REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2022, Vol. 12, No. 25
DOI 10.23972/det2022iss25pp28-37

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Requalificação funcional, estética e simbólica de resíduos de tecidos composto por poliamida e elastano

Renata G. Wanderley[1]; Lais H. G. Rodrigues[2]; Camila B. Vasconcelos[1];
Jacqueline S. Macêdo[3]; Andréa F. S. Costa[1]

1 *Núcleo de Design e Comunicação, Universidade Federal de Pernambuco/Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru-Pernambuco, Brasil*

2 *Doutora em Design, Centro de Artes e Comunicação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Pernambuco, Brasil*

3 *Mestre em Desenvolvimento em Meio Ambiente, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária, Recife-Pernambuco, Brasil*

RESUMO

O Polo de Moda do Agreste Pernambucano, envolve diversas atividades, geram inúmeras peças, mas também produzem resíduos diversos. Como resíduos sólidos destacam-se os retalhos de tecidos de composições diversas. O volume de resíduos têxteis de origem química compostos de poliamida, elastano e poliéster chega a ser imensurável. Não existe uma coleta especial para os resíduos têxteis, sendo eles descartados como lixo comum em aterros sanitários ou doados para comunidades para sua aplicação em produtos com pouco valor agregado. Esse cenário transforma esses resíduos em um problema econômico (desperdício), social (desvalorização) e ambiental (poluição). Esse contexto exige a requalificação funcional, estética e simbólica desses resíduos com a construção de um novo material para aplicação em produtos de design. Suas características permitem a eles serem trabalhados por processo físicos e químicos. Requalificar resíduos têxteis compostos de poliamida e elastano para aplicação em artefatos com valor de moda foi o objetivo do estudo. Para tanto foi experimentado dois processos: processo de fusão por calor indireto e processo por dissolução por glicerina. Ambos os processos foram eficientes para a reciclagem desses resíduos gerando materiais diversos, placas plásticas e pó e equipamentos distintos, equipamentos domésticos (forno e formas) e laboratoriais (Becker, chapa térmica, estufa, filtro a vácuo), respectivamente. Contudo, foi concluído que o processo de fusão por calor indireto é o mais indicado com algumas modificações do processo original. Ele é econômico, com custo baixo em estrutura, material e temporal; culturalmente representativo, adaptação e criação de símbolos materiais e imateriais, ambientalmente sustentável, com reaproveitamento de resíduos, uso pequeno de recursos, socialmente relevante, possibilitando sua execução por diferentes perfis de produtores. Além disso, segue os princípios da economia criativa, da sustentabilidade e da inovação. O material final é um material termoplástico, resistente e com flexibilidade dependente da espessura, com superfície heterógena, possibilidade de transformação (furação, lixamento, corte). Como aplicação é indicado para acessórios (colar, brinco e anel, bolsas e botões) e móveis (tampo de mesa, assento de cadeiras e bancos).

PALAVRAS-CHAVE
Poliamida, Elastano
Requalificação;
Ciclo de Vida;
Sustentabilidade

Functional and aesthetic requalification of by waste fabrics composed of polyamide and elastane.

ABSTRACT

The Agreste Pernambucano Fashion Center, involves several activities, generating numerous pieces, but also producing diverse waste. As solid waste, fabric scraps of different compositions stand out. The volume of textile waste of chemical origin composed of polyamide, elastane and polyester is immeasurable. There is no special collection for textile waste, which is discarded as common waste in landfills or donated to communities for application in products with little added value. This scenario transforms these residues into an economic (waste), social (devaluation) and environmental (pollution) problem. This context requires the functional, aesthetic and symbolic requalification of these wastes with the construction of a new material for application in design products. Their characteristics allow them to be worked by physical and chemical processes. Requalifying textile waste composed of polyamide and elastane for application in artifacts with fashion value was the objective of the study. For that, two processes were tried: Indirect heat melting process and glycerin dissolution process. Both processes were efficient for the recycling of these residues, generating different materials, plastic plates and dust and different equipment, domestic (oven and molds) and laboratory equipment (becker, thermal plate, oven, vacuum filter), respectively. However, it was concluded that the indirect heat melting process is the most suitable with some modifications of the original process. It is economical, with low cost in structure, material and time; culturally representative, adaptation and creation of material and immaterial symbols, environmentally sustainable, with reuse of waste, small use of resources, (d) socially relevant, allowing its execution by different profiles of producers. In addition, it follows the principles of creative economy, sustainability and innovation. The final material is a thermoplastic material, resistant and with flexibility depending on the thickness, with a heterogeneous surface, possibility of transformation (drilling, sanding, cutting. Accessories (necklace, earring and ring, bags and buttons) and furniture (table top, seat of chairs and benches).

KEYWORDS
Polyamide, Elastane, requalification, Life Cycle, Sustainability

CONTATO: Renata G. Wanderley – *renata.wanderley@ufpe.br*

© 2022 – Revista Design & Tecnologia

1 INTRODUÇÃO

A indústria da moda brasileira é estruturada por múltiplos Arranjos Produtivos Locais (APLs). Ela contempla muitos dos segmentos produtores de vestuário e indústrias de beneficiamento de peças confeccionadas. Segundo a Agreste Tex (2019), esse Polo de confecções tem uma produção de cerca de 800 milhões de peças.

É um segmento produtor de inúmeras peças com valor social e econômico, mas também de resíduos variados observados como: resíduos das etapas de produção (efluentes líquidos, sólidos e gasosos), descarte de peças consumidas (refugos) e retenção dos tecidos não comercializados que ficam mantidos nos estoques.

A produção de vestuário é constituída pelas etapas de pesquisa, concepção, produção (modelagem, corte, montagem e costura), acabamentos e beneficiamento. A etapa de corte é a grande geradora de resíduos. De acordo com Amaral et al. (2014), mesmo com modernos softwares para realizar o encaixe das peças na etapa do corte o desperdício ainda é computado em cerca de 12% da matéria prima, gerando um grande volume de retalhos de tecido.

Os tecidos são superfícies têxteis, estruturadas pelo entrelaçamento perpendicular de fios de urdume que estão organizados no comprimento e a trama que perpassa os fios de urdume em um tear e segue a orientação de um desenho estrutural (Pezzolo, 2007, Chataignier, 2006). Udale (2009, p. 70) afirma que "o modo como o fio de urdume e de trama são tramados juntos produz uma variedade de tecidos", considerados a matéria prima mais cara do processo produtivo das confecções e ainda assim, torna-se resíduos.

Os tecidos podem ser produzidos utilizando vários materiais poliméricos de origem natural e química (artificial e sintética). De acordo com Canevarolo (2002), polímeros são macromoléculas composta por muitas unidades de repetição denominadas monômeros, ligadas por ligações covalentes. Eles se diferenciam pela estrutura química, número médio de monômeros por cadeia e do tipo de ligação, estabelecendo diferentes propriedades.

Os polímeros químicos são caracterizados como materiais termoplásticos e termorrígidos. Segundo Callister (2007), polímeros termoplásticos são compostos sintéticos que reagem ao calor, tornando- se viscoso com o aumento da temperatura e solidificando após o resfriamento.

Callister Jr (2007) afirma que há diferentes técnicas para trabalhar materiais poliméricos e sua definição depende de suas características morfológicas, mecânicas e térmicas (termoplástico ou termofixo, temperatura de fusão). Entendendo essas características, o reaproveitamento de polímeros pode acontecer por meio de processo: mecânico utilizando alteração física; química, realizando alterações químicas e energética; recuperação de elementos ou na produção de energia.

Na indústria têxtil as fibras são polímeros utilizados no processo de manufatura de artefatos têxteis. Callister (2007, p 405), informa que para ser caracterizado uma fibra têxtil, o material deve apresentar uma "relação de comprimento e diâmetro de pelo menos 100:1". Segundo Udale (2017), elas podem ter origem natural, encontradas de forma bruta na natureza (algodão, linho, seda, lã) entre outros e química, produzidas, sendo artificial consideradas fibras regeneradas (viscose, acetato, triacetato) ou sintética provenientes de subprodutos da indústria petrolífera (poliuretano, poliamida, poliéster dentre outras).

Os tecidos de origem química sintéticos têm uso significativo no mercado da moda empregados em diversos setores da moda praia, íntima, fitness, surf wear e casual. Dentre eles, destacam-se tecidos compostos por poliamida e elastano e poliéster. Consequentemente, seus retalhos se constituem como resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) define como rejeitos tudo o que não pode ser reciclado ou reutilizado e como resíduos tudo aquilo que pode ter valor econômico. Os resíduos de tecidos são caracterizados como resíduos sólidos de classe II - não perigosos. Não apresentam periculosidade nem risco à saúde por suas propriedades químicas e físicas e são inertes (propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água) segundo critérios da NBR 10004 da ABNT (2004). Salienta-se que tecidos de origem química apresentam uma biodegradabilidade lenta, impactando negativamente o meio ambiente.

A destinação mais comum para esse tipo de resíduos têxteis poliméricos é o descarte junto ao lixo doméstico ou a doação. Entretanto, Amaral et al. (2014) afirma que a falta de uma logística adequada para coleta e o hábito de misturar os resíduos têxteis com rejeitos orgânicos diminui ainda mais a capacidade de reciclagem desses resíduos. Segundo Trajković et al (2017), na União Europeia são eliminados em torno de 5,8 milhões de toneladas de têxteis, com 75% deles sendo descartados em aterros ou incinerados e apenas 25%, reciclados. Também ressalta que em 2014 a produção de fibras artificiais representaram 70% da produção total de fibras mundiais. Portanto, o volume desses resíduos (a oferta), supera significativamente a capacidade atual de reciclagem (a demanda), indicando o problema de pesquisa. O design com a economia circular, a economia criativa, a inovação social e os princípios básicos da sustentabilidade podem trabalhar juntas para mudar esse cenário.

Segundo Laurindo (2016), o atual modelo linear de consumo (extrair, transformar e descartar), potencializado pelo fast fashion e o consumismo, torna-se insustentável a longo prazo, levando ao esgotamento de recursos naturais e devastação do meio ambiente. Em contrapartida, a autora defende que se os produtos fossem desenvolvidos a partir de um modelo econômico circular, levando-se em consideração seu retorno ao ciclo natural, o consumo desenfreado não seria um problema. Amaral et al. (2014), afirma ainda que todos os resíduos têxteis são passíveis de reutilização através de logística reversa, independente da composição.

A Economia Circular, termo popularizado em 2010, estabelece um modelo de relacionamento mais companheiro entre a economia, o meio ambiente e a sociedade. A Comissão Europeia (2014) aponta que a economia circular busca a reutilização, reparação, renovação e reciclagem dos materiais e produtos existentes com resíduos sendo um recurso. Assim, a economia circular defende uma reestruturação de toda a cadeia produtiva. Os produtos, serviços e processos são desenvolvidos para ter um ciclo de vida mais longo e possibilitar a atualização e/ou restauração. Eles devem ser pensados para serem duráveis, reparáveis e reutilizáveis, possibilitando a remanufatura e a reciclagem pela indústria fabricante ou por outras, diferença entre a economia circular e a linear apontada por Bonciu (2014). Assim, na fase de design os produtos e serviços devem ser projetados na perspectiva de que ao final de seu ciclo de vida, eles se tornem matéria-prima para outras indústrias. Com isso, os resíduos se tornam nutrientes, como defendem Braungart e McDonough (2013).

De acordo com Manzini e Vezolli (2008), todas as atividades que envolvem produção, distribuição, utilização e descarte fazem parte do ciclo de vida do produto. Assim, para os autores, o desenvolvimento de um produto ou serviço deve considerar todas essas etapas, desde a extração de sua matéria-prima até o tratamento dos seus resíduos. Como

orienta Manzini e Vezolli (2008, p.100) é uma ação sistêmica com os inputs de materiais e de energia e as emissões e refugos sejam minimizados ao máximo. Ávila et al. (2018) defende que essa proposta visa um menor impacto ambiental e o máximo aproveitamento dos recursos dentro do próprio ciclo de vida. Esta ideia é uma alternativa que promove a conscientização acerca dos problemas ambientais e do consumismo. Ela também se torna uma possibilidade estrategicamente muito interessante para as empresas, do ponto de vista econômico e social, reduzindo custos através do uso de tecnologias ou inovações. Essa abordagem é apelidada por Kazazian (2005) de "win-win".

A inovação faz parte dos quatro princípios que fundamentam o conceito de economia criativa, definido pelo Ministério da Cultura (2012) no Brasil. Inclusão social, sustentabilidade, inovação e diversidade cultural pautam a economia criativa como atividade econômica. O Ministério da Cultura (2012), afirma que estes princípios foram definidos a partir da realidade nacional: a inclusão social é a base de uma economia cooperativa e solidária, a sustentabilidade é fator de desenvolvimento local e regional, a inovação é a essência do desenvolvimento das expressões culturais brasileiras e a diversidade cultural define a importância da economia do país, baseada na riqueza de sua diversidade cultural e na criatividade, como processo e produto desta diversidade. Assim, para Ávila et al (2018), a economia criativa, como atividade econômica, desenvolve-se quando a criatividade de um indivíduo ou grupo produz ideias que podem ser comercializadas. Na economia criativa a tecnologia com textos, símbolos, imagens, tradições, processos estéticos, hábitos culturais e conhecimento popular constrói bens autênticos e intangíveis. Para o Sebrae (2019) o conhecimento, a criatividade e o capital intelectual são as principais ferramentas para o desenvolvimento.

Diante desse cenário, a requalificação dos resíduos têxteis de poliamida e elastano produzidos nas confecções do Polo do Agreste pernambucano se apresenta como um novo nutriente, uma nova matéria-prima e posterior desenvolvimento de produtos sustentáveis, interessantes e funcionais apresenta-se cada vez mais importante. Assim sendo, essa pesquisa buscou: mapear e caracterizar os resíduos têxteis de origem química do resíduo têxtil; caracterizar os processos disponíveis, potenciais, viáveis e funcionais para transformação desses resíduos em nova matéria-prima; identificar o processo mais adequado econômica e ambientalmente para essa transformação; qualificar o novo material em relação à flexibilidade, resistência, permeabilidade, entre outros e indicar as possibilidades de aplicações do novo material desenvolvido na pesquisa.

Harmsen e cols (2021) relatam que a reciclagem de materiais têxteis precisa ser orientada pelas ligações químicas componentes dos materiais e estruturas moleculares e sua relação com as propriedades dos polímeros que compõem as fibras. Para tanto, apresentam classificação para as fibras têxteis com base nas estruturas poliméricas: polissacarídeos (algodão, linho e viscose), poliésteres (PET), poliamidas (lã, seda e Nylon), poliuretanos (elastano), poliolefinas (PP: polipropileno e PE: polietileno) e poliacrílicos (acrílico).

Para os mesmos autores, a reciclagem acontece em: fibras, com a preservação da fibra; polímeros, com desestruturação da fibra e com preservação dos polímeros e monômeros, com desestruturação da fibra e polímeros e com preservação dos monômeros. Essas reciclagens podem acontecer por processo de: ordenação, redistribuição das fibras, mecânico, trituração dos tecidos ou cardação das fibras, físico, com reprocessamento de fibras e polímeros por fusão ou dissolução, químico, com quebra ou modificação das fibras e polímeros por processos químicos ou biológicos. A reciclagem de fibra envolve apenas o processo mecânico, a de polímeros pode trabalhar com mecânicos e físicos e a de monômeros pode empregar mecânicos e químicos.

Requalificar resíduos têxteis compostos de poliamida e elastano para aplicação em artefatos com valor de moda foi o objetivo do estudo.

De acordo com Harmsen e cols (2021) a reciclagem da poliamida sintética pode envolver a reciclagem física dos polímeros (bem alcançável) e química dos monômeros (bem alcançável). Para o elastano (outro componente dos tecidos - objeto de estudo 01 desta pesquisa) a reciclagem é mais complexa, segundo os mesmos autores, acontecendo por reciclagem de monômeros. A reciclagem física trabalha com a fusão e remodelagem do material por meio, por exemplo, de extrusão e compatibilização. A reciclagem química ocorre devido à despolimerização para a recuperação do material original.

Brasil e Cols (2016) realizou experimentos através do processo de fusão de retalhos de resíduos de tecidos mistos de poliamida 66 com até 5% (m/m) de elastano por meio de dissolução por glicerina.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa se caracterizou como: empírica, quando se fundamenta em conjunturas reais experimentadas e experimental, ao construir conhecimento por meio do objeto de estudo num contexto controlado e manipulado. Também se qualificou como projetual, quando desenvolve como resultado final propostas concretas com caráter material e/ou conceitual. E tem caráter interdisciplinar, ao abranger múltiplas áreas de conhecimento, como design, engenharia têxtil e química.

No contexto total, se estrutura com o método de procedimento estruturalista ao trabalhar o fenômeno por meio de um modelo expressivo e através de processos de desconstrução e construção. Emprega o método funcionalista quando considera o objeto de estudo como um sistema composto por partes com funções individuais, mas ao mesmo tempo correlatas e interdependentes.

Trabalhou como técnica de pesquisa bibliográfica. Esta se baseou em acervo bibliográfico e se estrutura por meio de documentação indireta com informações interpretadas por outros estudos por meio da análise de conteúdo e exame sistemático para a identificação, estruturação e avaliação dos conhecimentos.

Também aplicou testes. Fundamentou-se na experimentação de uma atividade para a determinação e apreciação do comportamento, funcionalidade, rendimento e frequência de ocorrência do fenômeno diante de um contexto específico.

2.1 Coleta e seleção dos resíduos

Foram coletados 137,5 kg refugos de tecido de malha tingidos e estampados de composições sintéticas variadas. Para o estudo foi selecionado os tecidos de malha composta de poliamida e elastano com porcentagens variada (92% de poliamida e 8% de elastano, 90% de poliamida e 10% de elastano, 87% de poliamida e 13% de elastano e 85% de poliamida e 15% de elastano), equivalente a 90% dos resíduos doados pelas confecções, Camboriú Fitness e Moda Praia, Michelle Moda Íntima e Confecções Yanomami situadas na cidade de Santa Cruz do Capibaribe/Pernambuco.

2.1.1 Poliamida

A poliamida, conhecida como nylon, é um polímero formado por monômeros de amida conectados por polimerização de condensação com associação de moléculas de carbono e amina e o descarte de água. Os vários tipos de poliamida são diferenciados pelo número de átomos de carbono existentes nas moléculas da matéria-prima.

Qualifica-se com termoplástica. Permite transformações, como pregas, frisagem e fios texturizados, quando com temperaturas adequadas. Seus pontos são para: amolecimento: PA 6 200 °C / PA 6.6 230 °C; fusão: PA 6 215 a 220 °C / PA 6.6 250 a 254 °C e passagem a ferro: PA 6 155 °C / PA 6.6 180 °C.

O manual técnico de fibras têxteis do Senai (2015) apresenta a poliamida PA com características de: baixa resistência aos ácidos; boa resistência aos álcalis; resistência a alguns solventes, solubilidade a compostos fenólicos e (e) excelente resistência ao mofo. Além disso possui: elevada tenacidade; resistência à abrasão; resistência aos agentes químicos sintéticos e naturais; baixo coeficiente de atrito; baixa absorção de umidade, alto grau de tingimento e elevada cristalinidade.

Com isso pode ser considerada uma fibra reciclável. As ligações de suas macromoléculas (por forças VAN DER WAALS ou ligações hidrogênio) reagem à temperatura, quebrando-se, fundindo-se e restabelecendo as ligações covalentes.

2.1.2 Elastano

O Elastano, conhecido popularmente como Lycra, também é um polímero termoplástico. É composto, principalmente, por poliuretano (isocianato e poliol, ácidos com átomos de hidrogênio ativos). Suas cadeias são constituídas por ligações uretânicas por polimerização por poliadição (adição de compostos, como catalisadores e/ou surfactantes, para a ocorrência de reações entre eles, sem separação de moléculas).

É um polímero termoplástico. Como aponta o manual técnico de fibras têxteis do Senai (2015), o ponto de fusão do elastano se apresenta entre 260 a 290 °C.

A fibra de elastano tem como propriedades: elevado poder de alongamento; capacidade de recuperar o comprimento original; leveza; resistência a sol e água salgada; elevada resistência a produtos químicos; baixa resistência aos produtos oleosos e perda de resistência em temperaturas elevadas É sempre trabalhada em combinação às outras fibras, com a conservação da aparência e toque da fibra principal.

2.2 Preparação do material

Os processos de transformação foram experimentados nos resíduos têxteis para desenvolver em nova matéria-prima. Foram testados: o processo físico para fundir os tecidos utilizando aquecimento e dissolução química dos tecidos em uma solução de glicerina aquecida. Estes envolveram 03 fases básicas: coleta e seleção de resíduos têxteis; preparação do material e processamento do material.

Os refugos dos tecidos que apresentavam a composição mista (poliamida e elastano) foram separados, picotados usando uma tesoura de costura padrão (Figura 1a e 1b) em tamanhos pequenos (variando entre 1cm a 3cm). Em seguida foram pesados em uma balança digital analítica modelo MH 500 com precisão de 0,1g e capacidade de até 500g (Figura 1a e 1b). Separando 200 g e 500 g de tecidos para o processo de fusão e 40g para o processo químico com glicerina.

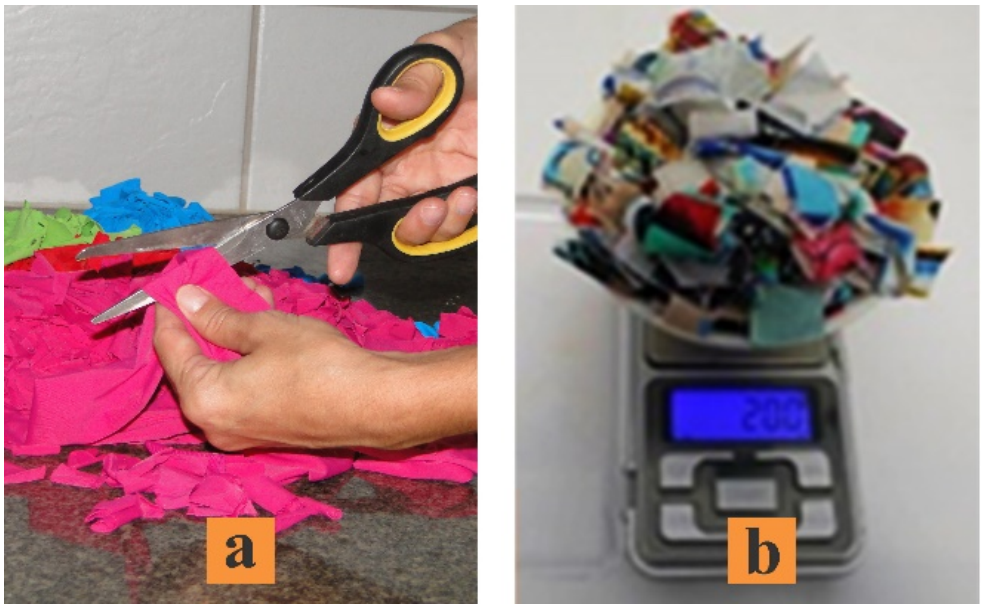


Figura 1 Preparação dos resíduos têxteis compostos de poliamida e elastano. (a) Picotagem e (b) pesagem Fonte**:** Elaborado pelos autores (2020)

2.2.1 Processo de fusão

O processo de fusão apresentado por BRASIL et al. (2016) trabalha com o aumento da temperatura como técnica para o derretimento do material. Esse processo se baseia na capacidade das fibras químicas sintéticas de atingir o ponto de fusão antes de serem carbonizadas, tornando-se viscoso, quase líquido e depois quando resfriado, volta ao estado sólido como um novo material.

Os experimentos com o processo de fusão por calor indireto, denominação conferida por essa pesquisa, foram desenvolvidos em ambiente doméstico. Seguiram como protocolo 05 etapas:

1) Preparação da bandeja com revestimento de papel alumínio (Figura 2a);
2) Distribuição dos resíduos em fôrma culinária de metal retangular com 25 cm x 35 cm e redonda com raio de 15 cm (Figura 2b e 2c);
3) Introdução da amostra no forno doméstico em temperatura de 260 °C por 10 minutos (Figura 2d);

4) Esfriamento da fôrma e do material fora do forno em temperatura (entre 28 a 30 °C) e umidade (média de 80%) ambiente (Figura 2e).



Figura 2 Experimento utilizando a fusão dos resíduos têxteis. Figura (a) revestimento da bandeja com papel de alumínio para auxiliar a remoção do material fundido, (b - c) distribuição do material na bandeja, (d) bandeja colocada no forno doméstico (e) esfriamento do resíduo fundido/novo material.Fonte**:** Elaborado pelos autores (2020)

2.2.2 Dissolução em glicerina

O processo de dissolução em glicerina aplicado por Baumi *et al.* (2018) indica a glicerina U.S.P, adquirida comercialmente, e a glicerina loira, oriunda da produção de biodiesel de sebo bovino, algodão e soja, como material para a dissolvência dos resíduos têxteis.

Esse processo de dissolução apresentado nessa pesquisa, foi realizado no laboratório de química da UFPE/CAA por um técnico colaborador em química com o acompanhamento das pesquisadoras. Foi utilizada uma proporção de resíduos têxteis/glicerina de 2:3 adaptada do artigo referência.

O experimento envolveu um protocolo de 08 etapas:

1) Pesagem de 40 g resíduos têxteis e 60 g de glicerina medido em proveta volumétrica (Figura 3a).

2) Aquecimento da glicerina em um Becker de 250 ml em chapa, estabilizando o sistema em 190 °C com o auxílio de um termômetro (Figura 3b).

3) Submersão gradativa dos resíduos de tecidos no Becker que continha glicerina aquecida (Figura 3c).

4) Manutenção do sistema sob agitação moderada por 10 minutos, tempo suficiente para dispersão total da amostra, nas condições do experimento (Figura 3d).

5) 500ml de água aquecida até 40°C (Figura 3e).

6) A mistura da solução com água foi feita em liquidificador, batendo o sistema por aproximadamente 5 minutos, em condições de teste, até a obtenção de uma preparação caracteristicamente coloidal (Figura 3f).

7) Filtragem da mistura utilizando um sistema de vácuo para separação das fases do sistema: o pó dos tecidos e a água com glicerina (Figura 3g).

8) Secagem do material sob aquecimento de 105 °C em estufa por aproximadamente 4 horas (Figura 3h).



Figura 3 Experimento utilizando diluição dos resíduos têxteis utilizando glicerina. Figuras: (a) separação dos resíduos têxteis e da glicerina, (b) aquecimento da glicerina ,(c) submersão dos resíduos têxteis em glicerina, (d) agitação do material em glicerina, (e) aquecimento da água ,(f) material sendo liquidificado , (g) filtragem a vácuo. Fonte: Elaborado pelos autores (2020

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dois processos experimentados foram apresentados através de seus resultados: volume, aspectos estéticos, temporalidade, entre outros. Foram também discutidos segundo sua funcionalidade com capacidade de transformação dos resíduos, sua representatividade (simbologia cultural), sua sociabilidade (possibilidade de realização por diferentes perfis de produtores), sua viabilidade (custos, disponibilidades, valor comercial) e sua sustentabilidade ambiental.

3.1 O processo de fusão por calor indireto

A fusão dos resíduos têxteis progride do centro da forma de alumínio para as margens e de baixo para cima. O tempo do processo é influenciado pela temperatura atingida pelo forno, tendo em vista que um forno doméstico apresenta uma calibração de temperatura. No entanto, foi observado que para 100g de resíduo, independente da composição a fusão aconteceu em 10 minutos.

O volume dos resíduos se reduz em torno de 1/3 do original com a massa permanecendo semelhante. As cores se modificam, escurecendo devido a presença do calor. As estampas desaparecem resultando numa mistura de cores. A superfície das placas são texturizadas tanto no aspecto visual como tátil. Foi observado que quando os tecidos apresentavam uma composição com muito elastano formavam bolhas na superfície.

Não foi possível modelar o material fundido, pois não apresentou plasticidade. O material fica muito quente e endurece rápido quando resfriando.

O material final são placas plásticas pouco homogêneas que adquirem a forma da bandeja utilizada (Figura 4). Internamente, o material é aerado e apresenta uma espessura grossa (Figura 4).



Figura 4 O novo material - Placas plásticas (Fonte: Elaborado pelos autores, 2020).

3.2 O processo de dissolução em glicerina

O tempo para o processo de dissolução dos resíduos têxteis variou em função da composição da amostra. Entre 3 a 8 minutos iniciou a dissolução e finalizou após 20/30 minutos. Esse processo de derretimento dos tecidos tornou a glicerina menos viscosa.

O material resultante foi um pó homogêneo com baixa densidade e granulometria (Figura 5). As cores dos tecidos resultaram num pó de aspecto cinza homogêneo num tom claro.

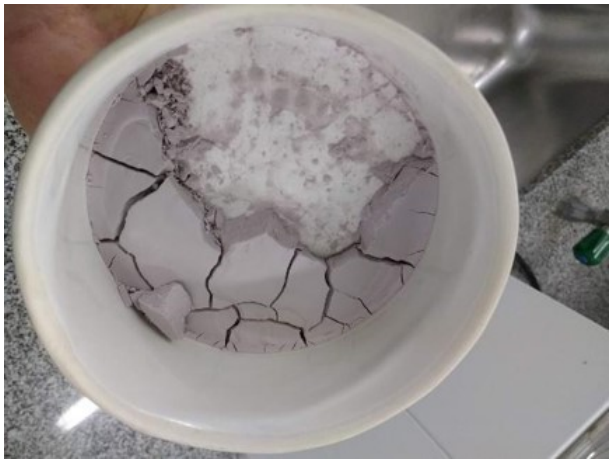


Figura 5 Dissolução com glicerina, pó em tom cinza. Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

3.3 A análise dos processos

Os dois processos experimentados requalificam os resíduos, transformando os resíduos têxteis em novos materiais, placa rígida e pó fino em tom cinza. Contudo, esses novos materiais possuem características bem distintas e diferentes possibilidades de aplicação e aplicação.

O material fundido é um polímero termoplástico. Ainda viscoso não permite manipulação manual e quando atinge a temperatura ambiente se pode utilizar utensílios e equipamentos para esculpir e recortar. Segundo análises macroscópicas, as placas podem ser transformadas em produtos com valor de moda e suas características são pouco controladas. As placas apresentam uma estética própria e bastante simbologia, permitindo muitas aplicações utilizando intervenções diversas mesmo apresentando rigidez média.

O pó é visualmente básico, apresenta uma granulometria interessante para proporcionar valor estético-simbólico a muitos artefatos, permite manipulação e misturas, depende da reação química e física com outros materiais. O pó pode ser transformado em um compósito e depois pode ser transformado em um artefato.

Os dois protocolos específicos envolvidos nos processos comprovaram funcionalidade e ambos demonstraram ser adequados e de elevado valor agregado. O processo de fusão envolve ações simples do cotidiano. A fusão necessita de utensílios domésticos de utilização. Fornos domésticos permitem um controle da temperatura sem exatidão. A fôrma de metal coberta com papel de alumínio é o suporte para a fusão e a moldagem material.

O processo com glicerina, entretanto, exige ações mais complexas e requer conhecimentos específicos de química e deve ser realizado em laboratório utilizando equipamentos e utensílios específicos. A dissolução por glicerina envolve procedimentos laboratoriais, reagente químico e com complexidade de execução.

Por fim, ambos os processos também geram novos resíduos. No processo de fusão, se produz um gás tóxico que apresenta cheiro forte durante o derretimento dos resíduos de tecidos sintéticos. Outro descarte é papel alumínio que é utilizado como suporte da fôrma de alumínio. No processo com glicerina, sobram a própria glicerina e água que auxilia a mistura e também libera um gás durante o aquecimento da solução.

4 CONCLUSÃO

Diante das apresentações e da análise dos processos apresentados, o "processo de fusão por calor indireto" é indicado como o processo mais satisfatório para a requalificação funcional de retalhos de tecidos compostos por poliamida e elastano para desenvolvimento de produtos com valor de moda. Entretanto, observa-se a necessidade de alguns ajustes nas etapas originais para melhorar tecnicamente, aperfeiçoar os aspectos estético-simbólico e possibilitar sustentabilidade ao processo e ao produto final. Para tanto, foram realizados novos experimentos com mudanças instrumentais, testes nas placas para qualificação funcional e experimentadas algumas possibilidades de aplicação para o material.

Como o protocolo de ação foi qualificado como eficiente, suas ações bases foram preservadas. Contudo, foi eliminada "a preparação da bandeja com revestimento de papel alumínio" ao ser indicada na análise com uma mudança importante. Foram experimentadas fôrmas culinárias de cerâmica marrom, preta e vitrificada, fôrma de vidro e fôrma de silicone. As fôrmas de cerâmica marrom e de silicone permitiram o material fundido ser removido com facilidade sem danos a nada. As fôrmas de cerâmica vitrificadas só conseguirem soltar os materiais no primeiro uso, depois parte deles ficou presa. Nas fôrmas de cerâmica preta e de vidro, o material é extraído com muita dificuldade, danificando tanto o material (quebrando-o) como a fôrma (soltando parte da estrutura).

Para a ampliação das possibilidades de equipamentos foram experimentados forno de micro-ondas (Panasonic Piccolo Light na potência máxima), forno elétrico (Hot grill line de bancada da Fisher com potência de 1450W) e forno para queima de cerâmica. O micro-ondas não permite a fusão do material, queimando o material com rapidez. O forno elétrico trabalha de forma semelhante ao forno a gás, fundindo bem o material, mas com temporalidade mais prolongada. O forno para cerâmica é funcional, mas é mais complexo para o processo pois necessita de tempo para resfriamento dificultando o controle da temporalidade e não tem visualização interna.

Para a compreensão funcional do material final foram testadas de forma empírica flexibilidade, resistência e possibilidades de transformação (furação, corte e lixamento). Na flexibilidade, as placas com diversas gramaturas foram forçadas manualmente nas extremidades para a verificação de sua possibilidade de dobragem. A resistência foi testada experimentando pesos (de 50 a 120 kg) sobre as placas quando apoiadas nas extremidades por cavaletes. E para as transformações foram usados equipamentos domésticos diretamente nas placas para a execução das ações: furadeira, serra tico-tico e lixadeira.

O "processo de fusão por calor indireto" é portanto, o processo mais apropriado econômico, cultural, social e sustentavelmente para a requalificação funcional de retalhos de tecidos com poliamida e elastano. Ele é econômico, com custo baixo em estrutura, material e temporal; culturalmente representativo, com possibilidade de adaptação e criação de símbolos materiais e imateriais, ambientalmente sustentável, com reaproveitamento de resíduos danosos, uso pequeno de recursos energéticos, materiais, entre outros, e, consequentemente, socialmente relevante, possibilitando, inclusão, ocupação, renda, pertencimento, acesso a bens materiais e imateriais, cooperação com meio ambiente, entre outros.

O material fundido é uma recuperação eficiente e simples dos resíduos. Ele é um polímero termoplástico que, como afirma Ferrante (2002), é facilmente conformado na forma final e, como aponta Mazuca et al. (2021), com apenas uma ação sendo suficiente. Permite novas repetições com o mesmo processo. Trabalhando insumos recicláveis, não extraídos com constância no meio ambiente efetiva a economia circular, defendida por Braungart e McDonough (2013) e também os princípios do ciclo de vida sustentável, apresentado por Manzini e Vezolli (2008).

Demonstrou ser funcional, podendo ser matéria-prima base para inúmeros artefatos, simbólico, apresentando identidade cultural (resíduos característicos de segmento forte na região) e expressando sustentabilidade ambiental (aproveitamento de resíduos) e estético, tendo características visuais próprias e diferentes. Com isso, atende bem as três funções (prática, estética e simbólica) importantes para materiais e objetos construídos pelo design, como apontados por Lobach (2001). Atende a solicitação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) através do reaproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva a partir de um design que trabalha a reciclagem e pensa a partir do princípio da inovação, um dos fundamentos da economia criativa, como define o Ministério da Cultura (2011).

Seu processo de construção (trituração, pesagem, conformação e fusão) é adequado e de simples realização. Os equipamentos e ferramentas são acessíveis e de fácil operação com carácter doméstico. A atividade produtiva, portanto, pode ser realizada por diferentes perfis (econômico, cultural, educacional e social) de produtores. Satisfazem mais dois princípios fundamentais da economia criativa: a inclusão social e a diversidade cultural do Ministério da Cultura, (2011). Cria-se, a partir dessa perspectiva, um sistema social de reaproveitamento que contribui para um pensamento sustentável de longo prazo, propiciando eficiência econômica, ambiental e social, pensamento base da economia circular, como apresenta Bonciu (2014).

Utiliza apenas o material base e poucos recursos energéticos. Trabalha, assim, a sustentabilidade, quarto e último princípio da economia criativa do Ministério da Cultura, (2011). A partir do aproveitamento máximo dos recursos dentro da própria cadeia produtiva da indústria têxtil, essa proposta conversa também com os fundamentos do ciclo de vida sustentável de Manzini e Vezolli (2008) e da economia circular de Bonciu (2014).

As placas, independente da gramatura, são resistentes. Quando finas, são flexíveis mas não quebram e, quando grossas, não têm nenhuma flexibilidade e aguentam bastante peso. Permitem facilmente modelagem, podendo ser furadas, lixadas e cortadas com serra, mas apenas as placas finas podem ser cortadas em máquina de corte a laser. De acordo com Ashby (2002), os requisitos de design necessários para cada artefato são atingidos com a combinação das propriedades dos materiais como resistência, elasticidade, temperatura, expansão térmica, preço, entre outros.

Contudo, não há um controle dos resultados estéticos. As texturizações das placas são heterogêneas. As questões logísticas (coleta, separação, distância entre a área de produção e mercado consumidor) são questões importantes para o trabalho com resíduos. A reprodutibilidade do material,

como indica Luiken e Bouwhuis (2015), destaca-se significativamente como requisito fundamental para a produtividade da atividade.

Acredita-se no potencial do material para a indústria da moda, do mobiliário e dos objetos de decoração. Diante dessas qualificações, foram desenvolvidas algumas aplicações para as placas rígidas: acessórios - colar, brinco, anel, bolsas e botão (Figura 6), móveis banco, mesa e cadeira (Figura 7).



Figura 6 **Acessórios desenvolvidos com o novo** material que foi obtido a partir da fusão dos resíduos de têxteis sintéticos. **Fonte: Elaborado pelos autores** (2020



Figura 7 **Móveis** desenvolvidos com o novo material que foi obtido a partir da fusão dos resíduos de têxteis sintéticos. **Fonte: Elaborado pelos autores (2020)**

Apesar dos mobiliários e utilitários terem impacto estético e simbólico, a funcionalidade precisa ser avaliada mediante testes de usabilidade. Os acessórios desenvolvidos: bijuterias, bolsa e botões e, os objetos de decoração apresentam destaque visual e são viáveis para o processo produtivo, comercial e mercadologicamente. Priorizando o design que vislumbre o reuso e a reciclagem, coloca-se em prática os fundamentos da economia circular e do ciclo de vida do

produto, tornando seus outputs seus inputs, como defende Bonciu (2014).

Em se tratando da construção mais conceitual dos mobiliários e utilitários, percebe-se que as qualificações do material apesar de adequadas aos requisitos básicos dos produtos, demanda um aprimoramento para maior homogeneidade, conforto e estabilidade, harmonizando as características do material com suas necessidades, como indica Ashby (2002).

Apesar desse contexto viável e interessante do processo de fusão por calor indireto para a requalificação dos retalhos de tecidos sintéticos com poliamida e elastano, alguns problemas, ou melhor, contratempos ainda são verificados. Algumas novas soluções podem ser trabalhadas para superá-los, ou pelo menos minimizá-los.

A heterogeneidade da textura, a compactação do material e a degradação de parte do material devido ao tempo de forno devem ser minimizadas para aumentar a qualidade do material. O cheiro resultante do processo de fusão precisa ser compreendido e controlado para aumentar a sustentabilidade do processo.

Adaptações dos processos e dos equipamentos como a movimentação do material no forno podem contribuir para a otimização da atividade produtiva. Novos equipamentos, como extrusora e injetora de plásticos, e ferramentas como formas com tampas com pressão podem ser explorados para ampliar a aplicabilidade e execução da atividade e dos materiais.

Teste mecânicos, térmicos, ópticos acadêmicos no material caracterizariam melhor o material. Com isso, a experimentação e indicação de outras aplicações também é interessante.

Também o nível de sustentabilidade da atividade produtiva poderia ser melhor caracterizada para composição, toxicidade, degradação, uso, entre outros dos materiais, produtos, equipamentos. Com isso, tanto mudanças necessárias com ações novas poderiam ser indicadas. Também alguns parâmetros e diretrizes podem ser incorporadas, quando não bem exploradas.

Enfim, esse material e sua atividade produtiva cooperam para a sustentabilidade ambiental, promoção econômico-social e a expressão cultural. Eles estimulam a economia circular, trabalham com a economia criativa e podem ser uma inovação social.

REFERÊNCIAS

1. ABNT. NBR 10004 - Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
2. AGRESTE TEX. Entenda a influência do polo têxtil no Agreste Pernambucano. 4a Feira de máquinas e serviço para o setor têxtil e confecção. Caruaru,2019.
3. AMARAL, MC BARUQUE, R.J FERREIRA, A.C. A política nacional de resíduos sólidos e a logística reversa no Setor têxtil e de confecção nacional. 2o Congresso Científico Têxtil e de Moda - CONTEXMOD, v.1, n.2., 2014.
4. ASHBY, M; JOHNSON, K.. Materials and Design: the art and science of material selection Product design, .Burlington, Elsevier, 2002.
5. ÁVILA, A.P.S; MACIEL, D.H; SILVEIRA, I, RECH, S. Os resíduos têxteis sólidos no contexto de abordagens sustentáveis: Ciclo de vida, economia circular e upcycling. Mix Sustentável, 4:3, pp 15-22,2008.
6. BAUMI, J. BERTOSSE, C. M.; CARVALHO, G. M.; GUEDES, C. L. B. Utilização de Glicerina da Produção de Biodiesel na Reciclagem de Retraço Têxtil. Revista. Virtual Química, 9:4, 2017.
7. BONCIU, F. The European Economy: From a Linear to a Circular Economy. Romanian Journal of European Affairs 14:4, pp 78-91, 2014.
8. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.
9. BRASIL, M. A.; MARTINS, S.B.; SAMPAIO, C. P. Desenvolvimento de um novo material a partir da fusão e moldagem de resíduos têxteis sintéticos. Revista Icônica. 2:1. 2016.
10. BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.. Cradle to Cradle: criar e reciclar ilimitadamente. São Paulo, Editora G. Gili, 2013.
11. CALLISTER JR, W.D. Ciências e Engenharia dos Materiais: uma Introdução. Rio de Janeiro, LTC, 2007.
12. CANEVAROLO Jr, S.V. Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2 ed. São Paulo, Artliber Editora, 2002.
13. CHATAIGNIER. G. Fio a fio: tecidos, moda e linguagem. São Paulo, Estação das letras Editora, 2006.
14. FERRANTE, M. Seleção de materiais. 2° Ed, São Paulo, EdUFSCar, 2002.
15. HARMSEN, P.; SCHEFFER, M.; BOSS, H.. Textiles for Circular Fashion: The Logic behind Recycling Options. Sustainability, 13:17, 2021.
16. KAZAZIAN, T. (Org.). Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável. Ed., São Paulo, Editora Senac São Paulo, 2009.
17. LAURINDO, M. A Viabilidade da Economia Circular à Luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2016.
18. LÖBACH, B. Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo, Edgard Blücher, 2001.
19. LUIKEN, A.; BOUWHUIS, G.. Recovery and Recycling of Denim Waste. Denim: Manufacture, Finishing and Applications. USA, Elsevier Science & Technology, cap 18, pp 527-540, 2015.
20. MANZINI, E.; VEZZOLI, C.. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2008.
21. MAZZUCA, D. C., SCHNEIDER, E.L., BRETSCHNEIDER, M., DIAS, M. M. Seleção de termoplásticos e processo multimateriais para projeto de utensílios domésticos bi-componentes. Design e Tecnologia, 11:22, pp 103-115, 2021
22. MINISTÉRIO DA CULTURA. Plano da Secretaria da Economia Criativa: Políticas, Diretrizes e Ações 2011 a 2014. 2 Ed. Brasília, Ministério da Cultura, 2011.
23. MINISTÉRIO DA CULTURA. Plano da Secretaria da Economia Criativa: políticas, diretrizes e ações. Brasília, Ministério da Cultura 2012.
24. PEZZOLO, D. B. Tecidos: história, tramas, tipos e usos. São Paulo, Editora Senac São Paulo, 2007.
25. SENAI. Manual técnico têxtil e vestuário: 01 Fibras têxteis. São Paulo, SENAI, 2015.

26. SEBRAE. O microempreendedor individual e a Economia Criativa. Ceará, SEBRAE CEARÀ, 2018.

27. TRAJKOVIĆ, D., JORDEVA, S., TOMOVSKA, E., & ZAFIROVA, K. Polyester apparel cutting waste as insulation material. The Journal of The Textile Institute 108, P.1238 1245, 2017.

28. UDALE, J.. Fundamentos de design de moda: tecidos e moda. Porto Alegre, Bookman, 2009.

29. ARAKAKI, M., BARATA, T. Q. F., de Andrade Neto, M. L., & José Pinheiro, O. (2022). Análise do plano de sustentabilidade da UFMS segundo critérios do UI GreenMetric World University Ranking. Design E Tecnologia, 12(24), 01-14. https://doi.org/10.23972/det2022iss24pp01-14