus benefícios ambientais, transformando resíduos em recursos úteis para a fabricação de novos produtos e a possibilidade de aumentar os lucros e a competitividade das empresas, sendo uma definição genérica para modelos de negócios e processos que não geram resíduos industriais, mas em vez disso, reutilizam os recursos naturais repetidamente.

A economia circular consiste num ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e valoriza o capital natural, otimizando a produção de recursos e minimizando riscos, através da gestão de inventários finitos e fluxos renováveis, em qualquer escala industrial. A economia circular tem a ambição de manter produtos, componentes e materiais em seu mais

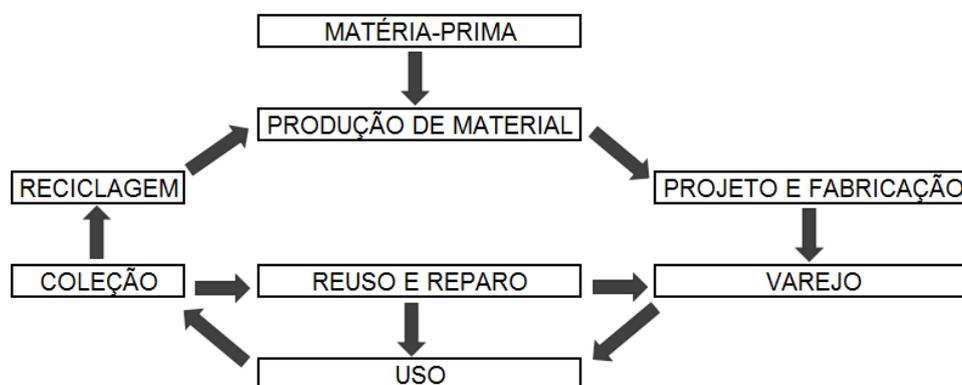
alto nível de utilidade e valor o tempo todo, não apenas reciclando, mas reavaliando ao longo dos processos produtivos, sejam estes biológicos ou ciclos técnicos (Amaral et al., 2018).

O desenvolvimento e implementação de uma estratégia que adapta a transição de uma economia linear para uma economia circular, aposta num modelo de desenvolvimento sustentável, representando uma oportunidade com múltiplos benefícios associados a mesma. Desde o impacto ambiental, através da redução do uso de matéria-prima, e o impacto social, promovendo o emprego e o crescimento econômico onde é aplicado. Transformar resíduos em novos produtos e materiais com a máxima eficiência é a forma adotada por diferentes setores da indústria, impulsionados pela crescente demanda por recursos naturais finitos. O objetivo é chegar a um modelo econômico com desperdício zero, tornando a sociedade capaz de reduzir seu descarte, aumentando a vida útil do produto, reutilizando e reciclando a matéria-prima após o seu consumo (Amaral et al., 2018; Zonatti, Amaral, Gasi, Ramos, & Duleba, 2015).

O desenvolvimento de uma economia circular está se tornando imprescindível para alcançar um crescimento sustentável (Euratex, 2017; Ghisellini et al., 2016; Koszewska, 2018; Păunescu, Găucă, & Drăgan, 2017). As empresas terão como desafio desenvolver novos modelos de negócios, voltados para a criação de valor em vez de produção em massa de material e adotar sistemas de economia circular (Koszewska, 2018). Na Europa, diversas empresas do setor têxtil passaram por inovações e adaptações para melhor competir e lidar com a mudança (Euratex, 2017).

A Figura 1 apresenta um processo de economia circular, constituindo uma aplicação ideal na cadeia da indústria têxtil. Esse formato resumido em dois círculos prolonga a vida do material, pois ele passa da coleta ao reaproveitamento ou reparo (Amaral et al., 2018).

Figura 1: Economia circular na indústria têxtil e de confecção.



Fonte: Adaptado de Amaral et al. (2018).

O surgimento de novos regulamentos abre portas para o desenvolvimento de uma economia circular, que tem ganhado muita atenção por cientistas, empresários e autoridades em todo o mundo. Ainda não existe um padrão para o desenvolvimento desta metodologia, mas deverá ser adequada de acordo com cada setor. A transição do atual modelo de economia linear para a economia circular na indústria têxtil e do vestuário requer mudanças significativas nos modelos de produção e consumo, tais como rever processos produtivos e fortalecer a reciclabilidade (Koszewska, 2018).

Desde 1996 o volume de compras de vestuário aumentou 40% (Dahlbo, Aalto, Eskelinen, & Salmenperä, 2017). Visto que hoje em dia as roupas são feitas para serem usadas por muito pouco tempo e após acabam sendo descartadas, este é o padrão da metodologia presente de modelos lineares de consumo (Durham, Hewitt, Bell, & Russell, 2015). Com a industrialização, se deu início ao consumismo descartável. O crescimento da economia criou dependências no sistema de produção contínua de novos produtos e do descarte dos antigos, devido as normas estilísticas que enfatizavam sua obsolescência com o passar do tempo (Claudio, 2007).

Alguns tipos de roupas ao serem lavadas liberam microfibras de plástico, fazendo com que cerca de meio milhão de toneladas sejam levadas pelas águas e a cada ano contribuem para a poluição do oceano. Cerca de 17 a 20% da água global é poluída pelo uso de cerca de 8.000 produtos químicos sintéticos para seu processamento. Anualmente, estima-se que 85% dos têxteis são descartados em aterros que chegam a cobrir 4% do terreno (Koszewska, 2018). Para a produção de têxteis são gerados cerca de 1,2 bilhão de toneladas de emissões de gases de efeito estufa por ano (Staicu, 2018).

Os atuais padrões de produção das indústrias têxteis e do vestuário demandam de grandes quantidades de fibras e conseqüentemente ocorre um aumento da quantidade de resíduos têxteis (Circle Economy, 2017). Segundo estimativas de Lenzing, em 2016, o consumo mundial de fibra atingiu 99 milhões de toneladas. Sendo a maioria destas fibras sintéticas à base de petróleo (62,7%), seguidas por fibras celulósicas e à base de proteínas com teor de algodão (24,3%), fibras de celulose de madeira (6,6%), outras fibras naturais (5,3%) e lã (1,1%) (Koszewska, 2018).

O sistema atual de método extrair - produzir - descartar (take-make-dispose) deixa muitas oportunidades econômicas inexploradas, pressiona os recursos, polui e degrada os ecossistemas. Mais de US\$ 500 bilhões acabam sendo perdidos todos anos devido à subutilização de roupas e à falta de reciclagem (Koszewska, 2018). Ao promover a adoção de padrões de produção que fecham o ciclo em um sistema econômico (Ghisellini et al., 2016), a

economia circular tem o potencial de resolver a lacuna resultante da escassez de recursos naturais e do crescimento populacional ou do consumo global (Koszewska, 2018) e oferece boas perspectivas para a melhoria gradual dos atuais modelos de produção e consumo (Ghisellini et al., 2016).

As propostas legislativas da União Europeia para resíduos adotadas em 2018 reforçam a "hierarquia de resíduos" e exigem que os Estados Membros tomem medidas específicas para dar prioridade à prevenção, reutilização e reciclagem acima da deposição em aterro e incineração, tornando assim a economia circular uma realidade. Mapear as partes interessadas em têxteis e vestuário da economia circular pode ser considerado um passo a frente para a economia circular, reunindo as iniciativas públicas e privadas existentes, investindo para promover a inovação tecnológica e estimulando a demanda. Somente reconhecendo os elementos que dificultam ou facilitam a transição é que as diretrizes comerciais e as propostas de políticas podem ser elaboradas para apoiar a transformação de forma eficaz e com sucesso (Koszewska, 2018).

O algodão é considerado a segunda maior fibra têxtil com produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, que repercute em significativa pegada ambiental (Payne, 2015; Circle Economy, 2017). Seu cultivo exige muita água, área agricultável, pesticidas e fertilizantes (Koszewska, 2018). Estima-se que 10% dos pesticidas mundiais, 25% dos inseticidas e até 2,5% de toda a água do mundo são consumidos pelo algodão, embora ocupe apenas 2,4% do solo arável total. Além de ser considerado o terceiro maior contribuinte para doenças causadas por pesticidas em trabalhadores agrícolas (Circle Economy, 2017). Para o meio ambiente, o maior problema não se encontra no algodão visto que ele é biodegradável, mas sim nos produtos químicos usados em processos de acabamento e tingimento que ao serem lançados no meio ambiente de forma inadequada prejudicam a qualidade do solo e da água subterrânea (Payne, 2015).

Estima-se que um aumento de 84% na demanda por fibras têxteis nos próximos 20 anos que levará os recursos ao seu ponto de ruptura devido à escassez de matéria prima. Com a redução dos recursos e o grande aumento da produção de fibras têxteis haverá cada vez mais pressão sobre o meio ambiente (Circle Economy, 2017), uma vez que a produção de algodão e poliéster tem um grande impacto ambiental (Teunissen, 2017). As fibras de poliéster bem como outras fibras feitas de combustíveis fósseis não renováveis demandam de grandes quantidades de petróleo bruto para serem fabricadas além de requerer significativas quantidades de energia que resultam em emissões significativas de gases de efeito estufa. Também deve-se ressaltar que os subprodutos da produção de poliéster são descartados pelas

fábricas com águas residuais e como o poliéster não é biodegradável, leva séculos para se decompor no meio ambiente (Payne, 2015; Claudio, 2007; Circle Economy, 2017).

Todos esses impactos ambientais poderiam ser significativamente minimizados se o setor têxtil substituísse o modelo atual por um modelo circular. Usando roupas por muito mais tempo, criando metodologias eficazes de reciclagem dos resíduos têxteis, reutilizando como matéria-prima a fim de diminuir a demanda por produtos finais e fibras. No entanto as empresas precisam se conscientizar que o modelo linear de economia até então utilizado já é obsoleto e tornou-se disfuncional, com limitada oferta de matérias-primas e recursos, e custos crescentes de descarte apontando para um declínio da capacidade dos aterros (Agrawal, Barhanpurka, & Joshi, 2017).

A eliminação ou ao menos minimização da percentagem de resíduos que vão para aterros são um dos maiores desafios que a indústria têxtil e do vestuário enfrentará na transição para o modelo de economia circular. Tudo dependerá do desenvolvimento de uma metodologia completamente nova para a forma com que os produtos são projetados, produzidos e consumidos (De Paoli, 2015). A gestão eficaz de resíduos irá influenciar significativamente, reduzindo matérias-primas virgens, reutilizando resíduos têxteis e reciclando-os (Koszewska, 2018). Atualmente apenas 20% dos resíduos de roupas são coletados globalmente para reutilização ou reciclagem, já os 80% restantes são depositados em aterro ou incinerados, o que resulta numa grande perda de energia e matérias-primas (Lewis, 2015; Danigelis, 2017).

A economia circular visa definir o desempenho do produto (determinado por sua durabilidade, reciclabilidade e reparabilidade) logo no estágio de design. Assim as decisões tomadas pelos designers, influenciarão todas as subsequentes fases do ciclo de vida de uma roupa (Durham et al., 2015; De Paoli, 2015; Ellen MacArthur Foundation and McKinsey, 2014). Também caberá a eles fazer com que as roupas durem mais e que não venham a acabar em aterros sanitários (Durham et al., 2015). Assim os designers e engenheiros enfrentarão um imenso desafio para combinar opções de reciclagem e sustentabilidade, pois projetar produtos sustentáveis e que sejam totalmente recicláveis é um desafio muito árduo e trabalhoso (Koszewska, 2018).

Atualmente muitas fibras e misturas de fibras presentes em produtos acabados somente podem ser separados por processos complexos de reciclagem, no entanto, elas não podem ser abandonadas porque fornecem qualidades de tecido apreciadas pelos consumidores, como maciez, respirabilidade, facilidade de cuidado, conforto, aparência, caimento, manuseio, solidez da cor, funcionalidade e assim por diante (Durham et al., 2015).

Como exemplo pode-se citar a mistura de algodão e poliéster que é de baixo custo de fabricação e oferece características desejáveis pelos consumidores, mas reciclá-lo é uma tarefa desafiadora. (Eder-Hansen et al., 2017; Circle Economy, 2017). Isso implicará em novas filosofias de design e equipes interdisciplinares capazes de chegar a soluções circulares com eficiência de recursos aceitáveis para os clientes (Koszewska, 2018).

Outro desafio do sistema têxtil circular é encontrar alternativas de como os resíduos têxteis devem ser coletados e classificados sendo necessário uma infraestrutura de recuperação e reprocessamento, bem como uma comunicação eficaz em toda a cadeia de abastecimento (Boiten, Li-Chou Han, & Tyler, 2017).

A ineficiência da coleta e separação de resíduos têxteis e de roupas é um problema significativo que colocam uma pressão sobre as tecnologias de reciclagem comercialmente viáveis para têxteis e misturas de baixa qualidade. As principais tecnologias de reciclagem e soluções estruturais que poderiam eliminar as barreiras à introdução de um circuito fechado global na indústria têxtil ainda são poucas. Para lidar com esse problema é necessário desenvolver soluções eficazes por meio de projetos e programas de pesquisa e para introduzir novos modelos de negócios e tecnologias (Koszewska, 2018).

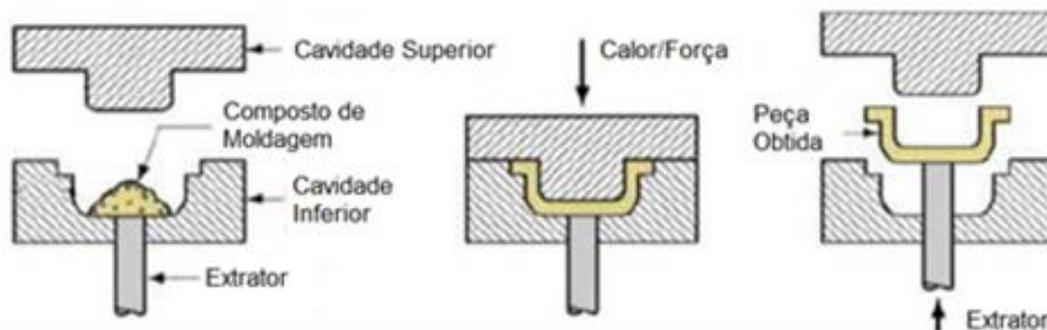
3.1.2 Métodos de reciclagem

Reciclagem é o processo em que um produto ou seus componentes são utilizados para criar algo novo, representa a forma técnica de reaproveitamento de itens descartados, minimizando o uso de matéria-prima virgem e a quantidade de resíduos descartados em aterros ou encaminhados à incineração. Porém, o termo reuso possui um significado geral que combina materiais ou itens que possuem qualidades reutilizáveis, independentemente de o produto ter ou não a mesma função. Os processos de reciclagem e reaproveitamento contribuem para a gestão e conservação das matérias-primas que de outra forma seriam descartadas, diminuindo a necessidade de nova exploração dos recursos naturais que seriam necessários para a produção de novos bens e produtos (Amaral et al., 2018).

3.1.2.1 Moldagem por compressão à quente

O processo de moldagem por compressão a quente consiste basicamente em colocar um composto de moldagem na cavidade aberta do molde, fechar o molde e aplicar calor e pressão até o material ser curado, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Moldagem por compressão à quente.



Fonte: Adaptado de Zou et al. (2011).

Ramamoorthy et al. (2018), afirmam que os tecidos descartados podem ser efetivamente utilizados como recebidos, ou seja, sem a necessidade de realizar um processamento prévio, em reforços de compósitos, o que não apenas evita o rebaixamento das fibras, mas também confere boa resistência aos compósitos devido ao alinhamento uniforme das fibras.

Zou et al., (2011), destacam que tecidos com mistura de PET/algodão podem ser diretamente transformados em compósitos por moldagem por compressão. As vantagens deste método são a simplicidade e o baixo custo, pois não há necessidade de separar o algodão do PET em função do algodão atuar como o material de reforço (matriz) e o PET irá derreter durante a moldagem por compressão a quente. No entanto, o desenvolvimento de compostos de tecido de mistura de PET/algodão com boas propriedades requer que as fibras de algodão tenham degradação térmica mínima durante a fusão do PET. As temperaturas típicas de fusão do PET variam de 260 a 270°C, nas quais o algodão pode ser degradado.

Portanto, o aumento do tempo de compressão e/ou da temperatura faz com que o poliéster derreta adequadamente e penetre nas fibras de algodão, resultando em compósitos com boas propriedades. A fusão insuficiente do poliéster devido ao curto tempo de compressão ou baixas temperaturas resultará em baixa resistência adesiva entre as fibras de algodão e a matriz em uma camada única ou entre camadas de tecido levando a propriedades compostas inferiores. No entanto, o uso de temperaturas ou tempos de compressão acima do ideal resultará em propriedades pobres dos compósitos porque as fibras de algodão serão danificadas devido à degradação térmica (Zou et al., 2011).

Neste sentido, Zou et al. (2011) empregaram amostras de tecidos com mistura de PET/algodão (65/35%) e utilizaram plastificantes em relação ao peso dos tecidos. Os

plastificantes utilizados foram o Glicerol e 2-fenilfenol com o objetivo de diminuir o ponto de fusão do PET e alcançar um menor tempo de compressão e menores temperaturas para a fabricação dos compósitos. O processo de geração de cada compósito consistia basicamente em realizar a moldagem por compressão de 10 amostras empilhadas de tecidos de mistura de PET/algodão protegidas por duas folhas de alumínio revestidas com Teflon, com a temperatura e tempo de compressão estabelecidos.

Zou et al. (2011), observaram que os plastificantes reduziram o tempo e a temperatura necessários para a fabricação dos compósitos, mas diminuíram as propriedades de flexão e tração dos compósitos. O plastificante 2-fenilfenol foi mais eficaz que o glicerol na redução do tempo de fabricação dos compósitos e também em fornecer compósitos com melhores propriedades. Em comparação com amostras de PET moldado por compressão, os compostos de PET/algodão sem plastificante têm um módulo de elasticidade 153% maior, módulo de Young 36% maior, resistência ao impacto semelhante, mas 17% menor resistência à flexão e 44% menor resistência à tração. Portanto, verificou-se que tecidos com mistura de PET/algodão podem ser moldados por compressão em compósitos para várias aplicações sem a necessidade de plastificantes.

Ramamoorthy et al. (2014), investigaram formas de reutilização de mistura de tecidos PET/algodão (50/50%) como reforço em compósitos. Três conceitos de moldagem por compressão foram avaliados. No primeiro método, o tecido era simplesmente moldado por compressão acima da temperatura de fusão do tecido de poliéster, como recebido ou com adição de plastificante. No segundo método, uma resina de base biológica de óleo de soja foi utilizada como matriz. O terceiro método usou uma bainha de núcleo termoplástico tipo fibra bicomponente em um tecido não tecido (TNT). Este foi colocado entre camadas de tecidos descartados de PET/algodão, onde atuou como uma matriz.

De acordo com Ramamoorthy et al. (2014), o componente do núcleo na fibra bicomponente não derrete na temperatura de moldagem por compressão, enquanto o componente da bainha derrete e forma a matriz. Uma desvantagem da moldagem por compressão é a degradação térmica das fibras de algodão. Portanto, no segundo método utilizou-se uma resina termofixa líquida como matriz e no terceiro método utilizou-se uma fibra bicomponente como matriz. Ambos os métodos permitem a moldagem por compressão em uma temperatura na qual o algodão não se degrada termicamente. Isto possibilita produzir compostos com melhores propriedades mecânicas.

O processo de obtenção dos compósitos consistiu em secar as amostras de tecido em estufa a 105 °C por 2 h e após realizado a moldagem por compressão das amostras de tecido

com ou sem plastificantes e com ou sem matriz (Ramamoorthy et al., 2014). O estudo obteve melhores propriedades mecânicas em relação ao trabalho de Zou et al. (2011), com diferentes tipos de processamento de compósitos, reutilizando os resíduos têxteis como reforço. O tecido (algodão junto com PET) atuou como reforço nos compósitos do segundo e terceiro método, o que conferiu melhor resistência mecânica aos compósitos.

A temperatura de processamento foi menor nos compósitos do segundo e terceiro método do que no trabalho de Zou et al. (2011), pois utilizou-se uma matriz externa, o que reduziu a degradação do algodão e melhorou a resistência à tração. A maior resistência à tração de 88 MPa foi obtida com compósitos do terceiro método, que são comparáveis com vários compósitos de fibra natural. A fusão e a recristalização eliminam a orientação que as fibras PET obtiveram durante a fabricação por meio da fiação por fusão. Assim, o potencial de reforço do tecido ainda permanece se uma matriz externa for adicionada. O terceiro método apresentou as propriedades mais adequadas, que combinam boas propriedades de tração com tenacidade, resistência à tração quatro vezes melhor do que o primeiro método e 2,2 vezes melhor do que o segundo método.

Ramamoorthy et al. (2018), avaliaram o desenvolvimento de compósitos a partir de tecidos descartados e bioresina sintetizada em laboratório a partir do óleo de soja. Os tecidos misturados foram reforçados por três resinas diferentes à base de óleo de soja (óleo de soja epoxidado acrilado-AESO, óleo de soja metacrilado-MSO e óleo de soja modificado com anidrido metacrílico-MMSO). As amostras de tecido PET/algodão passaram pelo processo de secagem em estufa a 105°C durante 1h antes da impregnação com resina. Os compósitos com diferentes proporções fibra-matriz foram produzidos pela colocação de camadas alternadas de reforço e matriz na moldagem por compressão durante 5 min. A pressão de 25 bar foi mantida constante para todos os compósitos, enquanto a temperatura era de 120°C para o Envirez™ (resinas de poliéster insaturado) e 160°C para as resinas à base de óleo de soja.

Os resultados do estudo realizado por Ramamoorthy et al. (2018), sugerem que esses compósitos produzidos a partir de tecido residual podem ser usados em aplicações estruturais secundárias. Esses compósitos podem ser comparados aos compósitos de fibra natural em termos de propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas obtidas neste trabalho foram melhores do que as dos compósitos de Zou et al. (2011), pois foram utilizadas matrizes termofixas.

De acordo com Ramamoorthy et al. (2018), o tratamento da fibra aumentou o custo de produção do compósito, mas o tratamento não melhorou as propriedades mecânicas dos compósitos. Por este motivo, os reforços podem ser usados diretamente para produzir

compostos para aplicações estruturais secundárias, ou seja, com menor exigência estrutural. O módulo de Young acima de 10 GPa foi obtido quando o tecido foi usado diretamente sem qualquer tratamento químico. Calorimetria exploratória diferencial e análise termogravimétrica foram utilizadas para estudar as propriedades térmicas dos compósitos.

As temperaturas de transição vítrea dos compósitos ficaram entre 80 e 100°C, enquanto os compósitos permaneceram relativamente estáveis até 300°C. Além disso, os compósitos foram caracterizados quanto às propriedades viscoelásticas, propriedades morfológicas, absorção de água, porosidade e ângulo de contato. Os resultados estão de acordo com os vários compósitos reforçados com fibras naturais. Os resultados indicaram que as propriedades mecânicas dos compósitos devem ser melhoradas para que possam ser utilizados como componente estrutural primário. Da mesma forma, a absorção de água deve ser reduzida para que esses compósitos sejam usados em ambientes externos úmidos (Ramamoorthy et al., 2018).

Echeverria et al. (2019), realizaram também uma pesquisa sobre a recuperação de diversos tecidos em fim de vida com ênfase no uso em misturas de fibras mistas como uma matéria-prima alternativa de baixo carbono para o avanço de materiais compostos reforçados com fibra têxtil para aplicações em construção. As misturas homogêneas foram montadas em uma matriz de aço e distribuídas uniformemente antes de selar a matriz. Um processo isotérmico de compressão a quente foi aplicado sob 30 MPa, com um tratamento térmico de 185°C e 260°C (misturas com poliéster) durante 45 min. A matriz foi descarregada, completando o processo de fabricação do compósito fora da prensa, com ciclo de resfriamento lento por aproximadamente 3h em temperatura ambiente, antes da desmoldagem.

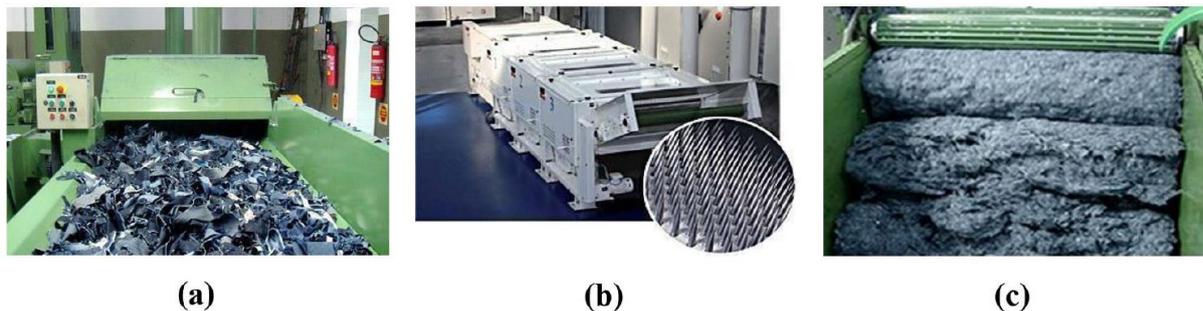
Os resultados experimentais indicaram que os materiais compostos reforçados com fibra têxtil apresentaram ótimo desempenho para resistência à umidade, bem como para aplicações com e sem carga, em comparação com painéis aglomerados de madeira convencionais. O maior desempenho para resistência mecânica (34,9 MPa) e baixa absorção de umidade (2,4%) foi alcançado pelos corpos-de-prova formulados com a matriz têxtil de polipropileno com 40% em peso.

A moldagem por compressão à quente de tecidos com mistura de PET/algodão para a obtenção de compósitos é uma alternativa viável a fim de reutilizar tais resíduos têxteis sem a necessidade de haver um processamento prévio deste resíduo de acordo com os trabalhos analisados.

3.1.2.2 Reciclagem mecânica

O processo de reciclagem mecânica de tecidos consiste basicamente em cortar e triturar os restos de tecido conforme a capacidade da máquina e o produto desejado. A Figura 3 apresenta o processo de corte e trituração de resíduos de jeans.

Figura 3: (a) Início do triturador com jeans; (b) Retalhador projetado para reciclar sobras de fiação, tecelagem, tricotagem e não tecido; (c) Saída do triturador com as fibras de jeans.



Fonte: Amaral et al. (2018).

A máquina que realiza este processo chama-se Têxtil-Trituradora e pode ser composta por 2, 4, 6 ou 8 rolos, quanto mais rolos, melhor a qualidade da fibra reciclada. Os rolos possuem diferentes diâmetros com inúmeras agulhas em sua superfície responsáveis por rasgar e desfiar os trapos, conforme apresentado na Figura 3b. Estes giram em alta velocidade e o número de agulhas aumenta a cada rolo, a fim de desfiar completamente os materiais têxteis, conforme apresentado na Figura 3c (Amaral et al., 2018).

No entanto, a reciclagem mecânica padrão não é a melhor opção quando se trata de resíduos têxteis de poliéster, pois uma maior força mecânica aplicada pode causar o derretimento do poliéster. Nestes casos geralmente emprega-se um processo de corte em uma máquina com lâminas rotativas ou em uma máquina de corte com faca vertical (Trajković et al., 2017).

Após o processo de reciclagem mecânica, as fibras têxteis podem ser utilizadas na produção de manta fenólica (compósitos) por processo airlay para aplicações na indústria automobilística (fabricação de elementos como painéis, tetos, laterais internas de portas); produção de diferentes tipos de feltros para a indústria civil e automobilística; produção de um novo fio aplicado na indústria automobilística pelo processo de fiação Open-End; e na produção de isolantes térmicos e acústicos (Zonatti et al., 2015).

Neste sentido, os resíduos têxteis reciclados podem ser usados como matéria-prima

para estruturas de isolamento. Teoricamente, 97% dos resíduos têxteis podem ser reciclados. A reciclagem de resíduos têxteis tem benefícios ecológicos, bem como econômicos, tornando-os mais populares nas últimas décadas. Nos países da União Europeia, a produção de produtos ecológicos com reduzidos efeitos nocivos ao ambiente tornou-se uma exigência. Isso elevou os esforços para a produção de materiais de isolamento ecológico a partir de têxteis reciclados. Os produtos desse tipo comercializados na Europa são Inno-Therm e Le Relais, obtidos por meio da reciclagem mecânica do algodão pós-consumo (Jordeva, Tomovska, Trajković, & Zafirova, 2015).

A Inno-Therm/Mettise, uma empresa da Grã-Bretanha, (<http://www.inno-therm.com>) produz isolamento de denim reciclado, enquanto a Le Relais (<http://www.lerelais.org>) desenvolveu um produto de isolamento térmico, composto por 70% algodão, 15% lã/acrílico e 15% poliéster como ligante. Ambos os produtos têm boas propriedades de isolamento térmico (condutividade térmica de 0,037 - 0,038 W/mK). Os produtos têm isolamento acústico 10% melhor em comparação com os padrões ASTM (American Society for Testing and Materials) prescritos. São produzidos em forma de rolos e painéis e posteriormente tratados contra fogo, fungos e insetos (Trajković et al., 2017).

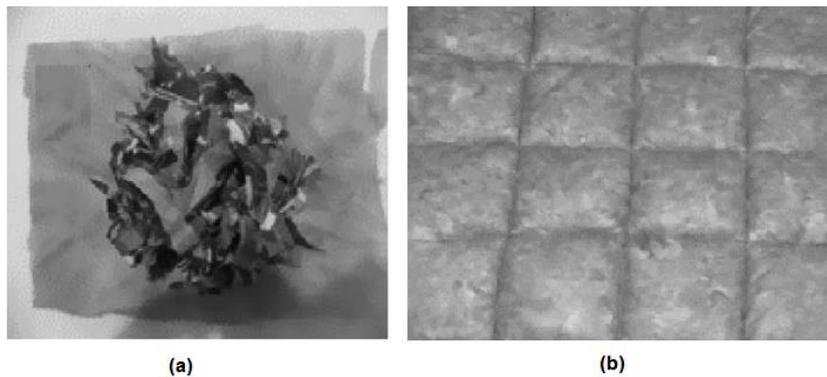
Os materiais de isolamento representam uma ferramenta importante para a construção de edifícios com alta eficiência energética. Os materiais fibrosos inorgânicos (lã de rocha e lã de vidro) e materiais orgânicos espumosos (poliestireno expandido e extrudado) são dominantes no mercado europeu. O desempenho dos materiais de isolamento deve ser avaliado em relação às propriedades físicas, proteção à saúde e ao meio ambiente, aplicabilidade como elementos de construção e seu custo. A maioria dos materiais isolantes tradicionais são caracterizados com coeficiente de condutividade térmica de 0,030 - 0,045 W/mK e coeficiente de redução de ruído de 0,5 - 0,9 (Papadopoulos, 2005).

Trajković et al. (2017), também destacam que outras propriedades importantes dos materiais de isolamento incluem resistência ao fogo e biodegradabilidade. A resistência ao fogo refere-se à facilidade de ignição e queima contínua após a ignição. As fibras sintéticas termoplásticas, como o poliéster, são moderadamente inflamáveis, encolhem durante a queima, derretem e pingam ao contato com uma chama, fazendo com que o tecido pare de queimar. Os autores destacam que em relação aos isolantes reciclados usados comercialmente, a biodegradabilidade do poliéster é excelente e não requer tratamento contra fungos e insetos. O principal problema é visto com a resistência à pressão, uma vez que as estruturas fibrosas orgânicas são compressíveis, o que restringe o uso como isolante das paredes externas.

Trajković et al. (2017), avaliaram a eficiência de uma manta de isolamento térmica e

acústica produzida a partir de resíduos têxteis de poliéster. As estruturas têxteis desenvolvidas usaram cortes de resíduos de diferentes tecidos de poliéster, sem abrir o tecido para a fibra, ou seja, o corte dos resíduos foi realizado em uma máquina de corte com lâminas. Após, estes materiais foram envolvidos em tecido não tecido (TNT) 100% polipropileno para a obtenção da estrutura de isolamento. A Figura 4a apresenta o tecido poliéster após o processo de corte e a Figura 4b apresenta a manta de isolamento obtida.

Figura 4: (a) Tecido poliéster após o processo de corte; (b) Manta de isolamento.



Fonte: Trajković et al. (2017).

Os autores observaram que o coeficiente de condutividade térmica das amostras variou entre 0,0520 e 0,0603 W / mK e o coeficiente de absorção sonora (NRC) variou de 54,71 a 74,77%, superando os isolamentos usados comercialmente. A estrutura isolante não conduzia chama, o raio do local prejudicado era de 1,60 - 2 cm enquanto a profundidade era de 0,4 - 1,3 cm e apresentava falta de biodegradabilidade, com perda de massa variando de 0 a 0,3%.

A reciclagem mecânica de resíduos têxteis é um processo viável que requer uma análise prévia em função do tipo de tecido a ser processado e em que produto será utilizado. De acordo com os trabalhos analisados, a aplicabilidade de resíduos de tecido de poliéster para a fabricação de mantas de isolamento apresenta um excelente resultado em comparação as mantas comercialmente disponíveis.

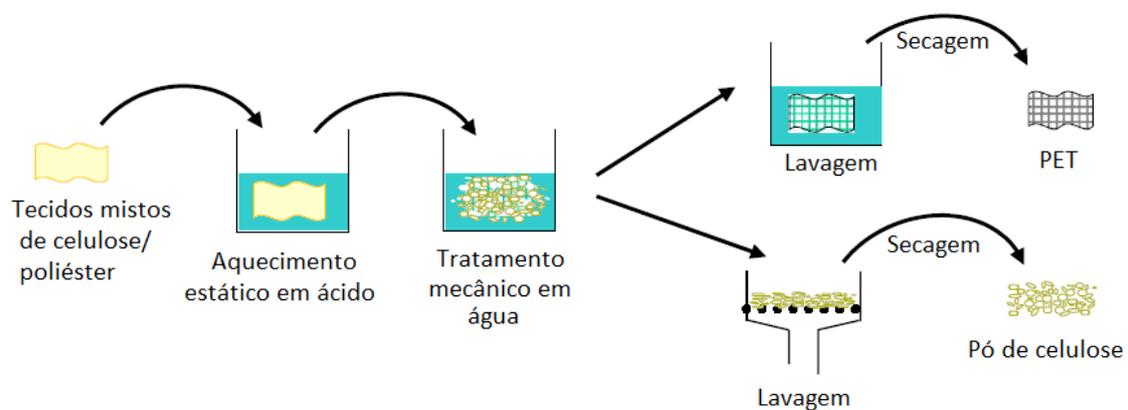
3.1.2.3 Reciclagem química

O processo de reciclagem química de resíduos têxteis consiste através de um processamento químico aplicado em um resíduo têxtil recuperar a maioria das matérias-primas presentes em sua composição e reutilizá-las na fabricação de novos têxteis.

Ouchi et al. (2010), afirmam que existem muitas tentativas para separar tecidos mistos

de celulose/poliéster por degradação ou solubilização de um dos seus componentes através de soluções à base de ácidos. Embora esses métodos possam separar tecidos celulósicos e de poliéster, estes necessitam de condições de processamento severas e muitas vezes o resultado obtido da recuperação dos tecidos é baixa, além de consumir grandes quantidades de produtos químicos e energia. Os autores desenvolveram um procedimento de duas etapas para a separação de tecidos mistos de celulose/poliéster, conforme esquematizado na Figura 5.

Figura 5: Procedimento de duas etapas para a separação de tecidos mistos de celulose/poliéster.



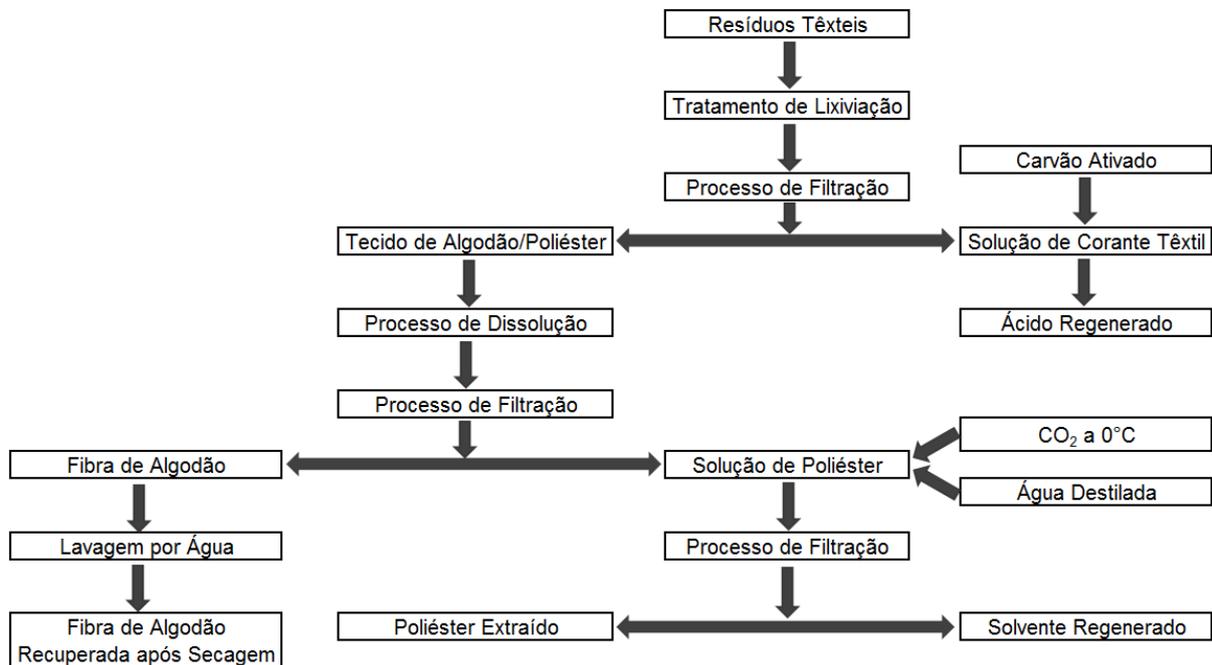
Fonte: Adaptado de Ouchi et al. (2010).

Os tecidos mistos foram submetidos a uma degradação controlada da celulose por aquecimento estático em soluções ácidas e sucessivos tratamentos mecânicos em água à temperatura ambiente. Ao separar os procedimentos de aquecimento e separação, a solubilização da celulose na solução ácida pode ser minimizada devido à redução do tempo de aquecimento, o que permitiu usar a solução ácida repetidamente sem diminuir sua temperatura. Assim, este procedimento em duas etapas pode maximizar a recuperação tanto de celulose quanto do poliéster e minimizar o uso de produtos químicos e energia, evitando a geração de grandes quantidades de resíduos pela separação.

De acordo com os autores, o processo consistiu na primeira etapa de um tratamento rápido em ácido estático de alta temperatura e na segunda etapa a aplicação de batimento mecânico (agitação) dos tecidos, neste processo a celulose foi eficientemente separada dos tecidos de poliéster como um pó após a filtragem. A condição otimizada foi obtida para os tecidos celulósicos com a aplicação de tratamento estático em 10 N H₂SO₄ a 95°C e sucessivas batidas mecânicas em água à temperatura ambiente. Yousef et al. (2020), realizou um trabalho buscando desenvolver uma tecnologia verde sustentável para a recuperação de

fibras de algodão e poliéster de resíduos têxteis, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma de separação de resíduos de jeans.



Fonte: Adaptado de Yousef et al. (2020).

O primeiro estágio da tecnologia tratou da remoção de corantes têxteis de jeans usados através da lixiviação com ácido nítrico (concentração menor que 60%), seguida pela regeneração do ácido gasto por carvão ativado. Em seguida, o poliéster foi dissolvido e separado do algodão usando um solvente de hidrofília verde comutável. Para extrair o poliéster e regenerar o solvente, CO₂ foi adicionado à solução após misturar com água destilada a 0°C durante 1 h. O poliéster solidificado foi coletado por filtração e o estado do solvente foi alterado novamente para hidrofóbica por meio de aquecimento e remoção do CO₂ correspondente.

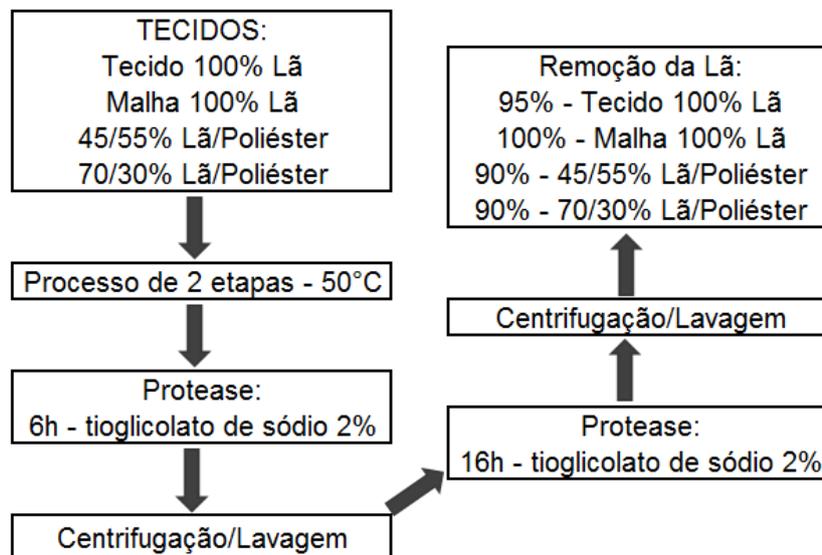
Neste processo os autores atingiram uma regeneração de 83% do ácido utilizado para remover os corantes têxteis do tecido através do tratamento com carvão ativado. De acordo com a abordagem desenvolvida, as fibras de algodão e poliéster representaram 84 e 16% em peso do tecido, enquanto a taxa de reciclagem da tecnologia foi maior que 96%. Com base nisso, a tecnologia desenvolvida pode ser uma abordagem promissora para a reciclagem de resíduos têxteis com altos rendimentos e múltiplas vantagens sobre os métodos tradicionalmente utilizados.

Navone et al. (2020), afirmam que a separação de resíduos de fibras misturadas, sendo

as roupas frequentemente multicomponentes, apresenta um grande problema de reciclagem, pois as fibras devem ser separadas em componentes individuais para permitir uma reciclagem eficaz. O trabalho desenvolvido empregou um tratamento enzimático em misturas de tecido de lã/poliéster para degradar seletivamente as fibras de lã enquanto recupera as fibras sintéticas. A degradação completa das fibras de lã foi alcançada pela aplicação de uma queratinase em um processo de duas etapas com adição de agente redutor e as fibras de poliéster não digeridas foram recuperadas, conforme ilustrado na Figura 7.

Um processo enzimático de duas etapas na presença de tioglicolato de sódio apresentou melhores resultados para a degradação das fibras de lã. A análise da perda de peso e a microscopia eletrônica de varredura dos tecidos tratados confirmaram a remoção completa da componente lã. A pureza e as propriedades mecânicas das fibras de poliéster resultantes foram analisadas por nanoindentação e espectroscopia de infravermelho. As fibras poliméricas obtidas após o tratamento enzimático retêm a integridade e as propriedades físicas das fibras virgens e podem ser utilizadas na fabricação de novas roupas ou outros produtos têxteis e derivados de poliéster. O hidrolisado de queratina rico em nutrientes pode ser utilizado em meios de crescimento microbiano ou incorporado em biofertilizantes ou ração animal, contribuindo para o desenvolvimento da economia circular (Navone et al., 2020).

Figura 7: Fluxograma do tratamento enzimático de misturas de tecido de lã/poliéster.



Fonte: Adaptado de Navone et al. (2020).

A reciclagem química de resíduos têxteis é uma alternativa para recuperar a matéria-prima de origem petroquímica presentes nos tecidos mantendo a sua qualidade. No entanto,

alguns processos de reciclagem química ainda precisam ser ajustados a fim de possibilitar a sua implantação em níveis industriais, ou seja, torná-los técnica e economicamente viáveis.

4. Conclusões

Os impactos ambientais ocasionados pelos resíduos têxteis são significativos e precisam ser equacionados. O modelo de economia linear (extrair, transformar, descartar) no setor têxtil e de vestuário está se tornando obsoleto e assim chegando ao seu fim. A economia circular se mostrou como um modelo promissor de desenvolvimento tecnológico, gerando inovação e proporcionando ganhos de competitividade, melhorando a utilização de recursos e reduzindo a dependência de produtos primários. A transição para uma economia circular deve começar com a prevenção de resíduos e a minimização dos resíduos depositados em aterro e finalmente a implantação de processos de reciclagem. Os diferentes processos de reciclagens se apresentaram como promissores no sentido de contribuir de forma significativa com a economia circular e que a escolha do método mais viável está associada a composição dos resíduos têxteis e a finalidade dada ao composto obtido.

Referências

Agrawal, Y., Barhanpurka, S., & Joshi, A. (2017). *Recycle textiles waste*. Recuperado de <http://www.fibre2fashion.com/industryarticle/6798/recycle-textiles-waste>.

Amaral, M. C., Zonatti, W. F., Silva, K. L., Junior, D. K., Neto, J. A., & Ramos, J. B. (2018). Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy. *Gestão e Produção*, 25, 431-443.

Boiten, V. J., Li-Chou Han, S., & Tyler, D. (2017). Circular Economy Stakeholder Perspectives: *Textile collection strategies to support material circularity*. Recuperado de http://resyntex.eu/images/downloads/ValrieJBoiten_Textile_collection_strategies.pdf.

Circle Economy. (2017). Circle Textiles: Closing The Loop For Workwear. Recuperado de <http://www.rebus.eu.com/wp-content/uploads/2017/12/CIRCLE-Textiles-CLOSING-THE-LOOP-FOR-WORKWEAR.pdf>.

Claudio, L. (2007). Waste couture: Environmental impact of the clothing industry. *Environmental Health Perspectives*, 115, 449-454.

Dahlbo, H., Aalto, K., Eskelinen, H., & Salmenperä, H. (2017). Increasing textile circulation - consequences and requirements. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 44-57.

Danigelis, A. (2017). *Retailers bank on environmentally friendly clothing for increased sales*. Recuperado de <https://www.environmentalleader.com/2017/07/retailers-bank-environmentally-friendly-clothing-increased-sales/>.

De Paoli, A. (2015). Towards the circular economy: Identifying local and regional government policies for developing a circular economy in the fashion and textiles sector in Vancouver, Canada. Recuperado de <https://www.vancouvereconomic.com/research/towards-the-circular-economy/>.

Durham, E., Hewitt, A., Bell, R., & Russell, S. (2015). Technical Design for Recycling of Clothing. *Sustainable Apparel*, 187-198.

Echeverria, C. A., Handoko, W., Pahlevani, F., & Sahajwalla, A. (2019). Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1524-1536.

Eder-Hansen, J., Chalmer, C., Tärneberg, S., Tochtermann, T., Seara, J., Boger, S., Theelen, G., Schwarz, S., Kristensen, L., & Jäger, K. (2017). Pulse the fashion industry: Global Fashion Agenda & AMP. *The Boston Consulting Group*, 1-74.

Ellen MacArthur Foundation and McKinsey. (2014). Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-up across Global Supply Chains, Rapport. *World Economic Forum*, Switzerland. Recuperado de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy?gclid=CjwKCAiA_Kz-BRAJEiwAhJNY76QyUrgjW5S1jWqf28QG3PxRtmif22lAnRUJG11AF2pNZpzWL4DuxhoCNJwQAvD_BwE.

Euratex. (2017). The European Apparel And Textile Confederation: *Policy brief. Prospering in the circular economy*. Recuperado de http://pr.euractiv.com/sites/default/files/pr/SB-26-2017_A1_EURATEX_CE_policy_brief.pdf.

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems". *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.

Hu, Y., Du, C., Leu, S. Y., Jing, H., Li, X., & Lin, C. S. K. (2018). Valorisation of textile waste by fungal solid state fermentation: an example of circular waste-based biorefinery. *Resources, conservation and recycling*. 129, 27-35.

Jordeva, S., Tomovska, E., Trajković, D., & Zafirova, K. (2015). Current State of Pre-Consumer Apparel Waste Management in Macedonia. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 109, 13-16.

Kocic, A., Bizjak, M., Popovi, C. D., Popari, C. G. B., & Stankovi, C. S. B. (2019). UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres. *Journal of cleaner production*, 228, 1229-1237.

Koszevska, M. (2018). Circular Economy - Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18, 337-347.

Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V. J., Paco, A., Moora, H., & Balogun, A. L. (2019). A review of the socio-economic advantages of textile recycling. *Journal of cleaner production*, 218, 10-20.

Lewis, T. (2015). *Apparel disposal and reuse*. In *Sustainable apparel - production, processing and recycling*. Blackburn, R.: Elsevier.

Navone, L., Moffitt, K., Hansen, K., Blinco, J., Payne, A., & Speight, R. (2020). Closing the textile loop: Enzymatic fibre separation and recycling of wool/polyester fabric blends. *Waste Management*, 102, 149-160.

Norup, N., Pihl, K., Damgaard, A., & Scheutz, C. (2018). Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste. *Waste Management*, 79, 8-21.

Oliveira Neto, G. C., Correia, J. M. F., Silva, P. C., Sanches, A. G. O., & Lucato, W. C. (2019). Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1514-1525.

Ouchi, A., Toida, T., Kumaresan, S., Ando, W., & Kato, J. (2010). A new methodology to recycle polyester from fabric blends with cellulose. *Cellulose*, 17, 215-222.

Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37, 77-86.

Păunescu, C., Găucă, O., & Drăgan, D. (2017). "Examining obligations to society for QS Stars best ranked universities in social responsibility", *Management & Marketing*, 12, 551-570.

Payne, A. (2015). Open- and closed-loop recycling of textile and apparel products (Ed.) Muthu, S.S. In Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing, *Woodhead Publishing*, 103-123.

Peña-Pichardo, P., Martínez-Barrera, G., Martínez-López, M., Ureña-Núñez, F., Reis, J. M. L., & Laredo, J. M. (2018). Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete. *Construction & Building Materials*, 177, 409-416.

Ramamoorthy, S. K., Persson, A., & Skrifvars, M. (2014). Reusing Textile Waste as Reinforcements in Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 131, 01-16.

Ramamoorthy, S. K., Skrifvars, M., Alagar, R., & Akhtar, N. (2018). End-Of-Life Textiles as Reinforcements in Biocomposites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 487-498.

Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling e a review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365.

Staicu, D. (2018). Financial sustainability of social enterprise in Central and Eastern Europe, *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 12, 907-917.

Teunissen, J. (2017). Fashion data: *On the failing fashion system and alternative solutions*. Recuperado de <https://tijdelijkmodemuseum.hetnieuweinstituut.nl/en/fashion-data-failing-fashion-system-and-alternative-solutions-jose-teunissen-0>.

Trajković, D., Jordeva, S., Tomovska, E., & Zafirova, K. (2017). Polyester apparel cutting waste as insulation material. *The Journal of The Textile Institute*, 108, 1238-1245.

Wang, H., Kaur, G., Pensupa, N., Uisan, K., Du, C., Yang, X., & Lin, C. S. K. (2018). Textile waste valorization using submerged filamentous fungal fermentation. *Process safety and environmental protection*, 118, 143-151.

Yousef, S., Tatariants, M., Tichonovas, M., Kliucininkas, L., Lukošūūtė, S., & Yan, L. (2020). Sustainable green technology for recovery of cotton fibers and polyester from textile waste. *Journal of cleaner production*, 254, 1-11.

Yousef, S., Tatariants, M., Tichonovas, M., Sarwar, Z., Jonu I. S., & Kliucininkas, L. (2019). A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton. *Resources, conservation and recycling*, 145, 359-369.

Zhang, H., Gao, Z., Liu, Y., Ran, C., Mao, X., Kang, Q., Ao, W., Fu, J., Li, J., Liu, G., & Dai, J. (2018). Microwave-assisted pyrolysis of textile dyeing sludge, and migration and distribution of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 128-135.

Zonatti, W. F., Amaral, M. C., Gasi, F., Ramos, J. B., & Duleba, W. (2015). Waste Recycling in the Textile and Clothing Sector in Brazil: An Overview and Related Actions. *Sustentabilidade em Debate*, 6, 50-69.

Zou, Y., Reddy, N., & Yang, Y. (2011). Reusing polyester/cotton blend fabrics for composites. *Composites*, 42, 763-770.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Ademir José Velicko – 45%

Rafael Luis Amrginski – 45%

Marcelo Hemkemeier – 10%