

# MATERIAL DRIVE DESIGN E LOGISTICA REVERSA: TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS EM BIOMATERIAIS

*MATERIAL-DRIVEN DESIGN AND REVERSE LOGISTICS: TRANSFORMING WASTE INTO BIOMATERIALS*

FARIA, Letícia; Mestre; Universidade do Estado do Pará

Leticia.f.teixeira@uepa.br

SANTOS, Núbia; Doutora; Universidade do Estado do Pará

nubiasantos@uepa.br

## Resumo

A economia circular e a logística reversa surgem como alternativas sustentáveis diante de problemas ambientais de gestão de resíduos sólidos, pois, tais alternativas possibilitam a reinserção de materiais à indústria após o consumo, prolongando a vida útil desses materiais. A partir disso, a presente pesquisa propôs a criação de um biomaterial, composto de polímeros biodegradáveis, a partir do aproveitamento de resíduos celulósicos, para isso, coletou-se de resíduos de papel para a reciclagem e utilização de amido da mandioca como matriz para a fabricação de um bioplástico, a pesquisa empregou o método *Material Driven Design* (MDD) para a concepção do material. Como resultado, a partir da aplicação da metodologia MDD, foram obtidas amostras do material composto de amido e resíduos celulósicos, sendo elaborados proposta de aplicação para o material gerado. Logo, foi possível concluir a importância da aplicação da economia circular e logística reversa, e o design sustentável para a da geração de novas alternativas e produtos a partir do emprego de resíduos na fabricação de novos produtos e materiais.

**Palavras Chave:** Bioplástico; Sustentabilidade; Biodesign.

## Abstract

*The circular economy and reverse logistics emerge as sustainable solutions to address environmental issues in solid waste management, enabling the reintegration of materials into the industry post-consumption and extending their lifecycle. Consequently, this research proposed the creation of a biomaterial composed of biodegradable polymers derived from the utilization of cellulosic waste. Paper waste was collected for recycling, and cassava starch was used as the matrix to produce a bioplastic. The Material Driven Design (MDD) method was employed for the material's conception. As a result of applying the MDD methodology, samples of the composite material made from starch and cellulosic waste were obtained, and potential applications for the generated material were proposed. The study concludes the importance of implementing the circular economy and reverse logistics, as well as sustainable design, to generate new alternatives and products from waste in the manufacturing of new materials.*

**Keywords:** Bioplastic; Sustainability; Biodesign.

## 1 Introdução

Com o aumento da produção e consumo de bens materiais (Pereira; Silva, 2010), a discussão quanto a questão ambiental ganha destaque, principalmente a gestão dos resíduos nos centros urbanos, a busca de alternativas para a redução do lixo e a seu destino após o consumo (Gonçalves-Dias, 2006). Sendo necessárias ações para o reprocessamento e reinserção de resíduos sólidos na cadeia produtiva (Oliveira; França; Rangel, 2019) por meio do desenvolvimento de novos produtos tendo como matéria prima resíduos reciclados. Dentre os meios para a geração de produtos mais sustentáveis, a logística reversa e economia circular se mostram como estratégias para produtos sustentáveis e reinserção de resíduos no ciclo produtivo.

A partir disso, o trabalho tem como objetivo promover alternativas de reinserção de resíduos celulósicos oriundos do papel pós-consumo, na cadeia produtiva, por meio do desenvolvimento de produtos sustentáveis. O presente trabalho busca desenvolver soluções sustentáveis a partir do emprego de um material biodegradável, desenvolvido a partir de resíduos celulósicos pós-consumo e amido de mandioca. Para isso é necessário compreender como o reaproveitamento de resíduos e o emprego de materiais biodegradáveis alinham-se à economia circular e logística reversa na geração de produtos sustentáveis.

## 2 Circularidade e Sustentabilidade

O crescimento acentuado da população mundial, aumento da pobreza e das desigualdades sociais e os problemas ambientais como as mudanças climáticas, escassez hídrica, perda da biodiversidade e exaustão dos recursos naturais se mostram como os principais desafios da sociedade, onde o modelo econômico linear de produção e consumo se mostra ineficiente para resolução de tais problemáticas (Confederação Nacional da Indústria, 2018).

Como estratégia para tal, desponta a economia circular, definida como um modelo econômico orientado para o uso eficiente dos recursos e minimização dos resíduos, e empregando os conceitos de valor de longo prazo e redução dos ciclos fechados de produtos (Morseletto, 2020). A economia circular (EC) atua como restauradora e regeneradora ao substituir o “fim de vida” pela reparação, por meio de ações como a reutilização, reciclagem e recuperação de matérias no ciclo produtivo (Kirchherr et al., 2017). Assim, a EC fomenta novas propostas, propondo mudanças na forma de design e consumo de produtos (Cosenza et al., 2020).

No que tange ao processo de design, a cadeia de valor da EC é impulsionada pelo fluxo de matérias, e por meio da restauração e do design, onde os produtos e materiais podem ser remanufaturados (Kalmykova et al, 2018). Dentre as áreas de atuação do design, a seleção e estudo de materiais se apresenta como fundamental, pois tem como meta manter a utilidade e valor em todo ciclo, o produto deve objetivar a durabilidade e facilidade para ações de restauração no fim da vida, como reaproveitamento e reciclagem dos resíduos gerados de acordo com Ellen McArthur Foundation – EMF- (2015).

Dentre os instrumentos contidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) referentes a gestão de resíduos sólidos, a logística reversa (LR) se destaca com um importante conjunto de ações voltadas para a destinação adequada de resíduos (Costa et al., 2019) e conseqüentemente como um mecanismo para concretização dos objetivos da Economia circular referente a restauração de resíduos sólidos na cadeia produtiva. A logística reversa é definida como um sistema destinado a viabilizar a coleta e restituição dos resíduos ao setor empresarial, e objetiva o reaproveitamento de resíduos no ciclo produtivo (Speranza; Moretti, 2014), ou seja, recuperar produtos após o seu

consumo, de modo a agregar valor a esses resíduos (Demajorovic; Massote, 2017).

Com o crescimento populacional e a urbanização, os resíduos sólidos aumentam em quantidade e diversidade (Gouveia, 2012), com destino e acúmulo em aterros sanitários (Gonçalves-Dias, 2006). De acordo com a última pesquisa do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) em 2022, 11,9% dos resíduos são destinados em lixões e 73,7% à aterros sanitários, e apenas 32,2% dos municípios brasileiros apresentam sistema de coleta seletiva. Assim, mecanismos como a logística reversa e economia circular tem um papel fundamental para desenvolvimento de novos usos dos resíduos descartados.

Tanto a economia circular quanto a logística reversa apresentam procedimentos referentes à recuperação de materiais, como a reciclagem e estratégias de desenvolvimento de novos materiais e produtos biodegradáveis a partir do reaproveitamento de resíduos, são estratégias para o desenvolvimento de produtos verdes e sustentáveis. Ramos et al (2015) relata um estudo de caso a partir da logística reversa no setor metalúrgico a partir da destinação adequado dos resíduos gerados, por meio de ações como coleta seletiva dos resíduos, reciclagem para resíduos plásticos, os resíduos metálicos gerados são utilizados como matéria-prima secundária. Assim, a reciclagem, também pode ser considerada um método viável para o reaproveitamento de resíduos, pois, possui a vantagem de contribuir com a redução da quantidade de resíduos sólidos e o aumento da vida útil de aterros (Franchetti; Marconato, 2006).

Desse modo, ações voltadas para recuperação de resíduos se revelam fundamental, em 2022 a CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) publicou relatório com os índices de reciclagem de resíduos no Brasil, com a alumínio (100%) e papel (85%) como os materiais com a maior taxa de reciclagem, em que, o Brasil é configurado com um dos principais países recicladores de alumínio e papel, somente o papel obteve a recuperação 5,1 milhões de toneladas, as quais retornaram para o ciclo produtivo. Tais ações também se mostram relevante considerando que somente de papel 8,57 milhões de toneladas são descartadas anualmente (GANDRA, 2022). Entretanto, a reciclagem não deve ser considerada como único método de recuperação. A fabricação de produtos e materiais biodegradáveis a partir de resíduos domésticos, bem como, provenientes da indústria e agroindústria se expõem como uma alternativa parcial para destinação de resíduos.

Como meta de redução dos impactos ambientais, visa-se a utilização de produtos de origem renovável, a partir disso bioplásticos, plásticos e polímeros biodegradáveis ganham destaque quanto ao desenvolvimento de produtos sustentáveis (Mei, 2016). Polímeros biodegradáveis, são definidos como materiais cuja degradação é resultante da ação de microrganismos de ocorrência natural como algas, fungos e bactérias, sendo esses polímeros consumido em semanas ou meses quando exposto a condições favoráveis (Brito et al, 2017).

O acúmulo de lixo não biodegradável e a demanda na qualidade ambiental, gera o crescente interesse na fabricação de embalagens biodegradáveis à base de fontes renováveis. A exemplo o amido, destacando-se como insumo para a produção de embalagens biodegradáveis (Olivato, et al., 2006), podendo ser encontrado em diversas fontes vegetais como cereais, raízes e tubérculos (Mali et al., 2010). Entretanto, materiais compostos exclusivamente de amido, não apresentam boa viabilidade devida a características como a alta afinidade com água e baixa resistência mecânica em elevadas umidades (Debiagi et al, 2010). Para isso, são utilizadas fibras vegetais como reforço para o amido na confecção de produtos e embalagens (Marengo et al., 2013). A aplicação do amido em produtos originado de polímeros biodegradáveis, se mostra de grande interesse para indústria, devido a sua biodegradabilidade e abundância na natureza (Debiagi et al, 2010).

Além do amido, materiais como celulose e gomas, também são estudados para obtenção de biofilmes (De Azevêdo, 2018). Sendo a celulose o polímero mais abundante no planeta e constituinte das plantas, encontrado em fibras, plantas, madeiras e outros (Schlemmer, 2014). Matéria-prima utilizada na fabricação de papéis, tecido e outros, ganha destaque quanto a sua aplicação como reforço em compósitos poliméricos e biocompósitos, a exemplo da aplicação de fibras vegetais e materiais lignocelulósicos adicionadas a polímeros como o amido (Debiagi et al, 2012). A celulose é empregada como matéria-prima de diversos produtos em decorrência de suas propriedades como alta rigidez, biodegradabilidade e origem renovável (De Souza, 2015).

### 3 Material e Métodos

De acordo com seu propósito a pesquisa se caracteriza como exploratória, pois busca conciliar os conceitos de economia circular, design e materiais biodegradáveis e propor alternativas de materiais sustentáveis, além de explicitar a importância desse tema frente aos problemas ambientais. A pesquisa de caráter qualitativo, utiliza-se de pesquisa bibliográfica com o levantamento em livros e periódicos científicos para a compreensão do tema proposto, assim como, ferramentas de auxílio para o desenvolvimento do material.

Figura 1 – Etapas do MDD

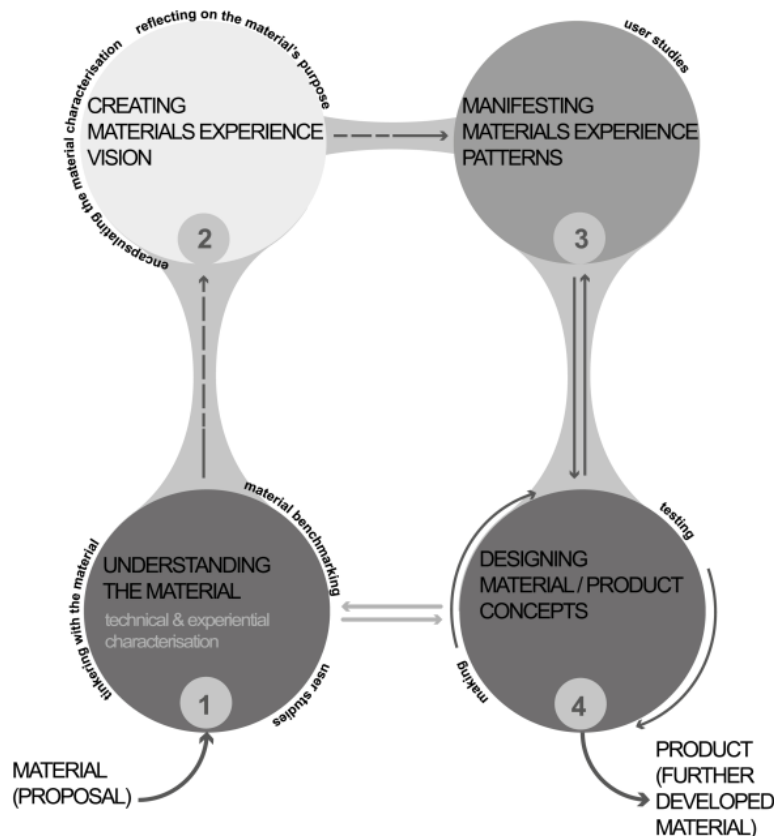


Figure 1. Material Driven Design (MDD) method.

Fonte: Karana et al (2015)

Na etapa metodológica, o trabalho foca no desenvolvimento do material, utilizando-se de resíduos celulósicos de papel pós-consumo com o amido da mandioca, também conhecido como fécula da mandioca, para a fabricação de um biomaterial, compósito biodegradável. O trabalho

utilizou dos conceitos e etapas referentes a metodologia de *Material Driven Design (MDD)* – figura 1, metodologia focada no estudo das características do material, que possibilita determinar e selecionar potenciais aplicações para um produto com base nas características do material, sendo também utilizada para designar as oportunidades e limitações do material desenvolvido em relação às suas aplicações em produtos (KARANA et al., 2015).

A abordagem do MDD, visa criar experiências materiais únicas, onde o processo de design é conduzido pelo material conforme proposto por Karana et al. (2015) diferente de outras metodologias tradicionais de design com foco na criação de um produto. A metodologia MDD se divide em quatro passos: 1. Compreendendo o material: caracterização técnica e experiencial; 2. criando a visão da experiência do material; 3. manifestando padrões de experiência do material e a última etapa 4. criando conceitos do material/produto. Neste trabalho é abordado uma alternativa apontada na própria metodologia, que consiste em utilizar o primeiro e o último passo, pulando algumas etapas que podem ser encontradas na bibliografia e/ou em trabalhos anteriores, devido às limitações de tempo e adaptações gerais.

Assim, para o estudo, foi utilizada a primeira etapa do processo de MDD, a caracterização do material, partindo do cenário 3. O terceiro cenário do MDD conforme apontado por Karana et al (2015) é definido como desenvolver propostas de material, em que as amostras do material são semi-desenvolvidas ou ainda sendo exploradas. Assim, para o presente estudo, como a utilização de resíduos, por se tratar de um material em desenvolvimento, as propriedades serão definidas após o processo de design relacionado, ou seja, após o desenvolvimento do material.

De modo geral, a etapa inicial do MDD consiste na manipulação do material, onde realiza-se a sua caracterização técnica, com objetivo de definir suas características técnicas, caso esse seja um novo material, ou pode-se buscar na literatura caso esse seja um material já existente em desenvolvimento. Além das características técnicas, também é necessário caracterizar o material em nível experiencial, bem como realizar pesquisas de percepções dos usuários quanto a possíveis aplicações para esse material, por meio de benchmarking e experimentações.

### 3.1 Fabricação do Material

O processo de fabricação do material se inicia com o desenvolvimento de suas amostras, compostas de amido de mandioca e resíduos celulósicos. A primeira etapa do processo consiste na coleta e separação de materiais (figura 2), onde os resíduos celulósicos são coletados e classificados. Entre os selecionados, se encontravam caixa de papelão, rolos de *kraft* e resíduos de papel descartados após erros gráficos de impressão. Posteriormente, realiza-se o processo de refinamento do amido, fécula de mandioca, que é filtrada por meio de um processo de crivagem. Após a filtração o amido passa por um processo de desumidificação com a retirada de umidade na estufa, onde foi exposto à uma temperatura de 60°C.

Após a coleta dos resíduos e refinamento do amido, segue-se para etapa de formação da polpa de papel, os resíduos celulósicos são triturados na presença de água. Para fabricação do biomaterial, o amido é adicionado à polpa de papel. Inicialmente, o amido em pó é processado com adição de água e glicerol, para sua plastificação, pois a glicerina atua como agente plastificante, conferindo flexibilidade e maleabilidade, após isso, o amido é submetido ao constante calor e agitação para formação do amido termoplástico (TPS). Posteriormente ao processamento do amido, a polpa é adicionada para formação do material compósito, que também submetido ao calor e constante agitação. O material formado é depositado em moldes de alumínio, e segue para o processo de cura do material, onde é exposto à temperatura de 100°C durante em média 3h a 4h,

podendo ser retirado do molde após a conclusão desse processo.

Figura 02 – Resíduo triturado de papel kraft e Amido de mandioca



Fonte: Autores (2021)

Para o trabalho foram produzidas amostras com 70% amido e 30% de celulose, testes com corantes naturais como açafreão foram utilizados também na fabricação de algumas amostras. As amostras geradas obtiveram diferenças quanto aparência nos aspectos textura, espessura e cor, apresentando coloração marrom em diferentes tonalidades, com amostras rígidas e maleáveis. Após a fabricação, essas foram submetidas a metodologia de design conduzido pelo material.

### 3.2 Compreendendo o material: caracterização técnica e experimental

Após a compreensão dos limites e fronteiras do material, a metodologia foca no estudo do material como ponto inicial do projeto de design. O estudo do material permite conhecer as qualidades e limitações, e projetar o produto com base nas experiências que o material exibe (KARANA et al, 2015). O trabalho utiliza da primeira etapa da metodologia, compreensão do material, com a definição dos limites e oportunidades, possibilitando estudar o comportamento do material e suas possíveis aplicações.

A partir disso, foi realizado uma análise sensorial e observações. Durante essa análise, o material foi submetido a testes de manipulação, incluindo cortes, amassamento e queima, com o objetivo de caracterizá-lo tecnicamente e compreender seu comportamento. As observações realizadas serviram como base sobre o comportamento do material para o entendimento das possíveis aplicação dele, facilitando a compreensão das suas potencialidades e limitação. A partir disso, o quadro 1 mostra as limitações e oportunidades quanto as características do material.

Quadro 1 – limites e oportunidades do material.

Limitações	Qualidades
Suscetível à umidade	Resistente ao fogo
Baixa resistência mecânica quando em contato com a água*	Material maleável e flexível

Curto ciclo de vida	Superfície translúcida
Transpiração	Biodegradável, pois apresenta a presença de fungos e insetos após 2 meses de fabricação
Suscetível a ação de microrganismos como insetos e fungos	Resistente a dobras e amassados
	Material

Fonte: adaptado de edital P&D 2024 (2024)

O material produzido apresentou uma superfície irregular, com falhas devido à presença das fibras dos resíduos celulósicos. Essa irregularidade tornou a estrutura suscetível a rasgos e cortes, devido à dispersão heterogênea dos resíduos na matriz de amido. No que concerne à aparência, observou-se que, devido a utilização de resíduos celulósicos utilizados, o material se assemelha ao papel *kraft*, entretanto, devido ao uso de amido e água, esses conferiram ao material um comportamento na textura mais próxima ao plástico. Em termos gerais, o material apresentou um aspecto de natural, rústico e artesanal. Essas características influenciam diretamente nas propriedades mecânicas e estéticas do material, proporcionando uma compreensão abrangente das suas potenciais aplicações e limitações.

Quanto à coloração, as amostras coloração marrom em diferentes tonalidades. Embora tenham sido utilizados corantes naturais como açafrão, cúrcuma e urucum, as amostras não atingiram as tonalidades amareladas ou avermelhadas esperadas. Isso se deve à cor marrom predominante dos resíduos de *kraft*. No entanto, observou-se que amostras contendo açafrão em sua composição exibiram uma superfície amarelada quando expostas contra à luz. A análise cromática demonstra a influência significativa dos resíduos celulósicos na coloração final do material, destacando a complexidade de alcançar a coloração desejada através de corantes naturais. Assim, a interação entre os corantes naturais e os resíduos presentes deve ser considerada para as propriedades visuais do material.

Outras observações relevantes sobre o processo de fabricação do material, incluem a necessidade de aplicação constante de pressão e calor para a obtenção de uma superfície plana, lisa e uniforme no material. Durante o processo de secagem, foi observado que o material transpira e encolhe devido à perda de água. De modo geral, as amostras se apresentaram suscetíveis à umidade, podendo apresentar crescimento de fungos em sua superfície se armazenadas em locais fechados e úmidos. Isso ocorre porque o material é composto por dois polímeros higroscópicos, o amido e a celulose, os quais absorvem facilmente a umidade do ambiente. Essas observações destacam a importância de controlar rigorosamente as condições de processamento e armazenamento para garantir a qualidade e durabilidade do material final.

Após a análise do comportamento do material, busca-se analisar os materiais semelhantes já existentes por meio do Benchmarking de materiais, em que são analisados produtos e materiais semelhantes com a finalidade de mapear como esses materiais são empregados no mercado (KARANA et al, 2015). A análise da concorrência de acordo com Baxter (2011) também possibilita determinar onde os produtos conseguiram êxito e onde obtiveram falhas. A partir disso são analisados materiais biodegradáveis e originados de resíduos já consolidadas no mercado

Quadro 02 – Benchmarking de materiais e produtos

				
<b>Fabricante</b>	SULAPAC	BIOCOUTURE	PONTO BIODESIGN	MALAI
<b>Aplicação</b>	Embalagem	Roupas	Embalagem	Acessório
<b>Composição</b>	Madeira reflorestada e base biológica	Celulose bacteriana	Casca de ovo, e celulose bacteriana.	Celulose bacteriana
<b>Sobre</b>	Biodegradável, compostável, reproduzível em massa, sem microplásticos, dura 12 meses (base de água) ou 24 meses (base de óleo).	Uso de menos água na produção. Usa organismos vivos para fabricação - biofabricação. Produção artesanal.	Compostável, imprimível. Maleável, produção artesanal	Uso de menos água na produção. Usa resíduos e organismos vivos para fabricação - biofabricação.

Fonte: Autores (2024)

Dentre as aplicações estudadas no Benchmarking, é possível observar usos para área de embalagens e moda. Áreas que apresentam necessidade de alternativas sustentáveis, já que não Brasil são produzidos por ano 63 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), dentre os quais 1/3 dos resíduos é composto por embalagens afirma Landim (2016). Enquanto na indústria da moda, somente no Brasil são geradas 170 mil toneladas de resíduos têxtil por ano (Tella; Favero, 2021). De modo que, a maior parte desses é descartada em lixões e aterros da moda, sem nenhuma perspectiva de reutilização para esse material, de acordo com o Índice de Transparência da Moda Brasil (2023) do *Fashion Revolushion*, menos de 1% do material empregado na confecção de roupas é reciclado e utilizado na fabricação de novas peças de roupas.

Desse modo, a partir das limitações e oportunidades identificadas, o material foi inicialmente definido para uso em embalagens secundárias, terciárias e quaternárias. Essas embalagens são destinadas à proteção do recipiente, limitando o contato direto com o produto. Essa restrição quanto a aplicação é necessária devido à presença de resíduos na composição do material, uma vez que as embalagens devem cumprir normas e diretrizes específicas para o contato direto com alimentos e outros produtos perecíveis.

Dessa forma, foi considerado os diferentes tipos de embalagens existentes e suas respectivas exigências, o material apresentou como uma alternativa viável para a aplicação como suporte de proteção de produtos, especialmente em produtos de bens duráveis. Essa aplicação contribui para aumentar a proteção durante o transporte e armazenamento, sem comprometer a integridade do produto embalado. Entretanto, a partir da pesquisa dos produtos existentes no mercado, é possível perceber que as embalagens encontradas utilizam de matérias-primas renováveis e biodegradáveis. Essas embalagens são caracterizadas como embalagem primárias, pois apresentam contato direto com o produto, os quais são bens de consumo não duráveis, como cosméticos e alimentos. No entanto, como já citado anteriormente, devido a utilização de resíduos oriundos da reciclagem do papel na composição do material proposto, bem como, ser um material em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, optou-se por não o empregar em embalagens primárias em



produtos de bens de consumo não duráveis e perecíveis.

Assim, para o trabalho, optou-se pelo desenvolvimento de embalagens secundárias, sendo o trabalho desenvolvido para testar a viabilidade da aplicação do material em embalagens, ainda em fase inicial de estudo, no entanto com propósito de propor soluções para aplicação desse biomaterial, foca-se no desenvolvimento de alternativas, não sendo selecionado nenhum produto em específico para a embalagem destinada. Outra aplicação analisada no Benchmarking de materiais, foi a utilização de biomateriais na área de vestuário, tal aplicação também se mostra fundamental, considerando o alto impacto da indústria da moda no meio ambiente.

Após a caracterização técnica do material, inicia-se a caracterização experiencial, em que há a reflexão sobre as qualidades experienciais dos materiais, pertinente aos seus quatro níveis experienciais, sensorial, interpretativo, afetivo e performativo. Assim, buscou-se compreender em como o material composto de amido de mandioca e resíduos de celulósicos é percebido. No nível sensorial, a textura do material foi considerada a característica mais agradável e de maior destaque. Em contrapartida, a característica considerada menos agradável se encontra relacionada a coloração das amostras e a dificuldade de pigmentação dessas com corantes.

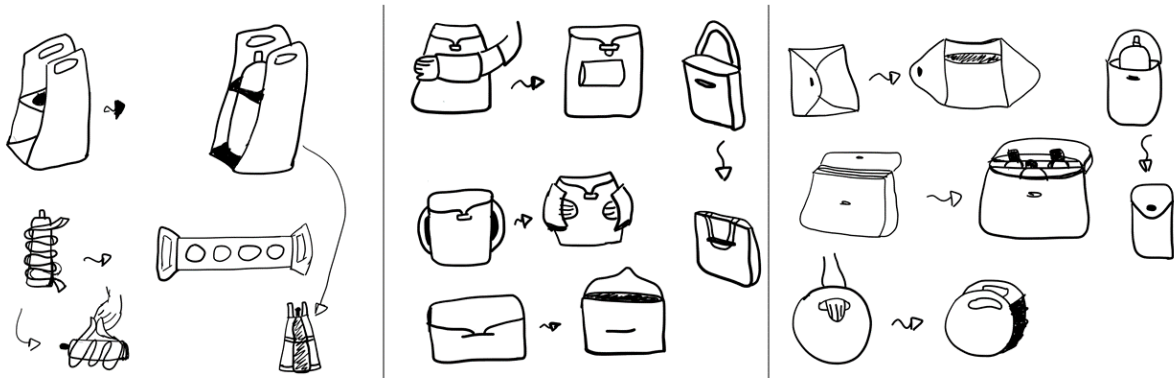
Em nível interpretativo, as amostras podem ser associadas a outros materiais, no que tange à semelhança estética, dentre esses, materiais como madeira, couro e papel. Assim o material, pode ser descrito como um material que aparenta ser biodegradável, resistente e que possui efeitos interessantes, como, por exemplo, estalar ao ser dobrado. No nível afetivo, as principais emoções despertadas correspondem à curiosidade, interesse, como também estranheza e agonia quanto ao material. Para o nível performativo, quanto a composição do material, sua performance pode ser comparada ao papelão e papel, enquanto para aplicação desse material em algum produto ou serviço com base no Benchmarking, estão embalagens, moda e vestuário.

### 3.3 Geração de alternativas

A partir do estudo de possíveis aplicações de embalagens para o material, bem como suas limitações e oportunidades que influenciam no emprego do material, foram desenvolvidas alternativas e conceitos referentes à problemática. Para a etapa da geração de alternativas e conceitos utilizou-se as etapas criativas da metodologia de Baxter (2015) adaptadas com a metodologia de MDD. Onde, a partir do estudo do problema, suas limitações e oportunidades, conceitos das aplicações são gerados para o material, sendo a seleção de conceitos fundamentada tanto no quadro 1 de limitações e oportunidades quanto no quadro 2 (Benchmarking) dos produtos já existentes.

Os rascunhos gerados, se baseiam no conceito de recipiente para proteção de outros produtos e objetos, como bolsas e sacolas plásticas. O objetivo dessas alternativas é o armazenamento e o transporte de objetos, mesclando os conceitos de moda e embalagem. Assim, foram projetados recipientes para armazenamento de um ou mais produtos, fundamentados na ideia de bolsas e sacolas. Os conceitos desenvolvidos se fundamentam nas bolsas e sacolas, as sacolas, em particular, são embalagens de vida útil curta utilizadas para armazenar e transportar diversos produtos, desde bens de consumo duráveis a bens de consumo não duráveis, abrangendo segmentos como vestuário, alimentos e outros. Sendo almejado um produto com o conceito de vida útil curto, considerando a biodegradabilidade do material fabricado no trabalho, o qual apresenta a presença de insetos e fungos após o período de dois meses, o produto proposto não deve apresentar longo tempo de vida útil.

Figura 03 – Rascunhos das alternativas geradas



Fonte: Autores (2024)

Portanto, foram selecionados conceitos que apresentam função semelhante à das sacolas plásticas, mesclando a ideia de bolsa. Isso também se alinha com a aplicação na indústria da moda, conforme observado no benchmarking realizado. Assim, materiais biodegradáveis emergem como uma alternativa mais sustentável para o meio ambiente, contribuindo para a redução do impacto ambiental associado ao descarte de produtos com vida útil curta.

#### 4 Resultados

Novas alternativas para os resíduos sólidos são necessárias, utilizando o design como uma ferramenta para alcançar a logística reversa e economia circular. Essas ações têm como objetivo promover ações mais sustentáveis no meio produtivo, incluindo a destinação adequada dos resíduos descartados e a sua recuperação para novos usos, tendo como base o estudo do material e suas propriedades e aplicação e concepção de novos produtos. A partir disso, o trabalho, visou a fabricação de novos materiais originados de resíduos de papel pós-consumo e amido, bem como, a possível aplicação destes. As propostas buscaram mostrar alternativas de aplicação do material gerado, a fim de contribuir para práticas mais sustentáveis por meio da reutilização dos resíduos de papel pós-consumo e criação de um novo material a partir desse.

Figura 04 – Amostras do material fabricado



Fonte: Autores (2024)

Após a fabricação das amostras, essas foram retiradas dos moldes de alumínio e cortadas em diferentes formatos para o desenvolvimento do produto. Foram produzidas amostras com

formatos retangulares e quadrados (figura 4), além de pequenos recortes circulares (figura 5) com diâmetro médio de 5 mm semelhante a paetês. Os materiais foram cortados em diferentes formatos visando explorar diferentes aplicações e funcionalidades para o material desenvolvido. Como resultado do teste de fabricação do material, foram desenvolvidas amostras com composição de 70% de amido e 30% de resíduos celulósicos referente ao peso em gramas. Com o teste sensorial realizado na metodologia de MDD, na primeira etapa, percebe-se que as amostras do material obtido apresentaram tanto superfícies lisas e brilhantes quanto ásperas. Em que, a seção a qual apresentou uma superfície lisa e brilhante teve contato direto com o molde de alumínio no processo de aquecimento e secagem do material durante a etapa de fabricação

Figura 05 – Amostras do material fabricado com presença de fungo



Fonte: Autores (2024)

As amostras também apresentaram translucidez quando expostos contra a luz, tendo coloração marrom em consequência da utilização de resíduos oriundos de papel *kraft*, dentre outras características, o material apresentou maleabilidade e flexibilidade. No entanto, o material apresentou baixa resistência a umidade, e curto período de vida útil, em virtude da presença de fungos e insetos em sua superfície após um determinado período de 2 meses (figura 05). Após um período de dois meses, foi possível observar a proliferação de fungos em sua superfície, isso evidenciado por manchas brancas. De modo que, para a biodegradabilidade em polímeros, esse é classificado como biodegradável, quando o processo de degradação é resultado da ação de microrganismos como bactérias, algas e fungos, conforme apontado por Brito et al (2011), assim a presença de fungos na superfície do material desenvolvido pode indicar sua biodegradabilidade. Bem como, o próprio material utiliza de matérias-primas verdes e sustentáveis, pois, como já visto anteriormente, o material leva em sua composição dois polímeros biodegradáveis e de origem renovável em sua composição, o amido e a celulose.

Figura 06 – Primeira alternativa de produto desenvolvido



Fonte: Autores (2024)

A partir das alternativas geradas para aplicação do material, dentre as ideias geradas para aplicação do material no segmento de embalagem e moda, as alternativas selecionadas fundamentam-se nas bolsas e sacolas plásticas quanto a sua função, uma vez são utilizadas para proteção e transporte para diversos tipos de produtos, atuando como recipiente e embalagem para esses, assim como já citado anteriormente. As alternativas selecionadas (figura 6 e 7) para teste do material, se apresentam como possíveis soluções de aplicação em produto para materiais originados da reciclagem de resíduos, sendo necessário testar e validar a possível alternativa. Uma vez que, o trabalho se encontra em fase prematura se comparado a outros trabalhos e as alternativas e produtos já existentes no mercado, como as apresentadas no benchmarking de materiais, em que os materiais biodegradáveis já são aplicados em produtos comercializados.

Figura 07 – segunda alternativa de produto desenvolvido



Fonte: Autores (2024)

A aplicação alternativa do material para vestuário e acessórios de moda também pode ser vista como uma proposta sustentável. A utilização de materiais biodegradáveis, em comparação com os materiais convencionais, mostra-se menos agressiva ao meio ambiente. A indústria da moda é considerada a segunda mais poluidora do mundo, devido ao uso intensivo de produtos químicos sintéticos, além do descarte inadequado, onde os resíduos gerados são destinados a lixões e aterros. Esses dados ressaltam a importância de adotar práticas mais sustentáveis na indústria da moda. A incorporação de materiais biodegradáveis não apenas reduz o impacto ambiental, mas também contribui para a inovação e desenvolvimento de produtos ecologicamente responsáveis, alinhando-

se com as demandas crescentes por sustentabilidade e responsabilidade ambiental no setor.

Entretanto apesar do material proposto, são necessário estudos acerca da sua viabilidade e aplicação. Sendo importante considerar suas propriedades, como a biodegradabilidade, e compreender como essas propriedades impactam e influenciam na escolha da aplicação do produto. A fim de não só analisar suas possíveis aplicações, como também determinar suas características técnicas, funcionalidades, melhores condições de uso e as limitações do material.

## 5 Conclusão

A aplicação alternativa do material para vestuário e acessórios de moda também pode ser vista como uma proposta sustentável. A utilização de materiais biodegradáveis, em comparação com os materiais convencionais, mostra-se menos agressiva ao meio ambiente. A indústria da moda é considerada a segunda mais poluidora do mundo, devido ao uso intensivo de produtos químicos além do descarte inadequado, onde os resíduos gerados são destinados a lixões e aterros. Essas informações ressaltam a importância de adotar práticas mais sustentáveis na indústria. A incorporação de materiais biodegradáveis não apenas reduz o impacto ambiental, mas também contribui para a inovação e desenvolvimento de produtos ecologicamente responsáveis, alinhando-se com as demandas crescentes por sustentabilidade e responsabilidade ambiental no setor. A fabricação desse material pode reduzir significativamente o impacto ambiental, promovendo a economia circular e a logística reversa.

Entretanto, também foi possível observar que o material gerado apresentou limitações, como a suscetibilidade à umidade e a proliferação de fungos, as quais impactam diretamente na durabilidade e viabilidade. Bem como, a presença de resíduos celulósicos na matriz de amido também afetou a uniformidade e resistência do material, sendo necessário mais estudos para melhorias no processo de fabricação de modo a se obter melhores resultados. Adicionalmente, a análise das propriedades estéticas e funcionais do material, indicaram a sua adaptação para diferentes usos e aplicações em produtos. No entanto, embora o material proposto apresente grande potencial, são necessários estudos mais detalhados acerca de suas propriedades e limitações.

## 6 Referências

- BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para o design de novos produtos. Editora Blucher, 2011. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521214380/>. Acesso em: 02 mai. 2024
- BRITO, G.F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E.M.; MÉLO, T.J. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campinas, v. 62, p. 127 -139, 2011.
- CEMPRE. Taxas de reciclagem. São Paulo: **Compromisso Empresarial para Reciclagem**, 2022. Disponível em: <https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>. Acesso em:
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Brasília: **CNI**, 2018.
- COSENZA, J. P. et al. A circular economy as an alternative for Brazil's sustainable growth: analysis of the National Solid Waste Policy. **Rev. Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s.l], v.9, n.1, p.1 – 28, 2020.

- COSTA, J.F. et al. Logística reversa de embalagens de agrotóxicos no Brasil. **Atas da Saúde** [online], São Paulo, v.7, p. 92-112, jan/dez. 2019.
- DE AZEVÊDO, L.C. et al. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. **Caderno de Prospecção**, Salvador, v.11, edição especial, p. 350-358, abr. / jun., 2018.
- DEMAJOROVIC, J.; MASSOTE, B. Acordo setorial de embalagens: avaliação à luz da responsabilidade estendida do produtor. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.57, n.5, p.470 – 482, set/out. 2017.
- DEBIAGI, F. et al. Embalagens Biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **BBR – Biochemistry and Biotechnology Reports**, [s.l], v.1, n.2, p. 57 – 67, mar. 2012. ISSN 2316-5200.
- DEBIAGI, F. et al. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão. **Ciência e Agrotecnologia** [online], Lavras, v.34, n.6, p. 1522-1529, nov. / dez., 2010.
- DE SOUZA, D.T.; CARVALHO, L.A.; VALADARES, L.F. **Celulose: pontos de vista**. Embrapa Agroenergia, Brasília, 2015.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo à economia circular: O racional de negócios para acelerar a transição. 2015. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80economia-circular\\_Updated\\_08-12-15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80economia-circular_Updated_08-12-15.pdf). Acesso em: 08 nov. 2021.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade de resíduos plásticos. **Revista Química Nova**, [s.l], v.29, n.4, p. 811 – 816, 2006.
- GANDRA, A. Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe. Rio de Janeiro: **Agência Brasil**, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-4-diz-abrelpe>. Acesso em: 03 mai, 2024.
- GONÇALVES-DIAS, S.L.F. Reflexões, dilemas e responsabilidades relativas ao fim da vida de embalagens. **Revista gestão USP**, São Paulo, v.13, n. especial, p. 63-75, 2006.
- GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, [s.l], v.17, n.6, p. 1503-1510, 2012.
- ÍNDICE de transparência da Moda 2023. **Fashion Revolution**, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.fashionrevolution.org/about/transparency/>.
- KALMYKOVA, Y. et al. Circular economy – from review of theories and practices to development of implementations tools. Elsevier: **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l], v.27, p. 190-201, 2018.
- KARANA, E. et al. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. **International Journal of Design** [Online], v. 9, n. 2, p. 35-54, 2015.
- KIRCHHERR, J. et al. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. Elsevier: **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l], v.27, p. 221-232, 2017.
- LANDIM, A. P. M. et al.. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, n. spe, p. 82–92, 2016.
- MALI, S. et al. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências**

**Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARENGO, V. E. et al. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, São Paulo, v.36, n.5, p. 680 – 686, 2013.

MEI, Lucia H. Innocentini. Plásticos e Bioplásticos: definições, matérias-primas e sustentabilidade. In: \_\_\_\_\_. **Bioplásticos: Biodegradáveis & Biobased** - definições, fontes e aplicações. 1 ed. SP, Campinas: Editora da Unicamp, 2016, cap. 1, p. 21-47

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. Elsevier: **Resources, Conservation & Recycling**, [s.l.], v.153, 2020.

OLIVEIRA, F. B.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Princípios da economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. **Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 4, p. 1179-1193, out/dez. 2019.

OLIVATO, J. B. et al. Efeito de embalagem biodegradável de amido no armazenamento de queijo processado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n.1, p. 81-88, jan./mar. 2006.

PEREIRA, P.Z.; DA SILVA, R. P. Design de embalagens e sustentabilidade: uma análise sobre os métodos projetuais. **Design e tecnologia**, [s.l.], v.1, n.2, p.29-43, 31 dez. 2010.

SPERANZA, L.G.; MORETTI, R. S. Logística Reversa: análise de processos. **Oculum ensaios**, Campinas, v.11, n.2, p. 287-299, Jul/Dez, 2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Manejo dos resíduos sólidos urbanos. Ministério das Cidades - **SNIS**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/rs>. Acesso em: 03 mai, 2024.

RAMOS, M.; NASCIMENTO, A.; RIBEIRO, S. Logística reversa na amazônia: um estudo de caso em uma empresa do setor metalúrgico. **Enciclopédia biosfera**, [S. l.], v. 11, n. 22, 2015. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1583>. Acesso em: 12 mai. 2024.

TELLA, B.; FAVERO, M. B. Slow fashion: impacto na cadeia produtiva do varejo de moda. **Revista da Educação Superior do Senac-RS**, v. 14 n. 1, 2021. Disponível em: <<https://seer.senacrs.com.br/index.php/RC/article/view/812>>. Acesso em: 03 mai, 2024.