



Design Sustentável na cadeia da moda:
repensar a circularidade dos resíduos de denim

Patricia de Paula Azambuja

UMinho | 2025



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Patricia de Paula Azambuja

**Design Sustentável na cadeia da moda:
repensar a circularidade dos resíduos de
denim**

Esta investigação foi financiada pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, bolsa 2021.08742.BD, no âmbito do Projeto de Investigação de Doutoramento em Design de Moda – Universidade do Minho, Escola de Engenharia – unidade de acolhimento o Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil (2C2T). Portugal.



Ciência, Tecnologia
e Ensino Superior



junho de 2025



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Patricia de Paula Azambuja

Design Sustentável na cadeia da moda: repensar a circularidade dos resíduos de denim

Tese de Doutoramento
Design de Moda

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Manuel Dinis Ribeiro
Marques (UM)

Junho de 2025

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros, desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Agradecimentos

Quero, primeiramente, agradecer à minha família — aos meus pais, Antônio e Maria Tereza, e à minha irmã, Mariana — por todo o apoio e incentivo que me ofereceram ao longo da realização deste Doutorado.

Ao meu orientador, Professor Doutor Antônio Dinis Marques, pelo ensinamento e apoio em todas as etapas desta investigação.

Aos meus amigos e colegas, em especial à minha amiga e colega de doutorado, Livia Lara, e aos meus amigos, Marcelo Afonso e Marjorie De Nardi Ramos, pelo apoio durante o andamento desta investigação.

Aos professores da Universidade do Minho e da Universidade Beira Interior, em especial ao Departamento de Engenharia Têxtil e ao Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil da Universidade do Minho, por acolherem e apoiarem neste estudo.

Aos técnicos da Universidade do Minho, em especial ao Joaquim Jorge Peixoto, pelo conhecimento e disponibilidade de me acompanhar nos experimentos laboratoriais.

À empresa To Be Green pela contribuição no processo de recolha dos resíduos têxteis e a toda a equipe do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros.

Ao Centro de Valorização de Resíduos e à equipe Fibrenamics, em especial ao Daniel Barros, pelo conhecimento e apoio nos experimentos do laboratório de compressão de polímeros.

À empresa DenimX, especialmente a Marc Meijers, pela oportunidade de realizar a visita técnica de estudo e pelo conhecimento compartilhado, o qual contribuiu significativamente para meu crescimento e para esta pesquisa.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio financeiro aos estudos.

E, por fim, quero agradecer a Deus por ter me dado esta oportunidade única em minha vida, e a todos os amigos e familiares que, perto ou longe, me incentivaram em todas as etapas.

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas relacionadas à sua elaboração.

Universidade do Minho, 21/06/2025

Nome completo: Patricia de Paula Azambuja

Assinatura: 

Título - Design Sustentável na cadeia da moda: repensar a circularidade dos resíduos de denim.

Resumo

Os designers atuais enfrentam inúmeros desafios, sendo um dos principais desenvolver produtos que atendam às demandas do mercado sem negligenciar as preocupações com a sustentabilidade. Esta tese investiga o desenvolvimento de um novo material, cuja matéria-prima é baseada em resíduos de têxtil denim, voltado à criação de novos produtos. Trata-se de uma pesquisa experimental, estruturada em cinco capítulos. Por meio do Design Sustentável, busca-se desenvolver produtos que preservem o valor dos materiais pelo maior tempo possível e aproveitem resíduos como base para novas soluções na indústria da moda. Esse setor, marcado por um modelo linear de produção e consumo, agravado pelo fast fashion (caracterizado pela fabricação, consumo e descarte acelerados), é responsável por elevados índices de descarte de resíduos têxteis diariamente. Ao mesmo tempo em que a indústria da moda precisa reavaliar o ritmo e transformar os meios de produção, é preciso encontrar uma solução para diminuir os resíduos existentes, minimizando os danos já causados ao meio ambiente. Diante desta problemática e da motivação em buscar soluções para a diminuição de resíduos têxteis, surge o estudo desta investigação que, com pensamento em uma produção circular, procura recolocar os desperdícios têxteis na cadeia produtiva. Esta investigação trata do reaproveitamento de resíduos de denim, especificamente calças jeans pós-consumo. A escolha por este tipo de resíduo baseia-se no fato de que o denim é um dos materiais mais poluentes da cadeia têxtil (tanto em relação à produção da matéria-prima algodão quanto em relação ao consumo de água nas lavagens). Este estudo visa, por meio do Design Sustentável, contribuir para o desenvolvimento de novos produtos baseado nos princípios da Economia Circular. O objetivo é desenvolver produtos por meio do uso de desperdícios de denim capazes de colaborar para o aumento da circularidade na cadeia da moda, prolongando o ciclo de vida dos materiais. O novo material, desenvolvido por meio do *upcycling* (reutilização capaz de manter ou melhorar a qualidade dos descartes), poderá ser aplicado em diferentes produtos e colaborar com a diminuição dos danos já causados, reduzindo a quantidade de resíduos e recolocando estes materiais no ciclo produtivo. Para a criação do novo material foram desenvolvidas amostras com resíduos de denim e polímeros pelo processo de moldagem por compressão. Para atender a um dos objetivos principais desta investigação, que é a criação de um material sólido sem a desfibragem do têxtil e capaz de conservar as características estéticas do denim, foram selecionados dois dos quatro tipos de polímeros testados para seguirem para a fase de caracterização de algumas propriedades físicas e Análise do Ciclo de Vida do material. As amostras finais, contendo descartes de polietileno de alta densidade e polimetilmetacrilato, foram utilizadas para realização de protótipos que demonstram a aplicabilidade do material como matéria-prima para desenvolvimento e design de novos produtos.

Palavras-Chave: Design de Moda Sustentável, Economia Circular, Resíduos de denim, *Upcycling*.

Title - Sustainable Design in the fashion chain: rethinking the circularity of denim waste.

Abstract

Contemporary designers face numerous challenges, one of the main ones being the development of products that meet market demands without neglecting sustainability concerns. This thesis investigates the development of a new material, using textile denim waste as its primary raw material, aimed at creating new products. It is an experimental research study, structured into five chapters. Through sustainable design, the goal is to develop products that preserve the value of materials for as long as possible and utilize waste as the basis for new solutions within the fashion industry. This sector, characterized by a linear model of production and consumption, worsened by fast fashion (defined by accelerated manufacturing, consumption, and disposal), is responsible for high levels of textile waste discarded daily. While the fashion industry needs to reassess its pace and transform its means of production, finding a solution to reduce existing waste and minimize environmental damage is imperative. Confronted with this issue and motivated to seek solutions for reducing textile waste, this research seeks to reintegrate textile waste into the production chain, guided by circular production principles. This investigation focuses on the reuse of denim waste, particularly post-consumer jeans. The choice of this waste type is based on denim being one of the most polluting materials in the textile chain (both in terms of cotton raw material production and water consumption in washing). Through Sustainable Design, this study aims to contribute to the development of new products based on Circular Economy principles. The goal is to develop products using denim waste to increase circularity in the fashion chain, thereby extending the materials' lifecycle. The new material, developed through upcycling (reuse capable of maintaining or improving waste quality), can be applied to different products and help reduce the damage already caused by reducing the amount of waste and putting these materials back into the production cycle. To create the new material, samples were developed using denim waste and polymers through compression moulding. To fulfil one of the main objectives of this research, which is to create a solid material without defibring the textile and capable of preserving denim's aesthetic characteristics, two out of four tested polymer types were selected to proceed to the phase of physical property characterization and Life Cycle Analysis of the material. The final samples containing high-density polyethylene waste and polymethyl methacrylate were used to create prototypes demonstrating the material's applicability as a raw material for the development of new design products.

Keywords: Circular Economy, Denim Waste, Sustainable Fashion Design, Upcycling.

ÍNDICE

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO.....	2
1.1 Contextualização – problemática do estudo e relevância do tema	2
1.2 Motivação	5
1.3 Pergunta de investigação	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivos específicos	6
1.5 Metodologia de Investigação.....	7
1.6 Estrutura da tese	8
CAPÍTULO II	10
FUNDAMENTOS TEÓRICOS E ESTADO DA ARTE.....	11
2.1 Sustentabilidade e a Moda	11
2.1.1 Ações Sustentáveis e Consumo Consciente	13
2.1.2 A indústria da moda e o desenvolvimento de produto sustentável	20
2.2 Inovação.....	21
2.3 Economia Circular	22
2.4 Design	27
2.4.1 Breve história do design.....	27
2.4.2 Design de Superfície	29
2.4.3 Design Modular.....	33
2.4.4 Design Criativo – <i>Design Thinking</i>	34
2.4.5 Design Sustentável e o reaproveitamento de resíduos.....	35
2.4.6 Métodos de reciclagem têxtil	39

2.4.7 <i>Upcycling</i> e a valorização de resíduos têxteis	40
Resíduos têxteis	41
2.4.8 Ciclo de Vida do Produto	42
Análise do Ciclo de Vida - avaliação dos impactes ambientais	43
2.4.9 Resíduos de denim e reutilização	46
2.5 Estudo dos materiais	50
2.5.1 Polímeros e Biopolímeros.....	50
2.5.2 Fibras têxteis	53
Algodão	53
2.5.3 Denim e a história do jeans.....	54
Consumo de água na indústria do denim	58
2.6 Pesquisa em base de dados.....	60
CAPÍTULO III	64
DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	65
3.1 Metodologia de investigação.....	65
3.2 Desenvolvimento experimental	69
3.2.1 Etapa inicial de moldagem dos materiais.....	70
Moldagem de amostras sem polímero extra	70
Moldagem de amostras com polímero extra – polipropileno.....	74
Moldagem de amostras com polímero extra - polietileno	82
Moldagem de amostras com polímero extra – polimetilmetacrilato	85
3.3 Análise das amostras com polímeros extra	87
3.3.1 Comparação do resultado estético.....	87
3.3.2 Análise sobre corte do material	89
3.3.3 Desenvolvimento das amostras com separação de denim por composição para ensaios ...	90
3.3.4 Desenvolvimento de material utilizando costuras	92

3.3.5 Materiais desenvolvidos e sugestão de utilização	94
CAPÍTULO IV	98
RESULTADOS	99
4.1 Material para caracterização	99
4.2 DESENVOLVIMENTO DA FASE DE CARACTERIZAÇÃO.....	100
4.2.1 Fase de ensaios - Laboratório de Física Têxtil	100
Ensaio – pesagem tecidos e polímeros	101
Ensaio - Permeabilidade à água, Spray Tester.....	103
4.2.2 Fase de ensaios – Laboratórios Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros	106
Ensaio amostras – Resistência e inflamabilidade	106
4.2.3 Análise do Ciclo de Vida	108
Fase de definição de objetivo e escopo.....	109
4.2.4 Processo de Avaliação do desempenho ambiental do material	112
Dados dos Impactes gerados	112
Impactes gerados por etapa.....	116
Comparativo com outros materiais de mesma aplicabilidade	118
4.2.5 Desenvolvimento dos protótipos	123
Conceito	124
Acessório moda e objeto decorativo – protótipo material flexível	126
Design Superfície – protótipo material rígido.....	130
4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	136
4.3.1 Análise do processo de compressão dos materiais	136
4.3.2 Análise dos Resultados dos ensaios.....	140
4.3.3 ACV - Oportunidades de melhoria dos resultados	144
4.3.4 ACV – Análise do comparativo com outros materiais.....	145
4.3.5 VISITA DE ESTUDOS	146

CAPÍTULO V	148
CONCLUSÕES	149
5.1 ESTUDOS E PERSPECTIVAS FUTURAS	151
BIBLIOGRAFIA	154
Anexos	163
Anexo I – Pesquisa base de dados SCOPUS	164
A1.1 Incidência artigos.....	164
A1.2 Abstracts considerados relevantes.....	164
Anexo II – Materiais, composição e especificações.....	167
A2.1 - Amostragem de calças do centro de recolha de resíduos têxteis.....	167
A2.2 – Especificações dos materiais das amostras	167
Anexo III – Amostras	168
A3.1 – Composição das amostras iniciais com polímero extra (PP)	168
A3.2 – Composição das amostras iniciais com polímero extra – HDPE/LDPE	170
A3.3 – Composição das amostras iniciais com polímero extra – PMMA	170
A3.4 – Amostras para ensaios.....	171
Anexo IV – Dimensões corpos de prova	172
A 4.1 - Dimensões corpos de prova tipo 1A e 1B	172
Anexo V – Ensaios PIEP	173
A5.1 Resultados ensaios tração e flamabilidade.....	173
Anexo VI – ACV, entradas e saídas <i>Software SimaPro</i>	175
A6.1 Entradas utilizadas no <i>Software SimaPro</i> , material DenimHDPE.....	175
A6.2 Entradas utilizadas no <i>Software SimaPro</i> , material DenimPMMA.....	176
A6.3 ACV - Fluxo etapa de desenvolvimento geradas pelo <i>Software Simapro</i>	177
Anexo VII – Artigos publicados.....	178
A7.1 Artigo: “Project Design Methods and Upcycling of Fashion Products in bachelor curricula of Fashion Design Courses”	178

A7.2 Artigo: “Rethinking Textile Disposal: Reuse of Denim for New Product Development”	179
A7.3 Artigo: “Upcycling of denim discard for development of new material. “	180
A7.4 Artigo: “Solid Denim: research on new hydrophobic material obtained from post-consumer denim for product development. “	181

Lista de Figuras

Figura 1- Esquema Conceitual de Sustentabilidade	12
Figura 2 - <i>BoF Sustainability index</i>	14
Figura 3 – <i>BoF Sustainability index 2022</i>	16
Figura 4- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	20
Figura 5 – Sistema de Economia Circular	24
Figura 6 - Modelo Economia Circular	25
Figura 7 – Projeto de Design Superfície	31
Figura 8 - Módulo, padrão e padronagem	32
Figura 9 - Exemplo de diferentes <i>rapports</i> com mesmo módulo.....	32
Figura 10 - Painel acústico modular em feltro de lã.....	33
Figura 11 - Método processual <i>Design Thinking</i>	35
Figura 12 - Irmãos Campana e o reaproveitamento de resíduos têxteis.....	36
Figura 13 - Fases ACV conforme norma ISO 14044	45
Figura 14 - Mosevic, óculos feito de denim reutilizado	47
Figura 15 - Bahia Denim, reaproveitamento de denim.....	48
Figura 16 - Produtos <i>upcycling</i> denim da marca DenimX.....	49
Figura 17 - Estrutura sarja	55
Figura 18 - Calça duck canvas.....	56
Figura 19 - Primeira <i>blue jeans</i>	57
Figura 20 - Descrição da pegada hídrica do jeans	60
Figura 21 - Avaliação fluxo dos materiais após extração	65
Figura 22 - Laboratório <i>Compression Moulding</i>	69
Figura 23 - <i>Compression Moulding</i>	69
Figura 24 - Preparação de resíduos para moldagem	70
Figura 25 – Amostra 1, 2 e 3 antes da compressão.....	71
Figura 26 – Amostra 1, 2 e 3 após compressão à 200°C	72
Figura 27 - Amostra 1, 2 e 3 após compressão com temperatura de 270°C	73
Figura 28 - Amostra com material danificado após compressão à 270°C.....	73
Figura 29 - Resíduo de tecido não tecido de polipropileno	74
Figura 30 - Amostras de denim e polímero antes da compressão	76
Figura 31 - Amostras de denim e polímero após compressão à 170°C	76

Figura 32 - Amostras 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9	77
Figura 33 - Amostras 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9	77
Figura 34 - Amostras 1.6.1, 1.7.1, 1.8.1 e 1.9.1	78
Figura 35 - Amostra 1.12 após compressão à 155°C	78
Figura 36 - Amostra com 12 camadas antes de compressão de 100N à 160°C	79
Figura 37 - Amostra 12 camadas após compressão de 100N à 160°C	80
Figura 38 - parte de trás da amostra com 12 camadas	80
Figura 39 - Amostra 1.16 com 20 camadas	80
Figura 40 - Amostra 1.16.1 com 20 camadas após compressão à 168°C e 140N	81
Figura 41 - Amostras 1.16 e 1.16.1	81
Figura 42 - Amostra com 30 camadas de denim antes e pós compressão	82
Figura 43 - Descarte de polietileno de alta e baixa densidade, respectivamente	82
Figura 44 - Amostra 2.1 com descarte de denim e HDPE antes da compressão	83
Figura 45 - Amostra 2.2 com descarte de denim e LDPE antes da compressão	84
Figura 46 - Amostra 2.1 com HDPE após processo de compressão	84
Figura 47 - Amostra 2.2 com LDPE após processo de compressão	84
Figura 48 - Detalhe denim e HDPE após compressão à 135° C	85
Figura 49 - Resíduo de polimetilmetacrilato (PMMA)	86
Figura 50 - Amostra 3.1 com resíduo de denim e PMMA antes da compressão	86
Figura 51 - Amostra 3.1 denim e PMMA após processo de compressão	86
Figura 52 - Amostras com resíduos de denim e polímeros, ...	88
Figura 53 - Serra e Guilhotina manual do Departamento de Mecânica UM	89
Figura 54 - Dificuldade no corte do material mais espesso	90
Figura 55 - Amostra com 30 camadas de denim, cerca de 1cm de espessura	90
Figura 56 - Amostra DenimHDPE antes e após compressão	91
Figura 57 - Amostra DenimPMMA antes e após compressão	92
Figura 58 - Amostras de denim prensado com costuras incluídas e PMMA	93
Figura 59 - Amostra de denim prensado com as costuras existentes e HDPE	94
Figura 60 - Resíduo de denim, polímeros e o material finalizado	95
Figura 61 - Materiais com DenimHDPE e DenimPMMA após compressão, ...	95
Figura 62 - Material com DenimHDPE (material mais maleável em curva)	96
Figura 63 - Esquema ilustrativo do processo de investigação	100

Figura 64 - Amostras de denim, respectivamente A1, A2 e A3.....	101
Figura 65 - Amostras de polímero HDPE e PMMA	102
Figura 66 - Aparelho <i>Spray Tester</i> - permeabilidade à água	103
Figura 67 – Fotografias de referência utilizadas para grau de permeabilidade	104
Figura 68 - Amostra DenimHDPE após <i>Spray Tester</i>	105
Figura 69 - Amostra DenimPMMA após <i>Spray Tester</i>	105
Figura 70 - Equipamento para ensaio de resistência	106
Figura 71 - Formato de provete para ensaio de tração.....	107
Figura 72 - Ensaio de resistência à chama	108
Figura 73 – Fluxograma, Processos desenvolvimento material de investigação	112
Figura 74 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais por categoria	113
Figura 75 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais por etapa	113
Figura 76- Gráfico gerado sobre os resultados percentuais normalizados por categoria.....	115
Figura 77 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais normalizados por etapa	116
Figura 78 - Fluxo dos impactes calculados em ambos os materiais	116
Figura 79 – Gráfico dos resultados dos materiais DenimHDPE e DenimPMMA	118
Figura 80 - Gráfico comparativo entre DenimHDPE e EPD Couro Aniline	119
Figura 81- Gráfico comparativo entre DenimPMMA e EPD Thin Laminates.....	121
Figura 82 - Gráfico comparativo entre DenimPMMA e EPD Alu decor.....	122
Figura 83 – Detalhe da maleabilidade do material DenimHDPE	123
Figura 84 - Detalhe do material DenimPMMA.....	124
Figura 85 – Obra de Pablo Picasso - O Poeta.....	125
Figura 86 - Obra de Pablo Picasso- <i>Femme endormie</i>	125
Figura 87 - Painel de Inspiração acessório de moda.....	126
Figura 88 - Material cortado e perfurado com perfurador manual à quente	127
Figura 89 – Resíduos de fios inseridos nas laterais do material	127
Figura 90 - Fios sendo entrelaçados para fechamento lateral	128
Figura 91 - Detalhe do acabamento da alça e fechamento superior	128
Figura 92 - Resultado final do protótipo de bolsa feito com material DenimHDPE	129
Figura 93 - Simulação virtual aplicação do material em luminária decorativa	130
Figura 94 - Painel de Inspiração Design Superfície	131
Figura 95 - Medidas material DenimPMMA usado no protótipo.....	132

Figura 96 - Detalhe do material DenimPMMA.....	132
Figura 97 - Exemplos de módulos e padrões com o material de estudo	133
Figura 98 - Placas do material aplicados em superfície de bandeja decorativa	134
Figura 99 – Placas do material; Placas revestimento decorativo parede	134
Figura 100 - Placas utilizadas como decoração de parede.....	135
Figura 101 - Placas do material aplicadas como revestimento tampo de mesa	135
Figura 102 – Placas do material; Placas revestimento mobiliário.....	136
Figura 103 - Gráfico comparação resistência em tração	140
Figura 104 - Gráfico comparação deformação rotura.....	141
Figura 105 - Esquema circularidade dos resíduos	143
Figura 106 – Esquema valorização de resíduos a cada m ²	144
Figura 107 - fluxo etapa desenvolvimento material DenimHDPE	177
Figura 108 - fluxo etapa desenvolvimento material DenimPMMA	177

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Composição da amostragem de calças recolhidas	70
Tabela 2 - Resultado dos ensaios sem polímero extra.....	71
Tabela 3 - Síntese do ensaio de amostras iniciais com denim e PP variação de temperatura .	75
Tabela 4 - Síntese ensaio amostras com denim e PP variação temperatura e compressão.....	79
Tabela 5 - Variações iniciais amostras HDPE / LDPE	83
Tabela 6 - Variações iniciais amostras PMMA.....	87
Tabela 7 - Amostras para ensaios e protótipo.....	88
Tabela 8 - Especificação dos materiais utilizados para desenvolvimento amostras	91
Tabela 9- Resultados ensaio Resistência	107
Tabela 10 - Resultado por categoria dos Impactes – Material DenimHDPE	112
Tabela 11- Resultado percentual por categoria dos Impactes – Material DenimHDPE	113
Tabela 12 - Resultado por categoria dos Impactes – Material DenimPMMA	114
Tabela 13- Resultado percentual por categoria dos Impactes – Material DenimPMMA	114
Tabela 14 - Normalização resultado percentual por categoria impactes para o pior cenário .	115
Tabela 15 - Resultados de ambos os materiais desenvolvidos	117
Tabela 16 - Resultado dos Impactes – Comparativo DenimHDPE e EPD Couro Aniline	119
Tabela 17 -Resultado dos Impactes – Comparativo DenimPMMA e EPD Thin Laminates	120
Tabela 18 - Resultado dos Impactes – Comparativo DenimPMMA e EPD Alu decor	122
Tabela 19 - Propriedades dos materiais com base nos ensaios realizados	142
Tabela 20 - Propriedades material desenvolvido.....	143
Tabela 21 – Incidência de artigos nos termos pesquisados	164
Tabela 22 - Abstract Artigo de estudo 1	164
Tabela 23 - Abstract Artigo de estudo 2	165
Tabela 24 - Abstract Artigo de estudo 3	165
Tabela 25 - Abstract Artigo de estudo 4	166
Tabela 26 - Abstract Artigo de estudo 5	166
Tabela 27 - Composição da amostragem de calças recolhidas	167
Tabela 28 - Especificação dos materiais utilizados para desenvolvimento amostras	167
Tabela 29 - Variações iniciais temperatura amostras (PP)	168
Tabela 30 - Variações iniciais compressão amostras PP	169

Tabela 31 - Variações iniciais amostras HDPE e LDPE	170
Tabela 32 - Variações iniciais amostras PMMA.....	170
Tabela 33 - Amostras para ensaios e protótipo.....	171
Tabela 34 – Dimensões 1A e 1B corpos prova.....	172
Tabela 35 - Entradas e Saídas utilizadas no <i>Software SimaPro</i> - Material DenimHDPE	175
Tabela 36- Entradas e Saídas utilizadas no <i>Software SimaPro</i> - Material DenimPMMA	176

Lista de siglas, abreviaturas e símbolos

ACV – Análise Ciclo de Vida
2C2T – Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil
CO – Algodão
COM – Compression Moulding
CVP – Ciclo de Vida do Produto
CVR – Centro de valorização de resíduos
DET – Departamento de Engenharia Têxtil
E – Elastano
HDPE – Hight-density polyethylene
HPL – High-pressure laminate
ISO – International Organization for Standarization
Mpa – Mega Pascal
N – Newton
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
PC - Policarbonato
PE - Polietileno
PEAD – Polietileno de alta densidade
PEBD – Polietileno de baixa densidade
PES – Poliéster
PIEP – Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros
PMMA – Polimetilmetacrilato
POM - Polioximetileno
PP – Polipropileno
PS – Poliestireno
PU - Poliuretano
PUE – Poliuretano/Elastano
PVC – Poli cloreto de vinil
TNT – Tecido não tecido
Uminho/UM – Universidade do Minho

Glossário

Denim - tecido de algodão durável ou de sarja de algodão usado normalmente na fabricação de calças jeans.

Jeans – artigo de vestuário desenvolvido com denim tingido com tintura índigo que é usada para conferir a coloração azul.

Impacto e Impacte - No decorrer deste trabalho, foi utilizada a palavra "Impacte" para referir-se aos efeitos ou consequências que uma ação é capaz de gerar sobre algo, podendo ser positivos ou negativos. Enquanto que a palavra "Impacto" foi utilizada para referir-se aos efeitos negativos gerados.

Palavras como denim, jeans, design e designer(s) são de origem estrangeira incorporadas ao vocabulário português e, portanto, quando utilizadas isoladamente, serão grafadas sem o uso de aspas ou itálico.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização – problemática do estudo e relevância do tema

Atualmente, existe uma crescente preocupação com os impactos ambientais que, ao longo dos anos, têm vindo a ser provocados pela quantidade de resíduos industriais descartados indevidamente. Essa preocupação acabou por gerar uma busca por materiais alternativos e pela viabilização de oportunidades de melhoria para minimização da geração de resíduos nos processos produtivos, tais como a reciclagem.

A indústria têxtil é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos sólidos, considerados lixos limpos. Esses resíduos têxteis são gerados tanto durante o processo de fabricação quanto no pós-consumo, com o descarte de roupas. Geralmente, esses resíduos acabam sendo depositados em aterros sanitários.

O design, de uma forma geral, envolve criação de vestuário, calçados e acessórios, ambientes (decoração), enfim, todo tipo de desenvolvimento de produto, está atualmente cada vez mais voltado para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, capazes de unir estética, funcionalidade e sustentabilidade. As empresas e os designers de produtos, por diversas razões, passaram a incorporar a temática ambiental nos seus processos de produção.

Anualmente, existem toneladas de resíduos industriais acumulados e destruídos por ainda não haver uma forma de aproveitamento. Dentro dessa realidade, o papel do design torna-se extremamente importante na busca por soluções para os desperdícios industriais, criando meios para a redução da criação de resíduos (Costa, 2016). Todo material resultante de sobras de uma produção e que não possuir mais utilidade após determinado processo é descartado pela indústria sendo então chamado de resíduo industrial (Menegucci et al., 2015).

A temática desta investigação enquadra-se dentro das estratégias da Economia Circular¹ e está relacionada com as formas de prolongar o ciclo de vida de materiais têxteis, mais especificamente os resíduos de denim. O reaproveitamento de resíduos têxteis é bastante amplo e, portanto, com o objetivo de delimitar a investigação a um tipo de resíduo têxtil específico, foi selecionado o denim. A escolha por

¹ A Economia Circular busca conceber produtos, serviços e modelos de negócio que excluam a produção de resíduos e poluição, manter produtos e materiais em utilização pelo máximo tempo possível, assim como garantir a regeneração dos recursos materiais utilizados (Parlamento Europeu, 2023). É uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento econômico projetado para beneficiar os negócios, a sociedade e o meio ambiente. Este modelo de economia tem como objetivo desassociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos e criar capital econômico, natural e social (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

este tipo de resíduo baseia-se no fato de que o denim é um dos têxteis mais poluentes da cadeia têxtil (tanto em relação à produção da matéria-prima algodão quanto em relação ao consumo de água nas lavagens). Ao mesmo tempo em que sua produção é poluente, esse material é de grande resistência e de uso mundial, não havendo previsão de que, algum dia, deixe de ser produzido. O reaproveitamento deste material não elimina os danos causados na sua produção, mas tem a intenção de prolongar o seu ciclo de vida e evitar ao máximo que este seja descartado. O denim é produzido em grande escala e geralmente apresenta suas qualidades preservadas mesmo quando descartado pós-consumo, podendo ser utilizado como matéria-prima de qualidade para outras indústrias.

Esta investigação pretende colaborar para incorporar conhecimentos do processo de reciclagem, por meio do *upcycling* (reutilização capaz de manter/melhorar a qualidade dos descartes) deste material, reinserindo-o na cadeia produtiva e promovendo o uso destes descartes para desenvolvimento de novos produtos por moldagem de polímeros e denim, capazes de serem aplicados a diversos produtos de moda (acessórios), decoração e mobiliário. Há ainda o interesse em desenvolver um material com maior rigidez e, portanto, maior aplicabilidade (podendo ser aplicado à diferentes setores de produtos), sem perder a característica estética no que se refere à coloração/aparência característica do denim.

Ao analisar o comportamento do consumidor quanto ao tema, a divulgação de um estudo internacional em 2020 aponta que 79% dos consumidores, dos 7.500 inqueridos, passou a mudar a opção de aquisição de produtos com preferência baseada na responsabilidade social, inclusividade ou impacto ambiental de suas compras (Capgemini Research Institute, 2020). O estudo divulgado em 2022, a nível mundial, com cerca de 11.300 pessoas, demonstra que esta preferência vem se mantendo entre os consumidores; no entanto, há um aumento na preocupação com o custo de vida e a intenção de poder encontrar produtos sustentáveis pelos quais não tenham que pagar a mais por isso. Os dados apontam que 54% de todos os consumidores a nível mundial afirmam valorizar a acessibilidade em detrimento da sustentabilidade do produto no momento da decisão de compra. Além disso, 41% dos consumidores em todo o mundo afirmam que estão dispostos a pagar mais por um produto que consideram sustentável. Na investigação de 2020 sobre sustentabilidade em produtos de consumo e retalho, 57% dos consumidores afirmaram ter pago preços superiores à média por produtos que consideravam sustentáveis (Capgemini Research Institute, 2023). Dentro da problemática do excesso de resíduos, somada ao apelo de alguns consumidores mais conscientes por produtos mais sustentáveis, uma nova realidade econômica de contenção vem sendo manifestada em conjunto com as preocupações ambientais. Os resíduos descartados no meio ambiente constituem um problema que afeta a todos, e o

uso desses desperdícios é um dos processos sustentáveis em busca da valorização de materiais descartados estudada pelo Design Sustentável (Oliveira et al., 2013).

É importante salientar que, assim como a preocupação ambiental, questões sociais relacionadas a desigualdades, dificuldades de acesso à produtos/serviços básicos e condições dignas de trabalho são fatores preocupantes e crescentes a nível mundial. Diversas pessoas lutam diariamente por melhores condições de trabalho, saúde e alimentação, e diante desta luta pela sobrevivência não possuem meios financeiros e conhecimento para que possam pensar em aquisição de produtos sustentáveis.

Populações inteiras vivendo em condições muitas vezes desumanas são preocupações que estão dentro do conceito de sustentabilidade. No entanto, apesar de relevantes, não será um tema abordado ao longo desta investigação.

Diante disso, unindo o interesse pela sustentabilidade e pela investigação das formas de reaproveitamento de resíduos de denim, surge o tema deste estudo, que visa o desenvolvimento de novos produtos na cadeia da moda a partir do uso de desperdícios de denim. A presente investigação torna-se relevante diante das profundas transformações pelas quais o mundo vem passando. Preocupações ambientais não são recentes; no entanto, alterações como as mudanças climáticas tornaram os problemas mais evidentes e, conseqüentemente, influenciaram os hábitos e as formas de consumo praticadas atualmente.

Segundo Ellen MacArthur Foundation (2017), as alterações climáticas são cada vez mais motivo de preocupação, sendo que cerca de 1,2 bilhões de toneladas anuais do total de emissões de gases de efeito estufa são provenientes da produção têxtil. Estes e outros dados divulgados ajudam a sensibilizar a nova geração de designers, incentivando a repensar, redesenhar e construir uma Economia Circular com menos impactos negativos.

A União Europeia demonstra preocupação e urgência quanto às questões relacionadas aos resíduos têxteis, estabelecendo que os têxteis descartados deverão ser recolhidos seletivamente de modo obrigatório antes de 2025. Essa recolha permitirá a seleção do que pode ser reciclado ou reutilizado, possibilitando uma maior rede de gestão sobre os resíduos têxteis (CCDR-N, 2020). Estima-se que cerca de 5 milhões de toneladas de roupas são descartadas todos os anos na União Europeia, o equivalente a cerca de 12 kg por pessoa, e apenas 1% desse material é reciclado e utilizado para confecção de novas roupas (European Commission, n.d.).

Segundo a APA (Agência Portuguesa do Ambiente, n.d.), o consumo de têxteis na UE ocupa a quarta posição de maior impacto no ambiente e nas alterações climáticas, a seguir aos alimentos, habitação e mobilidade. É considerado o terceiro fator preocupante em termos de utilização dos recursos

hídricos e dos solos, e o quinto em termos de utilização de matérias-primas primárias e de emissões de gases de efeito estufa.

Dados divulgados pelo IEMI – Inteligência de Mercado apontam valores referentes à produção do têxtil no Brasil entre 2018 e 2022. Destacando-se que, das 646,7 mil toneladas de tecidos planos fabricadas em 2022, 24,2% correspondem ao denim. Houve também um crescimento de 95% nas exportações neste período, colocando o Brasil como grande exportador de denim além de um aumento de 63% na venda do denim e de 32,9% na comercialização de sarjas de algodão nestes 5 anos. O Brasil é o 2º maior exportador de algodão e passou a estar entre os 5 maiores produtores mundiais de denim.

Segundo o estudo de mercado *Global Denim Jeans Industry*, publicado pela *ReportLinker*, o mercado mundial de jeans (vestuário confeccionado com o tecido denim tingido com tinta índigo) continuará em ascensão, com uma taxa anual composta de crescimento de 4,8% entre 2020 e 2026 (Guia JeansWear, 2022). Dessa forma, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de alternativas para uso de resíduos causados pela indústria da moda, e principalmente dos resíduos de denim.

Em suma, este tema surge sob a perspectiva da Economia Circular, a fim de contribuir para a diminuição dos danos já causados pelo excesso de resíduos e colaborar com a sua valorização e reintegração ao ciclo produtivo.

1.2 Motivação

O interesse pela temática da sustentabilidade, especificamente pelo Design Sustentável na indústria têxtil, surgiu durante o percurso acadêmico do Mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil, Vestuário e Acessórios da Universidade do Minho, onde foi possível aprofundar conhecimentos sobre têxteis e os fatores poluentes deste setor. Na ocasião, foi realizada investigação para elaboração da dissertação que deu origem à criação de uma tecnologia envolvendo reaproveitamento de resíduos de lã por meio do Design de Superfície aplicado a Design de Interiores, e a publicação de artigo envolvendo design e sustentabilidade (Azambuja, 2018).

A principal motivação para investigar a temática do Design Sustentável na cadeia da moda é tentar encontrar uma forma inovadora para desenvolvimento de novos produtos a partir do uso de resíduos de denim, colaborando para diminuir o acúmulo de resíduos da indústria da moda, ampliando o ciclo de vida deste material e colaborando para evitar gastos na produção de novas matérias-primas. A investigação sugere uma reflexão sobre o desenvolvimento de novos produtos por meio do Design Sustentável, tendo como base os conceitos da Economia Circular.

1.3 Pergunta de investigação

A motivação e o problema de investigação deste estudo se baseiam no fator poluente do descarte indevido de resíduos têxteis no meio ambiente e ao aproveitamento desses resíduos como recursos no desenvolvimento de um novo material, que poderá ser usado em novos produtos. A partir desse contexto, construiu-se a pergunta central de investigação a ser respondida ao longo do percurso deste Doutorado em Design de Moda.

Esta investigação tem como objetivo responder à seguinte pergunta: Como o Design Sustentável pode contribuir para aumentar o ciclo de vida de resíduos de denim, através dos paradigmas da sustentabilidade e Economia Circular, para o desenvolvimento de novos produtos?

Esta investigação pretende aliar os conhecimentos em Economia Circular ao Design Sustentável para propor o desenvolvimento de novos produtos, tendo como base a utilização de excedentes e desperdícios da indústria da moda com potencial para utilização em novos produtos, contribuindo para minimizar os impactos negativos gerados pela indústria têxtil.

1.4 Objetivos

O acúmulo de resíduos provenientes da indústria da moda é um dos danos causados pelo sistema de produção linear e pelo excesso nas produções. Diante desta problemática, o reaproveitamento de resíduos surge como uma forma de contribuir para reduzir os danos já causados ao meio ambiente.

Com a intenção de fazer parte pela busca por soluções para a problemática em questão, surge o tema deste estudo. Para tanto, esta investigação tem como **objetivo geral** buscar uma forma de contribuir para a valorização e reintegração dos resíduos de denim ao ciclo produtivo, aumentando o ciclo de vida dos desperdícios de denim, sejam estes procedentes do pré-consumo (gerados durante o processo de fabricação), mas principalmente os resíduos pós-consumo, que se encontram sem destino apropriado sendo geralmente depositados em aterros sanitários.

A investigação pretende reinserir os resíduos de denim pós-consumo na cadeia produtiva por meio do desenvolvimento de novos produtos reutilizando tais resíduos como matéria-prima na cadeia da moda.

1.4.1 Objetivos específicos

- Desenvolver material sólido mantendo a dimensão estética do denim por meio do design em produtos de valor acrescentado;
- Selecionar o material levando em consideração a estética e funcionalidade;

- Identificar os possíveis produtos no quais o material desenvolvido possa ser aplicado;
- Realizar a Análise do Ciclo de Vida do material e ensaios de propriedades;
- Desenvolver o(s) protótipo(s) com o material desenvolvido em produtos de design;
- Colaborar com a redução de resíduos de denim descartados indevidamente;
- Atribuir novos valores e ampliar a sustentabilidade ambiental dos resíduos;
- Colaborar com a redução de gastos para a produção de novas matérias-primas para desenvolvimento de novos produtos;
- Prolongar o ciclo de vida do denim e assim colaborar para reduzir os danos já causados pela produção do têxtil;
- Divulgar os resultados por meio de publicações/divulgação ao longo da investigação;
- Colaborar e incentivar indústria e designers a atuarem na busca pela reutilização de resíduos.

1.5 Metodologia de Investigação

A estrutura metodológica aplicada numa primeira fase é a qualitativa, na qual as formas de procura de conhecimento foram realizadas por meio de pesquisa bibliográfica, documental e exploratória. Fez-se necessária uma análise aprofundada da revisão literária, estudo de conceitos importantes e das formas de reaproveitamento de resíduos de denim já existentes. Foi realizada uma busca por métodos e técnicas de reaproveitamento dos desperdícios pré e pós-consumo já desenvolvidos para elaboração de novos materiais e produtos.

Tendo como base o método de resolução de problemas de Bruno Munari, a revisão da literatura foi tomada como uma etapa principal. Segundo Munari (1981), o design não deve ser projetado sem um método, pois o pensamento de forma artística para encontrar uma solução não é suficiente se não houver a realização de uma pesquisa sobre projetos semelhantes ao que se deseja realizar. Inspirado nessa importância de um método estruturado no processo de design, Don Norman (2013) reforça que o design eficaz exige uma profunda compreensão do usuário e do contexto de uso, obtida por meio de pesquisa e análise cuidadosa. Para Norman, o design não é apenas uma questão de criatividade artística, mas um processo sistemático que envolve observação, experimentação e iteração para desenvolver soluções funcionais e emocionalmente significativas.

Na fase inicial da investigação, o tema foi explorado qualitativamente, tendo início em uma pesquisa de literatura com objetivo de identificar, avaliar e interpretar as informações disponíveis em relação ao tema, a fim de obter todo o embasamento teórico necessário para o seguimento da

investigação. Foram feitas pesquisas literárias que fundamentam o estudo do Design e Design Sustentável aplicado ao design de produtos, e o estudo da Economia Circular, com base em livros, artigos, dissertações e teses.

A construção de uma base teórica é importante para se obter conhecimentos na temática desta investigação, que concentra nos conceitos de Economia Circular e Design Sustentável. Na revisão da literatura, foram aprofundados, também, conceitos sobre inovação e sustentabilidade, polímeros, Ciclo de Vida do Produto (CVP) e Análise de Ciclo de Vida (ACV), conceitos considerados importantes para o desenvolvimento desta investigação. Com foco no desenvolvimento de produto sustentável e na inovação, é de extrema importância aprofundar conhecimentos sobre o que está sendo aplicado quanto ao reaproveitamento de denim e as tendências que possam potencializar o desenvolvimento de novos tipos de materiais envolvendo descarte de denim. Com o aprofundamento nos conceitos de sustentabilidade e design, faz-se importante o conhecimento das principais estratégias que estão sendo adotadas para reaproveitamento e geração de novos materiais e produtos.

Na segunda fase do trabalho, a etapa prática, foi desenvolvido um trabalho experimental, com uma proposta de criação/exploração de produtos por meio de recuperação de resíduos de denim juntamente com polímeros. Esta fase envolve uma abordagem qualitativa e quantitativa, na qual o material desenvolvido foi submetido à Análise do Ciclo de Vida (ACV) e à caracterização de algumas propriedades, apresentando resultados numéricos relacionados a estas etapas. É descrita uma visita de estudos em

Esta investigação tem como foco a abordagem qualitativa, que envolve principalmente a criação de um novo material e a sua aplicabilidade em produtos através do design.

Quanto à norma de escrita, utiliza-se a *APA - American Psychological Association, Publication Manual (7th edition)*, como norma de referência bibliográfica para o presente estudo. Quanto à ortografia, utilizam-se as regras de escrita e grafia da língua portuguesa conforme aplicadas no Brasil.

1.6 Estrutura da tese

O estudo foi dividido em duas fases e a estrutura do trabalho está dividida em capítulos. O Capítulo I apresenta a introdução contendo a contextualização, problemática de estudo, relevância do tema, motivação, pergunta de investigação e os objetivos a serem alcançados, bem como a metodologia e estrutura do trabalho. Em suma, o Capítulo I visa informar sobre o enquadramento do tema, situando o leitor para a contextualização do problema e na questão de investigação que geraram o planejamento do trabalho, além dos objetivos pretendidos.

No seguimento da primeira fase, o Capítulo II constitui o enquadramento teórico e estado da arte. Para que seja possível criar novos produtos mais sustentáveis a partir de resíduos de denim, é necessário que sejam compreendidos alguns conceitos fundamentais e realizar um levantamento bibliográfico abrangente sobre as pesquisas existentes. Este levantamento visa conectar melhor o tema “Design Sustentável na cadeia da moda” com o foco central desta investigação que é “repensar a circularidade dos resíduos de denim”. O Capítulo II procede, então, a análise da evolução e prática do conceito de sustentabilidade e moda, inovação, Economia Circular, Design Sustentável e criativo, e estudo de materiais (polímeros e têxteis/denim).

O desenvolvimento da segunda fase começa a ser descrito no Capítulo III, o qual é composto pelo trabalho experimental propriamente dito. Inicialmente, fez-se um estudo prático sobre o comportamento dos materiais e técnica selecionados para o desenvolvimento do material produzido a partir de resíduos. Após observar o comportamento e delimitar fatores importantes para o processo, foram desenvolvidas as primeiras amostras e sugestões de aplicabilidade.

Em seguida, no Capítulo IV, são apresentadas a caracterização de algumas propriedades físicas e a Análise do Ciclo de Vida do material desenvolvido, assim como o desenvolvimento do protótipo e descrição da visita de estudos realizada na Empresa DenimX. Em suma, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e a discussão.

O Capítulo V descreve as conclusões finais do estudo e perspectivas futuras.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS E ESTADO DA ARTE

FUNDAMENTOS TEÓRICOS E ESTADO DA ARTE

Neste capítulo foi construída uma base teórica, a partir de revisão bibliográfica e levantamento de informações sobre as principais temáticas ligadas à investigação - sustentabilidade, inovação, Economia Circular e Design Sustentável.

Para Manzini (2008), o design, ao mesmo tempo em que é parte do problema nos estilos de produção e consumo excessivos atuais, apresenta também a sua importantíssima capacidade e possibilidade de criar modos de ser e de fazer que sejam criativos e colaborativos, pontos estes relevantes quando o assunto é sustentabilidade.

Produtos desenvolvidos com produção e materiais mais ecológicos poderão ser um grande diferencial; uma produção com inovação ambiental passa a ser um fator de diferenciação entre a empresa e os seus concorrentes. A inovação ambiental envolve produções por meio do Design Sustentável, com utilização de materiais provenientes de fontes renováveis, reciclados, otimização do processo de desmontagem, reutilização e reciclabilidade do produto, cuidado maior com embalagens, tipos de corantes e solventes, entre outros.

Questões que entram também no conceito da Economia Circular, que prioriza pela produção de produtos, serviços e/ou modelos de negócio sem gerar poluição ou resíduos; e no qual os sistemas naturais são regenerados, a energia e os materiais provêm de fontes renováveis e o resíduo é evitado por meio do design de materiais, produtos e modelos de negócios (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

2.1 Sustentabilidade e a Moda

Grande parte dos estudos aponta que o conceito de sustentabilidade surgiu na década de 1970, em reuniões organizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU). A palavra sustentabilidade indica a ação de sustentar, está relacionada ao ato de preservar ou conservar e vem sendo cada vez mais utilizada em relação às ações do ser humano ao meio ambiente.

Segundo Boff (2017), a sustentabilidade representa todos aqueles procedimentos que são tomados para permitir que a Terra e seus biomas se mantenham vivos, protegidos, alimentados de nutrientes a ponto de estarem sempre bem conservados e à altura dos riscos que possam advir. Para um produto ou projeto ser considerado sustentável, é necessário principalmente que seja ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente diverso; esse é o verdadeiro objetivo do desenvolvimento sustentável, como mostra o esquema da Figura 1.

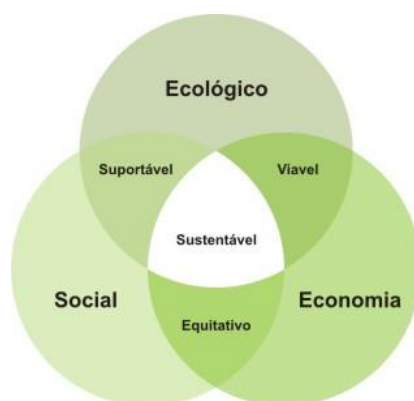


Figura 1- Esquema Conceitual de Sustentabilidade
Fonte: EquipeONB, 2015

As questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável envolvem muito mais que preservação ao meio ambiente, pois trazem preocupações econômicas, sociais e culturais. Isso inclui produções que proporcionem condições dignas aos trabalhadores, tanto em termos de salários quanto de ambiente de trabalho. É importante perceber que o desempenho de um sistema não deve ser medido apenas pelo lucro que gera, mas também pelo impacto positivo nas pessoas e no planeta.

A indústria da moda acelerou os problemas ambientais por meio da produção e consumo excedentes. Ela se destaca como uma das maiores responsáveis pelos impactos negativos ao meio ambiente, devido a processos de produção e consumo acelerados que geram grande volume de descarte. Isso ocorre tanto por parte das indústrias, que produzem resíduos e retalhos provenientes de corte de produção, quanto por parte dos consumidores, que descartam suas peças antigas ao adquirirem novos produto.

Este processo extremamente acelerado, conhecido também como *fast fashion*, é caracterizado por um padrão de produção e consumo no qual os produtos são fabricados, consumidos e descartados rapidamente. O descarte ocorre tanto pela má qualidade dos produtos quanto pela necessidade de consumo de novas tendências. A partir de tanta produção, todos os anos toneladas de resíduos industriais são acumulados e destruídos sem que um novo aproveitamento seja encontrado. O Design assume então um papel importante na busca por soluções para os desperdícios industriais, criando meios para essa redução de criação de resíduos (Costa, 2016).

Estimativas apontam que a indústria global de vestuário e calçados é responsável por 10% do mercado mundial de emissões de gases de efeito estufa (UNFCC, 2018). A emissão de gases de efeito estufa da indústria da moda é maior do que a emissão por voos internacionais e transporte marítimo em conjunto. Segundo dados divulgados pela Agência Europeia do Ambiente no ano de 2017, a compra de

têxteis na UE gerou cerca de 654 kg de emissões de CO₂ por pessoa, o que significa que os produtos têxteis consumidos na UE geraram emissões de gases com efeito estufa de 121 milhões de toneladas (Parlamento Europeu, 2020).

A indústria da moda gera gastos desde a produção das matérias-primas. Todo o processo do ciclo de vida tradicional do desenvolvimento de peças de vestuário envolve plantio e extração das matérias-primas, manufatura, beneficiamento, distribuição, até o consumo e o descarte. O final deste ciclo de vida, em relação a peças de vestuário que são descartadas tanto por consumidores no pós-consumo quanto por indústrias da moda, tornou-se uma das maiores preocupações relacionadas à busca pela sustentabilidade no mundo da moda.

2.1.1 Ações Sustentáveis e Consumo Consciente

Diante das preocupações envolvendo sustentabilidade e a indústria da moda, começam a surgir, cada vez mais, novos estudos e índices a fim de mensurar o envolvimento das empresas e consumidores nas questões relacionadas aos gastos de produção e estilo de consumo. O assunto relacionado à responsabilidade ambiental e social nunca esteve tão presente nas empresas de moda; a sustentabilidade passou a ser um assunto relevante no setor nos últimos anos. Muitas das empresas de moda passaram a anunciar ações e metas para melhorar o impacto ambiental e social. Para mensurar tais ações, a primeira edição do BoF *Sustainability Index* busca rastrear se a indústria está realmente fazendo os progressos necessários para evitar as mudanças climáticas e alcançar requisitos sociais mais amplos. O *Sustainability Index* é um índice desenvolvido pelo *Business of Fashion* (BoF) para avaliar a sustentabilidade das principais empresas de moda globais. O *Business of Fashion* investigou e comparou as ações sustentáveis das 15 maiores companhias de moda, selecionadas com base na receita anual gerada em 2019 e divididas em três grupos: luxo, moda e roupa esportiva. Os resultados foram divulgados em março de 2021 e revelam que, devido à influência cultural e à escala mundial da indústria da moda, essas companhias têm 10 anos para promover mudanças significativas nas suas práticas sustentáveis. Este prazo é uma referência às metas estabelecidas por diversos acordos e compromissos internacionais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU para limitar o aquecimento global e alcançar diversas metas sociais e ambientais até 2030. No contexto do *Sustainability Index*, o prazo alinha-se com os objetivos e compromissos globais, refletindo a urgência reconhecida globalmente para que a indústria da moda faça mudanças significativas em suas práticas sustentáveis. Esta avaliação consta em um relatório comparativo que identifica as lacunas entre o

discurso e a ação, evidenciando também as questões importantes para concretizar esses avanços. (BoF, 2021).

Segundo o relatório do *Business of Fashion* (BoF, 2021), as empresas demonstraram um maior progresso na análise e compreensão de seus impactes e no estabelecimento de metas relacionadas às emissões de gases de efeito estufa, enquanto que as questões relacionadas ao desperdício e aos direitos dos trabalhadores foram as categorias de menor sucesso (ver Figura 2).

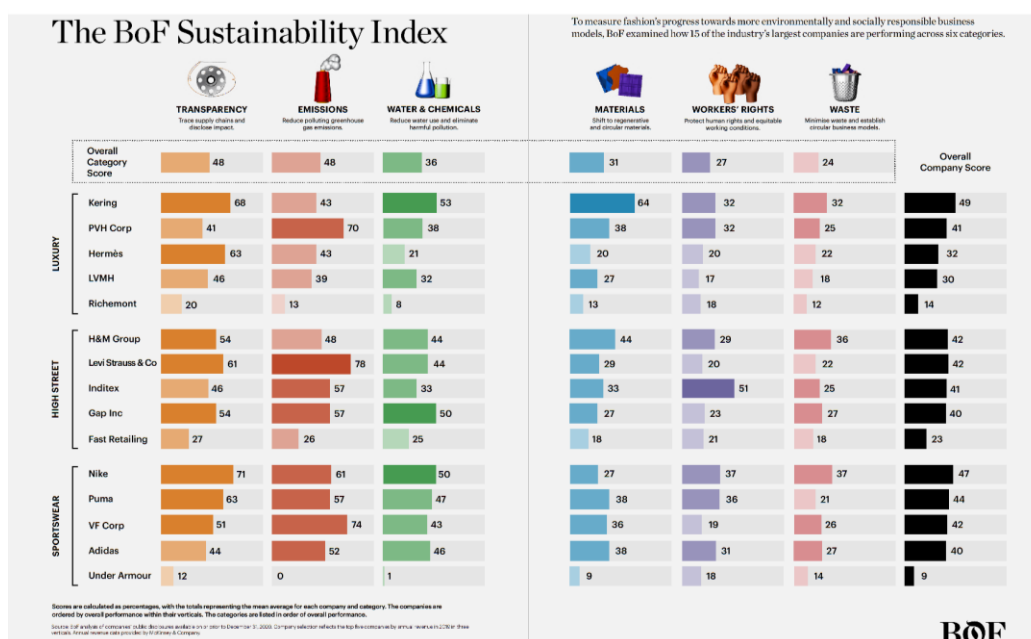


Figura 2 - *BoF Sustainability index*
Fonte: BoF, 2021

Foram analisadas seis áreas consideradas importantes nas quais a indústria da moda deve concentrar esforços para se adequar: resíduos, água e produtos químicos, direitos dos trabalhadores, materiais, emissões e transparência. Entre as questões analisadas, a categoria desperdício tem os piores índices. O estudo investigou o descarte de lixo para aterros sanitários e embalagem plásticas, a produção com desperdício zero e os modelos de negócio circular. No entanto, apesar de todas as metas das grandes empresas de moda avaliadas, demonstra que quando o assunto é circularidade, está mais difícil alinhar o discurso à prática. Em relação às informações sobre redução do desperdício e uso de materiais poliméricos, estes temas estão entre os objetivos das empresas, mas informações sobre o progresso ainda são inconsistentes, tornando difícil mensurar. É possível constatar que pouco mais de um terço das empresas está produzindo algumas roupas para serem recicláveis. A maioria possui esquemas de

troca de peças antigas, no entanto, informações sobre o volume coletado ou a destinação ainda são limitadas (BoF, 2021).

O relatório não estuda a totalidade das empresas de moda; representa apenas uma amostragem do setor, capaz de demonstrar as lacunas existentes. Diante disso, pode-se constatar que, embora já existam muitas inovações e avanços, as ações relacionadas a esses temas pela indústria da moda ainda são insuficientes, e há muito trabalho a ser feito em relação à sustentabilidade de forma concreta.

Muitas empresas perceberam que é preciso mudança em relação à sustentabilidade para atingir os novos consumidores. No entanto, algumas ações ainda constam apenas no papel, apresentando grandes lacunas entre discurso e as ações de fato. Na Europa, dois terços destes consumidores relatam que parariam ou reduziriam significativamente os gastos com marcas que não respeitam funcionários ou fornecedores (Amed et al., 2021). Conforme dados do 2º Relatório de Índice de Sustentabilidade publicado pelo *Business of Fashion*, divulgado em 2022, as maiores empresas de luxo, moda e roupa esportiva ainda não apresentam impulso suficiente com as suas políticas e práticas de sustentabilidade que possam ser capazes de transformar a indústria até 2030 (Kent, 2022). O índice divulgado em 2022 dobrou o escopo para as 30 maiores empresas listadas do setor em termos de receita em artigos de luxo, moda e esportivos. O relatório mostra um melhor desempenho geral da marca Puma e uma diminuição da pontuação média nas categorias quando comparado ao relatório do ano anterior. O estudo mostra uma indústria movendo-se muito lentamente para alcançar os objetivos, com alguns dos maiores participantes da indústria da moda fornecendo pouca ou nenhuma informação sobre como lidam com o impacto ambiental e social (ver Figura 3)

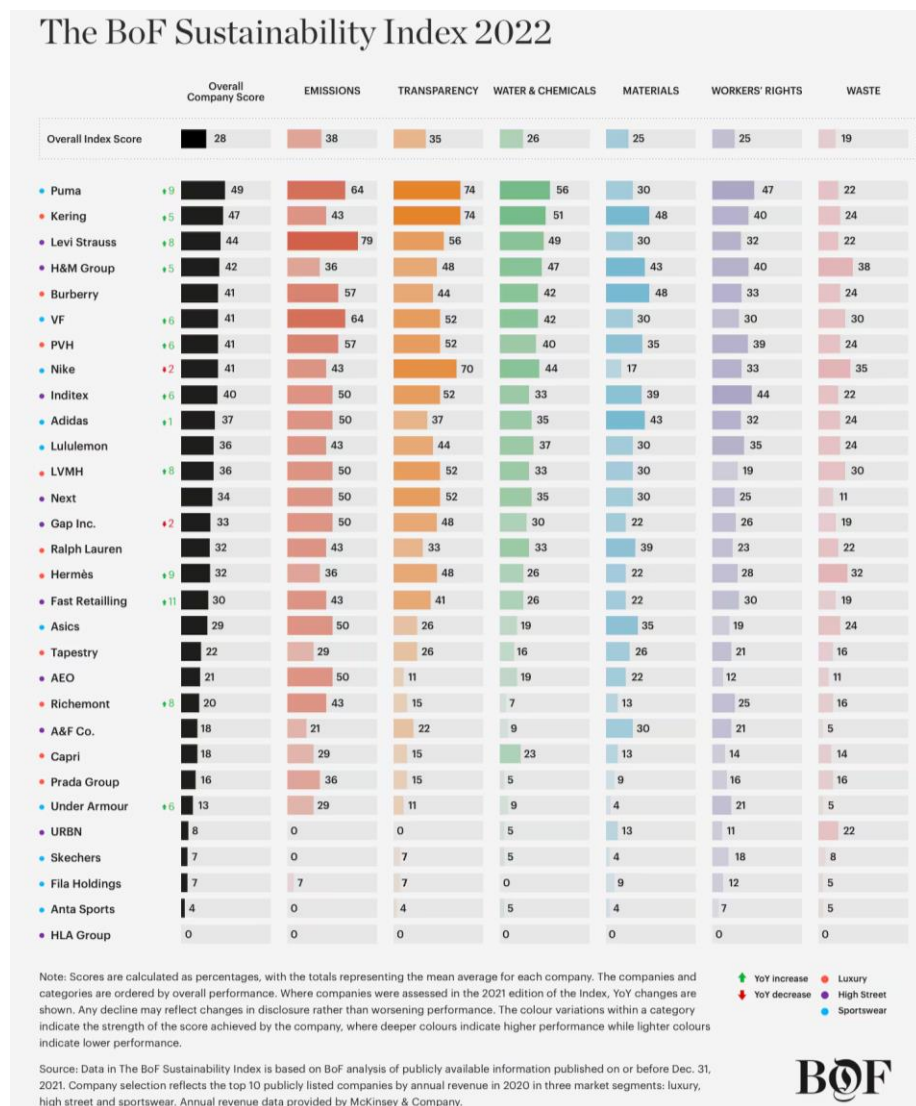


Figura 3 – BoF Sustainability index 2022

Fonte: Kent, 2022

A frequência e intensidade de eventos climáticos extremos nos últimos anos demonstram a gravidade da crise ambiental. Tais evidências deixaram a cadeia de valor da moda especialmente vulnerável. A exposição à problemática das mudanças climáticas globais gerou novos paradigmas à indústria da moda, que se viu impossibilitada de adiar a construção de resiliência nas suas cadeias de abastecimento, a fim de colaborar com a redução das emissões. No entanto, é preciso estar atento para que esta preocupação por parte das empresas seja verdadeira e não apenas como uma boa imagem diante dos consumidores. Historicamente, a preocupação ambiental tem sido mínima por parte da indústria, com muitas empresas buscando adaptar seus produtos à uma imagem de empresa 'sustentável' unicamente como uma forma de marketing para ganhar visibilidade e gerar lucros.

A indústria da moda não se refere somente ao que vestimos; moda envolve comportamento e opiniões. A moda pode ser vista muito além do vestuário; é também a adoção de uma postura, de um comportamento, de uma realidade e de uma identidade. É exatamente dentro desse contexto de postura e comportamento que entra o papel do consumidor mais consciente e como ele age, buscando as mudanças de consumo como um estilo de vida que envolve preocupação com questões sociais e éticas, além de ambientais e econômicas. O consumo sustentável na moda valoriza as pessoas envolvidas no processo produtivo, tem cuidado com a escolha de matérias-primas menos poluentes e com uma produção mais humanizada, com remuneração e jornadas de trabalho justas, se opondo aos empregos informais e mal remunerados que têm mantido o baixo custo da produção no *fast fashion*, um dos grandes fatores responsáveis pelo excesso de consumo, e consequentemente, de descarte.

A partir do momento que os consumidores foram tomando consciência dos problemas causados pelo consumo acelerado, uma nova “tendência” em adquirir produtos que priorizem aspectos sociais e ambientais começa a ganhar força. Surge uma atenção maior para os produtos e produções com preocupação social, econômica e ambiental, fatores que passaram a influenciar a prioridade de escolha dos produtos. Neste contexto, surgem produções que reutilizam resíduos têxteis. À medida que as empresas percebem a problemática e sentem a mudança no comportamento do consumidor, elas são obrigadas a atender às novas demandas dos clientes. Além disso, outra mudança significativa no setor têxtil é a criação de passaportes digitais, uma ferramenta que visa promover a transparência e a rastreabilidade dos produtos têxteis, contribuindo para um consumo consciente.

O passaporte digital é um documento eletrônico associado a um produto têxtil, contendo informações sobre sua origem, composição, processos de produção e impacto ambiental. Ele pode ser acessado por meio de códigos (*QR codes*), aplicativos móveis ou plataformas digitais, permitindo que consumidores e, fabricantes consultem dados relevantes sobre o produto em questão.

Um estudo global, realizado entre 2016 e 2019 em 19 países com mais de 22.000 pessoas, sobre o comportamento do consumidor indicou o surgimento de consumidores mais conscientes e o posicionamento das gerações mais jovens, colocando cada vez mais ênfase na sustentabilidade. Setenta e nove por cento (79%) dos consumidores disseram incluir embalagens sustentáveis em suas decisões de compra, sendo que este número é ainda maior entre os *millennials*, chegando a atingir 83%. O estudo ainda indica que a geração *millennial*, nascida entre 1981 e 1996, relata estar preparada para pagar mais por produtos que têm o menor impacto negativo sobre o meio ambiente e para obter produtos de empresas que compartilham seus valores (McKinsey&Company, 2020).

Um consumo consciente significa pensar antes de agir e, portanto, o primeiro passo é entender que, para ser um consumidor consciente, é necessário perceber que o consumo de qualquer coisa, seja produto ou serviço, traz consigo consequências. Consumir afeta não só o consumidor, mas também o meio ambiente, a economia e a sociedade como um todo.

Questionamentos envolvendo o consumo consciente, com preocupações ambientais, ganharam força a partir da década de 1990, quando as atenções ficaram mais voltadas para os meios de produção, hábitos de consumo e a responsabilidade do consumidor com a sustentabilidade ambiental (Panucci-Filho et al., 2018).

Para um consumo consciente, é preciso atenção ao que é consumido e aos possíveis impactos que o ato de comprar pode causar. O consumo consciente, muitas vezes chamado de consumo sustentável ou responsável, está relacionado com a busca por produtos e serviços ecologicamente corretos. Dentro deste contexto, o consumidor consciente é aquele que tem preocupação com seu bem-estar, com a sociedade atual e com as gerações futuras. Segundo o Instituto Akatu (2020), o consumo consciente é ato de consumo feito não só a partir de uma análise prévia das necessidades do consumidor, mas também de um conjunto de informações relacionadas aos impactos sociais, econômicos e ambientais que o produto a ser adquirido possa causar.

O consumidor consciente serve como um agente capaz de transformar a sociedade por meio de suas escolhas de consumo, buscando equilíbrio entre suas necessidades e a sustentabilidade como um todo.

Reduzir a produção de lixo, conhecer a origem dos materiais e os processos de fabricação dos produtos, e todo o impacto causado ao longo de toda sua vida útil, desde a extração da matéria-prima até o descarte final, faz parte do consumo consciente. Para isso, é necessário que o consumidor desenvolva sua percepção e senso crítico em relação ao seu papel como elemento integrante na cadeia de produção e consumo, transformando-se em ator importante na cobrança por mudanças de paradigmas e influenciando as empresas na busca por modelos de produção mais sustentáveis.

O consumidor consciente tem uma preocupação com os recursos gastos na produção do produto e como ele deve ser corretamente usado e descartado no futuro. O consumo consciente começa com uma análise prévia da necessidade: preciso realmente comprar? Decidido que sim, o consumidor deve definir as características que precisa no produto, pensar sobre como irá comprar, escolher o fabricante de acordo com a sua

responsabilidade socioambiental na produção, fazer um uso otimizado do produto para ter uma vida útil mais longa, e definir uma forma de descarte adequada. Só assim, tomando decisões conscientes em cada uma dessas fases, o consumidor poderá comparar e escolher a melhor opção (Instituto Akatu, 2020).

O Instituto Akatu é uma organização não governamental brasileira sem fins lucrativos, focada na promoção do consumo consciente. Fundado em 2001, o Akatu incentiva práticas de consumo que contemplam aspectos econômicos, sociais e ambientais através de iniciativas educativas e colaborações com diversas entidades.

O comportamento consciente inclui, também, preocupações com as formas de descarte adequadas aos produtos no final de vida, visando a reciclagem e redução de desperdício.

Uma pesquisa realizada em novembro de 2020 com 1.058 americanos sobre consumidor consciente revela que 80% dos americanos reciclaram, destinaram adequadamente os resíduos e privilegiaram produtos reutilizáveis no ano anterior. Dados do estudo revelam ainda que estes atos estavam em declínio desde 2015, quando atingiram 90%. No relatório divulgado pela mesma empresa, em 2023, são apresentados valores crescentes sobre o consumo consciente. Realizada com 1.052 americanos, a pesquisa sobre consumo consciente mostra um nível de reconhecimento por 39% dos indivíduos, em comparação a 34% em 2022 e 33% em 2013 (Good.Must.Grow, 2020).

O consumidor consciente também pode disseminar o conceito e a prática deste tipo de consumo, tornando possível, por meio de pequenos gestos realizados por um número muito grande de pessoas, promover grandes transformações. Trata-se de uma contribuição voluntária, diária e solidária capaz de garantir a sustentabilidade da vida no planeta (Instituto Akatu, 2020).

A prática do consumo consciente ou responsável deve-se muito à educação e a sensibilização da sociedade sobre os problemas ambientais e sociais. A partir do momento em que o consumidor reconhecer seu papel como influenciador nos processos de tomada de decisão que podem afetar, em maior ou menor grau, a esfera produtiva, mudará seus paradigmas e, conseqüentemente, seus próprios hábitos de consumo. Uma educação voltada para um consumo com foco na sustentabilidade pode ser capaz de colaborar nesse processo. No entanto, como já citado anteriormente, essa conscientização e potencial de escolha dependem também de questões econômicas e sociais, e infelizmente muitas pessoas que vivem na pobreza não têm sequer possibilidade de escolha.

2.1.2 A indústria da moda e o desenvolvimento de produto sustentável

Em razão da quantidade de resíduos têxteis gerados pelo setor da moda, alternativas como reuso e reciclagem surgem para prolongar o ciclo de vida dos materiais já produzidos e podem contribuir para não aumentar os danos causados. O desenvolvimento de novas matérias-primas que não representem impactos negativos ao meio ambiente são capazes de contribuir para evitar que sejam gerados mais danos.

Uma parte dos consumidores está cada vez mais ciente dos impactos negativos causados pelo excesso de produção e da escassez de recursos naturais, enquanto as marcas de moda precisam reavaliar suas escolhas a fim de não perderem a confiança desses consumidores. Sendo assim, diversas estratégias começam a ser utilizadas pelas marcas em busca de desenvolvimento e produtos mais sustentáveis.

Como uma forma de alcançar o desenvolvimento sustentável, foram estabelecidos os chamados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que são 17 metas estabelecidas pela Assembleia Geral das Nações Unidas (ver Figura 4). Elas abrangem questões de desenvolvimento social e econômico, buscando acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas (United Nations, 2021).



Figura 4- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: BCSD Portugal, n.d.

Vale ressaltar, que nesse estudo está incluído principalmente o objetivo 12 – Consumo Responsável, que tem como metas:

- ✓ Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização (United Nations, 2015);
- ✓ Até 2030, certificar de que as pessoas em todos os lugares tenham as informações relevantes e consciência para o desenvolvimento sustentável, e estilos de vida em harmonia com a natureza (United Nations, 2015).

Algumas marcas de moda, pressionadas pelas mudanças exigidas pelo consumidor, estão buscando encontrar alternativas de produções e matérias-primas mais sustentáveis. No entanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido, que tem como principais aliados a Inovação, Economia Circular e o Design sustentável, que são os conceitos a serem vistos a seguir.

2.2 Inovação

Para desenvolvimento de produtos sustentáveis e inovação, são necessários principalmente investimento e pesquisa. Para inovar é preciso criatividade, estudo aprofundado da ideia e implementação. A partir do momento em que a implementação é validada como positiva e de maior valor do que o que já existe, é que pode ser considerada uma inovação. A exigência de implementação é o que diferencia a inovação de conceitos como invenção, devido ao fato de que, para ser inovação, precisa ser colocado em prática para outros usuários (OECD/Eurostat, 2018).

Segundo Schumpeter (2003), a inovação não tem limite, independe da situação econômica e tem carácter descontínuo, fatos estes considerados capazes de dinamizar os ciclos produtivos.

Segundo o Manual de Oslo (2006), inovação pode ser vista como a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, um processo, um método de marketing ou ainda um método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas. A versão recente do Manual de Oslo (OECD/Eurostat, 2018) reduz a definição anterior de 4 tipos de inovação: Inovação de Produto, Processos, Marketing e Organizacional para dois tipos principais: Inovação de produto e processos/negócios. Sendo considerada uma inovação de produto, um bem ou serviço novo quando este difere significativamente dos anteriores da empresa e que tenha sido introduzido no mercado; assim como, para uma inovação de processos de negócios, deve haver um processo de negócio novo ou aprimorado para uma ou mais funções que difiram significativamente dos negócios anteriores da empresa e que tenha sido implementado.

A inovação pode ser considerada como um dos principais fatores capazes de influenciar positivamente a competitividade e o desenvolvimento econômico. Países que estimulam a inovação estão em busca de melhoria na produtividade, tornando suas economias mais eficientes (PINTEC, 2013). O

desenvolvimento sustentável demanda uma série de mudanças tanto tecnológicas quanto sociais (Pinsky et al., 2015). Estimular a inovação colabora para o desenvolvimento de produtos e processos mais sustentáveis. Criar produtos tendo como base conceitos que ofereçam um bem ou serviço a preços justos, respeitando o meio ambiente e a sociedade, é o que está sendo buscado por uma parcela de empresários, designers e investigadores.

Para uma melhor compreensão sobre como é possível que a inovação seja realizada tendo como foco a sustentabilidade, faz-se importante o aprofundamento de conhecimento sobre o conceito da Economia Circular.

2.3 Economia Circular

O modelo linear, no qual o crescimento é diretamente proporcional à exploração de recursos naturais, trouxe desgaste ao meio ambiente e precisa urgentemente ser substituído. A taxa de exploração de recursos naturais, mais rápida que a capacidade da terra de se regenerar, provoca um desgaste no ecossistema, escassez de matéria-prima e aumento de custo.

A partir disso, surge a necessidade de mudança e transição de um modelo de economia linear para um modelo de produtividade da Economia Circular, que visa mitigar os danos causados e evitar mais danos futuros. É um modelo produtivo que promove inovações tecnológicas, contribui para reduzir o aumento da temperatura global, gera novas oportunidades de negócios e empregos.

Diante de recursos finitos e questões climáticas, o Parlamento Europeu destaca para a necessidade de transformar um sistema de “extrair, fabricar, usar e descartar” para uma economia mais neutra em termos de carbono, sustentável, isenta de elementos tóxicos e totalmente circular até 2050. Preocupada com os impactos ambientais, a União Europeia (UE) quer reduzir os resíduos têxteis, aumentar o seu ciclo de vida e promover a sua reciclagem; objetivos que fazem parte do plano para alcançar uma Economia Circular até 2050 (Parlamento Europeu, 2021).

A crise atual evidenciou fraquezas nas cadeias de recursos e de valor, atingindo as pequenas e médias empresas e a indústria de um modo geral. Uma Economia Circular poderá reduzir as emissões de CO₂, estimular o crescimento econômico e criar oportunidades de emprego.

A Economia Circular busca o crescimento econômico desconectado da exploração de recursos naturais, cria ciclos fechados de produção para não gerar resíduos e apresenta o olhar sistêmico na avaliação de novas formas de produção e consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2019). É mais que um conceito estratégico; tornou-se uma necessidade mundial de mudança, é um modelo de economia

restaurativa e regenerativa por princípio, o qual tem por objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo.

Uma economia pautada na sustentabilidade consiste em manter e gerar valor ao longo de toda a cadeia produtiva, inspirando-se em sistemas naturais nos quais materiais e energia circulam por meio de fluxos contínuos de reaproveitamento, minimizando a geração de resíduos. Este modelo vai além da reciclagem convencional, incorporando o redesenho de produtos com ênfase na modularidade e durabilidade, visando a otimização do ciclo de vida dos materiais.

O Modelo de Economia Circular dá ênfase ao crescimento econômico de forma regenerativa e restauradora com novos materiais e novas fontes de energia renováveis, buscando reduzir, reutilizar, recriar, recuperar e reciclar. Uma Economia Circular oferece uma maneira positiva de redefinir a criação de valor para focar nos benefícios para toda a sociedade, abordando as deficiências do sistema atual criando novas oportunidades para negócios e para a sociedade (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

O modelo de Economia Circular é baseado em três princípios gerais (ver Figura 5):

- Eliminar resíduos e poluição;
- Manter produtos e materiais em uso;
- Regenerar sistemas naturais.

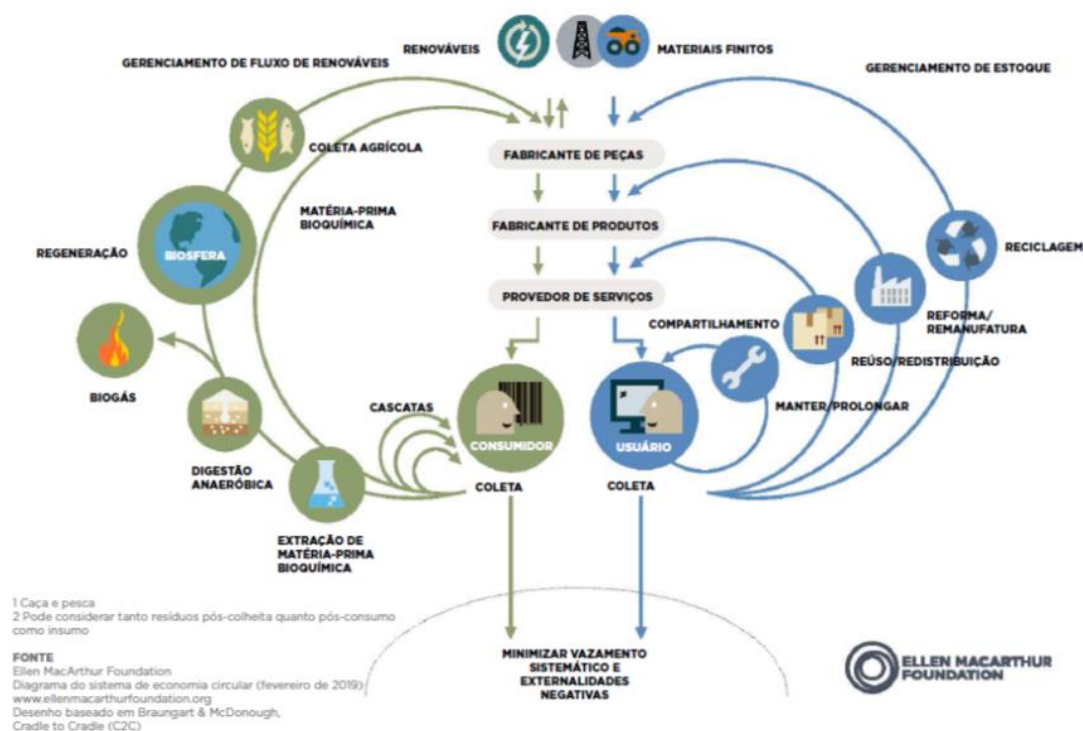


Figura 5 – Sistema de Economia Circular
Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2019

Esta economia tem como aliado o design para promover a circularidade, com o qual os produtos devem ser projetados com pensamento na desmontagem, modularidade, reparos, flexibilidade, reciclagem ou compostagem, tornando possível, assim, o reuso, a reparação, a remanufatura e a regeneração (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Em março de 2020, foi apresentado pela Comissão Europeia um novo Plano de Ação para a Economia Circular, incluindo propostas para uma concepção mais sustentável dos produtos, a redução dos resíduos e a capacitação dos cidadãos. Em fevereiro de 2021, foi atualizado o novo Plano de Ação para a Economia Circular, o qual exige medidas adicionais para alcançar uma economia neutra em termos de carbono, sustentável, livre de substâncias tóxicas e totalmente circular até 2050. Este novo plano inclui regras de reciclagem mais rigorosas e também metas obrigatórias para a utilização e consumo de materiais até 2030.

As regras aprovadas pelo Parlamento Europeu (Atualidade Parlamento Europeu, 2018) estipulam que a quantidade de resíduos urbanos depositados em aterros não poderá ultrapassar os 10% em 2035. Determina-se que 65% dos resíduos de embalagens terão de ser reciclados até 2025 e 70% até 2030. Em relação aos resíduos têxteis e resíduos perigosos domésticos, deverá ser iniciada a recolha seletiva

até 01 de janeiro de 2025. Diante destas atualizações das regras, a reciclagem de resíduos urbanos terá de aumentar dos atuais 44% para 55% até 2025, 60% até 2030 e 65% até 2035.

Pelo modelo de Economia Circular, a produção e consumo incluem a partilha, reparação e reciclagem de materiais e produtos existentes, com o objetivo de aumentar o ciclo de vida dos produtos. Desta forma, a Economia Circular busca minimizar o desperdício, garantindo que os materiais dos produtos sejam mantidos dentro da economia para serem reutilizados ao final de seu ciclo de vida, como mostra a Figura 6 (Parlamento Europeu, 2023).



Figura 6 - Modelo Economia Circular
Fonte: Parlamento Europeu, 2023

A implementação do modelo de Economia Circular traz medidas para a prevenção de resíduos, o que pode significar grandes ganhos econômicos. Pela abordagem de Economia Circular, poderiam ser reduzidas as emissões globais de CO₂ provenientes de importantes materiais da indústria em 40%, ou seja, 3,7 bilhões de toneladas em 2050 (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

A Economia Circular busca o crescimento econômico desvinculado da geração de resíduos, uma vez que tem como objetivo transformá-los em novos produtos e materiais com a máxima eficiência, objetivando chegar a um modelo econômico com desperdício zero, imprescindível para alcançar um crescimento sustentável.

Outros benefícios da Economia Circular são a redução da pressão no ambiente, maior segurança no aprovisionamento de matérias-primas, aumento da competitividade e promoção da inovação, assim

como crescimento de empregos, já que envolve criação de novos postos de trabalho. Pela Economia Circular, é possível obter produtos mais duradouros e inovadores (Parlamento Europeu, 2024).

Ellen MacArthur Foundation (2017) apresentou em relatório direcionado ao setor de vestuário, uma proposta para a nova economia têxtil alinhada aos princípios da Economia Circular. Com base no relatório, propõe-se que a indústria têxtil e de vestuário seja restauradora e regeneradora, sendo capaz de trazer benefícios econômicos para o setor, para a sociedade e meio ambiente. Uma economia onde roupas, tecidos e fibras precisam ser mantidos com alto valor durante o uso e que sejam reincorporados nos processos produtivos, nunca acabando como desperdício após o uso. O mesmo relatório aponta que 73% do vestuário têxtil pós-consumo é incinerado ou depositado em aterro, relata que apenas 12% é reciclado num processo em cascata, ou seja, os resíduos são incorporados em artigos de menor valor (material de isolamento e enchimento) enquanto apenas 1% corresponde a reaproveitamento em circuito fechado por meio da produção de artigos de mesmo valor.

A pensar nos resíduos, a Comissão Europeia está a propor a introdução de novos regimes obrigatórios de responsabilidade alargada do produtor (RAP), ou seja, os produtores terão mais responsabilidade sobre os resíduos gerados, devendo cobrir os custos da gestão nos setores alimentar e têxtil. As novas regras têm como objetivo contribuir para controlar o impacto ambiental e climático destes setores. Esta nova proposta poderá funcionar como um incentivo para reduzir os resíduos e aumentar a circularidade dos produtos têxteis, além de incentivar o desenvolvimento de produtos melhores desde o início do processo produtivo. Em relação ao montante que os produtores deverão pagar diante deste regime de responsabilidade alargada do produtor, deverá ser ajustado com base no desempenho ambiental dos têxteis, princípio conhecido como “eco-modulação” (IAPMEI, 2024).

A partir do momento em que se percebe a indústria têxtil (em todas as suas formas de aplicação: vestuário, têxteis lar, aplicações técnicas como na construção civil, meios de transporte, equipamentos de proteção pessoal, entre vários outros) como uma parcela muito relevante do consumo global de recursos e de geração de desperdício, faz-se necessário promover o fecho da cadeia de valor linear dominante, o que significa adaptar os atuais processos de fabricação e os modelos de negócios a uma abordagem circular e mudar a maneira de consumo e descarte de têxteis (CCDR-N, 2020).

Os têxteis são a quarta categoria de maior pressão em termos de utilização de matérias-primas e de água, seguindo-se à alimentação, habitação e transporte. Por essa razão, possui referências específicas no novo Plano de Ação adotado pela Comissão Europeia, reconhecido como um setor de grande impacto e com elevado potencial para circularidade (CCDR-N, 2020). Segundo dados do relatório de 2023 divulgados pela Agência Europeia do Ambiente, a produção mundial de fibras têxteis quase

duplicou, passando de 58 milhões de toneladas em 2000 para 109 milhões de toneladas em 2020, com previsão de aumento de 145 milhões de toneladas até 2030 (Parlamento Europeu, 2020).

A transição para a Economia Circular inicia com a prevenção dos desperdícios, a minimização dos resíduos depositados em aterros e implantação de processos de reciclagem.

O aumento de resíduos, somado ao declínio dos recursos naturais, levou a uma busca por formas de compensar o déficit de oferta de matérias-primas. Dessa forma, reciclar resíduos e desperdícios de processos de fabricação para desenvolver novos produtos é uma solução que pode se tornar mais barata e eficaz quando comparada aos custos para desenvolver novas matérias-primas. A transformação de resíduos em novos produtos e materiais com a máxima eficiência é a maneira que vem sendo adotada por diferentes setores da indústria, impulsionados pela crescente necessidade de recursos naturais finitos (Velicko et al., 2020).

Uma Economia Circular para a moda possibilita criar melhores produtos e serviços para os clientes, contribuindo para uma indústria da moda resiliente e próspera, capaz de colaborar com a regeneração do meio ambiente (Ellen Macarthur Foundation, 2020). Pautada nos conceitos da sustentabilidade, a Economia Circular tem como grande aliado o Design Sustentável, que busca suprir as necessidades do consumidor por meio do desenvolvimento de produtos mais ecologicamente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos.

2.4 Design

2.4.1 Breve história do design

Tudo que precisa ser pensado e, portanto, não está disponível pronto, deve ser planejado e projetado. Sejam móveis, roupas, o funcionamento de um aparelho eletrônico, objetos, a superfície de um têxtil, ou interações, tudo deve ser concebido considerando não apenas a estética e a funcionalidade tradicionais, mas também a experiência do usuário, a sustentabilidade, a inovação e a conexão emocional, integrando forma, propósito e impacto ao longo do ciclo de vida do produto — em outras palavras, um design holístico e contemporâneo.

O conceito de design não tem uma origem exata definida, mas geralmente está relacionado com a Revolução Industrial, que teve início em meados do século XVIII. Resumidamente, a Revolução Industrial está ligada à substituição do trabalho humano por máquinas, seguida pelo surgimento e uso de novas fontes de energia cerca de um século depois.

Antes de ocorrer a chamada Revolução Industrial, as peças eram executadas na sua totalidade pelos artesãos e o processo incluía a fase de criação, produção e venda. Foi então após a Revolução Industrial que se começou a falar em “design” e na divisão do trabalho, sendo dividido em “idealização do projeto” e “execução do projeto”. No entanto, alguns autores argumentam que essa divisão do trabalho teve origem no final da Idade Média, com o crescimento do comércio (Rüthschilling, 2012). O design se preocupa com “como as coisas funcionam”, como são controladas, e com a interação entre pessoas e a tecnologia (Norman, 2013).

A expansão comercial e as oportunidades teriam aumentado a concorrência, havendo a necessidade de diferenciação dos produtos. Na Itália e na Alemanha, os primeiros designers começaram a fazer essa diferenciação e inovação nos produtos (Rüthschilling, 2012). Com o crescimento da indústria, a vida de artesãos começou a ficar ameaçada, principalmente pelo baixo custo dos produtos industrializados. Por outro lado, a produção em massa diminuiu a qualidade dos produtos, dando origem ao movimento Artes e Ofícios, que valorizava a qualidade artística. No entanto, o aumento dos custos não permitiu que o movimento prosperasse.

Durante o século XIX, quando começaram a ser projetados objetos para a fabricação industrial, eram utilizados termos como artes técnicas ou artes industriais. Apenas após 1865 surgiam outros conceitos como artes aplicadas à indústria, artes e ofícios, indústria artística, arte fabril, arte aplicada e arte decorativa. O termo design só começou a ser amplamente utilizado na Alemanha depois da Segunda Guerra Mundial (Rüthschilling, 2012 apud Schneider, 2010).

Na Alemanha, a escola *Staatliches Bauhaus*, mais conhecida como “*Bauhaus*”, foi fundada em 1919 pelo arquiteto Walter Gropius. Seu principal objetivo era unir arte e técnica, promovendo a colaboração entre artesãos e artistas para aplicar características artísticas e funcionais à produção em massa. A escola buscava democratizar o design, criando objetos estéticos, funcionais e acessíveis, visando atender a uma ampla parcela da população, incluindo as classes populares. Assim, a *Bauhaus* surge como uma fusão entre arte e técnica, com o propósito de incorporar criatividade e qualidade artística à produção industrial (J. C. R. P. Silva et al., 2012). A *Bauhaus* é considerada até hoje como uma referência na área do design, tendo sido grande incentivadora na relação entre a arte, o artesanato e o design. A partir daí que começam a surgir, em diversos países, escolas baseadas no seu modelo de ensino, disseminando assim o design pelo mundo.

Design pode ser descrito como uma atividade capaz de solucionar problemas unificando estética e utilidade, uma relação entre forma e função. Para ser considerado bom, um design deve permitir fácil

descoberta e compreensão das ações possíveis, bem como oferecer clareza sobre como o produto deve ser utilizado (Norman, 2013).

Manzini (2015) argumenta que o design não influencia apenas a função ou a forma de um objeto, mas sim ambos de maneira integrada, reconhecendo que são independentes e interagem entre si.

Além de estética e funcionalidade, o design também está ligado ao aspecto emocional. Norman (2004) introduziu o conceito de Design Emocional, enfatizando que além de utilidade e usabilidade, a diversão, o prazer, a alegria, a excitação, e até mesmo a ansiedade, a raiva, o medo e a fúria desempenham papéis importantes na experiência do usuário com um produto. Essas conexões emocionais, muitas vezes inconscientes, têm o poder de transformar objetos simples em extensões do usuário. Norman (2004) identificou três níveis emocionais que o design pode alcançar:

- Visceral: está a nível subconsciente. É superficial e tem relação com a aparência. É quando o produto é escolhido pela embalagem, por exemplo;
- Comportamental: subconsciente, mas a nível mais profundo, é quando o usuário tem “controle” e leva em consideração a resposta que o produto dá em relação a sua eficácia e usabilidade, ou seja, prazer e habilidade de uso;
- Reflexivo: é a imagem que o produto representa, e como ele está ajudando a construir a personalidade do seu utilizador. Tem relação direta com o status social.

Dessa forma, quando o produto consegue atingir os três níveis emocionais, tem grandes chances de maior aceitação e aprovação pelos consumidores.

O design pode ser aplicado a diversos setores, podendo ser focado no design de produto, gráfico, superfícies, ambiente e moda. Cada um desses setores demanda conhecimentos específicos, mas todos compartilham a preocupação com a interação entre forma e função.

Outro aspecto crescentemente relevante no design é a sustentabilidade, que está sendo aplicada para promover o desenvolvimento sustentável e está cada vez mais presente em todos os setores do design.

2.4.2 Design de Superfície

O Design de Superfície, como o próprio nome sugere, está relacionado ao projeto de texturas, padrões e acabamentos bidimensionais e tridimensionais aplicados a qualquer tipo de material. É um ramo do design voltado para encontrar soluções estéticas e funcionais para superfícies diversas. Pode ser desenvolvido utilizando uma variedade de materiais e aplicado em áreas como papelaria, têxtil e

cerâmica. O Design de Superfície frequentemente colabora com outras áreas do design, como moda e design de interiores.

Assim como o Design Sustentável, o Design de Superfície é relevante neste estudo, especialmente quando se considera o uso de materiais desenvolvidos a partir de resíduos na criação de diversos produtos de design.

Segundo Rüttschilling (2008):

Design de Superfície é uma atividade criativa e técnica que se preocupa com a criação e desenvolvimento de qualidades estéticas, funcionais e estruturais, projetadas especificamente para a constituição e/ou tratamentos de superfícies, adequadas ao contexto sócio cultural e às diferentes necessidades e processos produtivos. (p.23)

A *Surface Design Association* (SDA) foi fundada em 1977 nos Estados Unidos. Esta associação reúne profissionais da área e publica revistas, jornais e realiza eventos relacionados ao Design de Superfície. A partir desse período, o termo "*Surface Design*" ou Design de Superfície passou a ser utilizado para descrever projetos desenvolvidos por designers que envolvem qualquer tipo de superfície, seja ela manufaturada ou industrial, e utilizando tanto métodos manuais quanto digitais (Menezes & Silva, 2023).

O termo Design de Superfície diferencia-se do design têxtil e da estamparia por estar relacionado à qualquer tipo de superfície e, sendo um termo mais amplo não se limita apenas ao campo têxtil e impressão de desenhos.

Os relatos das primeiras manifestações de intervenção em superfícies remontam às pinturas rupestres, como as encontradas na caverna de *Chauvet*, na França, e na Serra da Capivara, no Brasil (Menezes & Silva, 2023). Embora essas pinturas sejam consideradas expressões artísticas e culturais, elas evidenciam a prática humana de se comunicar e se expressar por meio de superfícies. Ao longo da evolução humana, essa relação com superfícies foi se transformando, passando de manifestações artísticas espontâneas para processos mais sistemáticos e intencionais, que hoje configuram o Design de Superfície. O desenho em superfícies manifestou-se de diversas formas ao longo dos séculos, desde as técnicas artesanais tradicionais até a aplicação de tecnologias avançadas em materiais e processos contemporâneos. Registros de desenhos em superfícies datam do período Paleolítico, com figuras mais definidas no Mesolítico (Rüttschilling, 2008).

No período conhecido como Antiguidade, que compreende desde a invenção da escrita até a queda do Império Romano Ocidental (476 d.C.) e o início da Idade Média (século V), há muitas

intervenções em materiais que poderiam ser considerados como aplicações do Design de Superfície, tais como azulejaria, mosaicos, cestaria, tapetes, joias etc. (Menezes & Silva, 2023; Rüttschilling, 2008).

São considerados, basicamente, dois tipos de projetos de Design de Superfície: o primeiro quando não existe repetição, onde o módulo (desenho) é aplicado local ou globalmente (ocupando um único ponto ou em maior escala ocupando toda a superfície), na Figura 7a. O segundo, envolve o módulo em repetição, gerando um padrão gráfico de aplicação parcial ou total, na Figura 7b (Menezes & Silva, 2023).

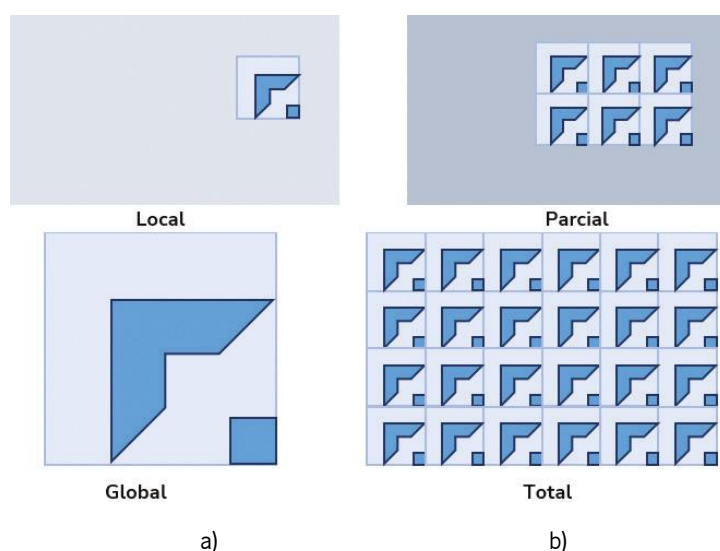


Figura 7 – Projeto de Design Superfície : a) sem repetição b) com repetição
Fonte: Menezes & Silva, 2023

Considera-se “módulo” como a unidade básica e “repetição” como a forma como os módulos são replicados. O "*rapport*" é essencialmente a forma como o desenho ou padrão é repetido para cobrir toda a extensão da superfície de maneira contínua e sem interrupções visíveis. Existem vários sistemas de repetição, esses sistemas de repetição ou alinhamento dos módulos é chamado de grade ou malha, que corresponde a maneira como os módulos são alinhados na superfície. Conforme a maneira como o módulo é repetido, são criados os padrões e posteriormente a chamada padronagem (Figura 8); ou seja, o padrão é resultado da disposição de um módulo predefinido.

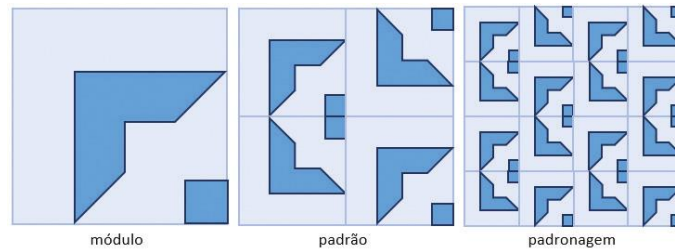


Figura 8 - Módulo, padrão e padronagem
Fonte: Menezes & Silva, 2023

Ao alinhar o módulo por meio de repetições criando pontos de encontro, podem ser criadas diversas padronagens. Na Figura 9, observa-se exemplos de repetição de um mesmo módulo aplicado de diversas formas. Nota-se que a partir de determinada simetria, podem ser gerados diferentes *rapports* que resultam em padrões gráficos diferentes entre si.

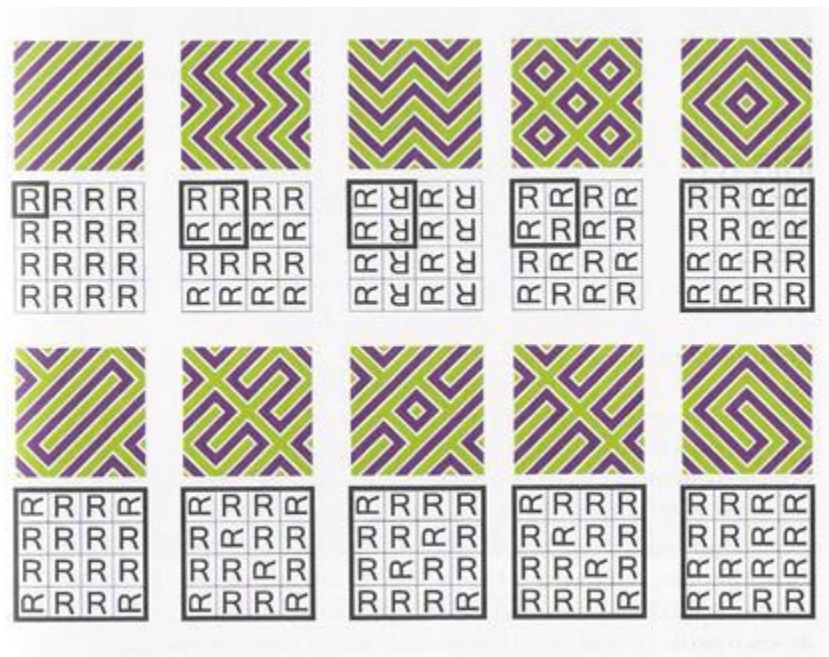


Figura 9 - Exemplo de diferentes *rapports* com mesmo módulo
Fonte: Rùthschilling, 2008

Com o uso do Design de Superfície, é possível criar produtos com uma linguagem visual ainda mais apelativa. O designer, utilizando combinação de materiais, cores e técnicas, é capaz de influenciar a percepção dos indivíduos em relação aos objetos e as suas superfícies. Dessa forma, o Design de Superfície, torna-se um grande aliado para desenvolvimento de projetos com reutilização e valorização de materiais descartados. Entre os métodos utilizados no Design de Superfície, destaca-se a abordagem modular, que consiste na criação de padrões repetitivos, tanto bidimensionais quanto tridimensionais.

Essa estratégia contribui para o desenvolvimento de novos produtos com foco na sustentabilidade, permitindo maior flexibilidade, reaproveitamento e eficiência no processo de criação.

2.4.3 Design Modular

O design modular consiste na decomposição de um produto ou sistema em módulos independentes, que possuem interfaces padronizadas e bem definidas, permitindo que sejam combinados, substituídos ou atualizados sem afetar a integridade geral do sistema. Ulrich (1995) define arquitetura modular como aquela em que cada função do produto é implementada em um módulo físico único, facilitando a manutenção e a flexibilidade do produto. De forma complementar, Mertens et al. (2022) ressaltam que a modularização é um processo que busca reduzir as interdependências entre os módulos, possibilitando uma maior variedade de configurações do produto com custos controlados e maior eficiência no desenvolvimento.

A utilização de recursos modulares proporciona flexibilidade e versatilidade nos projetos, facilitando a manutenção ou reposição de peças. Os componentes de um produto podem ser reconfigurados, removidos ou adicionados, o que contribui para a reparação e, conseqüentemente, para a sustentabilidade.

Na área de design e decoração, a designer sueca Mia Cullin cria superfícies e desenvolve projetos com ênfase na construção de montagens e conexões de módulos inspiradas por padrões geométricos. Ela atua nos setores de mobiliário, iluminação, objetos e acessórios de design. Utilizando formas simples e de fácil montagem, a designer cria padrões têxteis tridimensionais como o painel acústico feito com feltro, conforme Figura 10.



Figura 10 - Painel acústico modular em feltro de lã
Fonte: Cullin, n.d.

Para a Ellen MacArthur Foundation (2020), o design modular é uma estratégia essencial dentro da economia circular, pois possibilita que os produtos sejam facilmente desmontados, reparados e atualizados, contribuindo para a extensão do ciclo de vida dos materiais e a redução do desperdício. Na indústria da moda, por exemplo, a modularidade permite uma desmontagem eficiente para reutilização e reciclagem, alinhando práticas de design a modelos de produção mais sustentáveis e circulares. Essas abordagens enfatizam a importância de processos criativos e colaborativos para a inovação em design.

2.4.4 Design Criativo – *Design Thinking*

O desenvolvimento de projetos de design exige um processo criativo voltado à busca por soluções adequadas e inovadoras. Segundo Katja Tschimmel (2011), esse processo requer uma observação atenta do problema, com o objetivo de enxergar além do óbvio e romper com percepções habituais, permitindo assim o surgimento de ideias originais e surpreendentes. Esse tipo de abordagem pode ser favorecido por metodologias como o *Design Thinking*, que facilitam a geração, experimentação e análise de soluções centradas no usuário.

O *Design Thinking* é uma abordagem voltada ao processo criativo e à resolução de problemas complexos ou mal definidos. Caracteriza-se por sua estrutura não linear, permitindo a constante readaptação das etapas conforme a evolução do projeto. Suas fases são interligadas, favorecendo a experimentação, a colaboração e a revisão contínua ao longo do desenvolvimento da solução (Clemente et al., 2016).

O *Design Thinking* adota uma abordagem construtiva e experimental, voltada à busca de soluções inovadoras e centradas na experiência humana. Essa metodologia é capaz de atribuir novos significados aos produtos ao considerar dimensões cognitivas, emocionais e contextuais no processo de criação. A identificação da solução mais adequada envolve a compreensão profunda das necessidades das pessoas, aliada à avaliação de soluções tecnicamente viáveis e sustentadas por estratégias de negócio sólidas — ou seja, soluções que gerem valor para o usuário e representem oportunidades de mercado para as organizações. O modelo baseia-se em pesquisa e apresenta uma estrutura sistêmica circular, com fluxo interdependente entre as etapas do projeto (Santos, 2015).

É uma abordagem voltada à busca de soluções criativas e centradas no ser humano. Caracteriza-se por sua estrutura iterativa e não linear, que permite visitar, combinar e adaptar suas etapas conforme a necessidade do projeto (Figura 11). O processo é geralmente estruturado em cinco fases principais:

- a emergência ou identificação de oportunidade ou problema;

- a empatia ou o conhecimento do contexto a ser explorado;
- a experimentação ou geração das ideias;
- a elaboração ou desenvolvimento da solução propriamente dita;
- a exposição das novas soluções geradas.

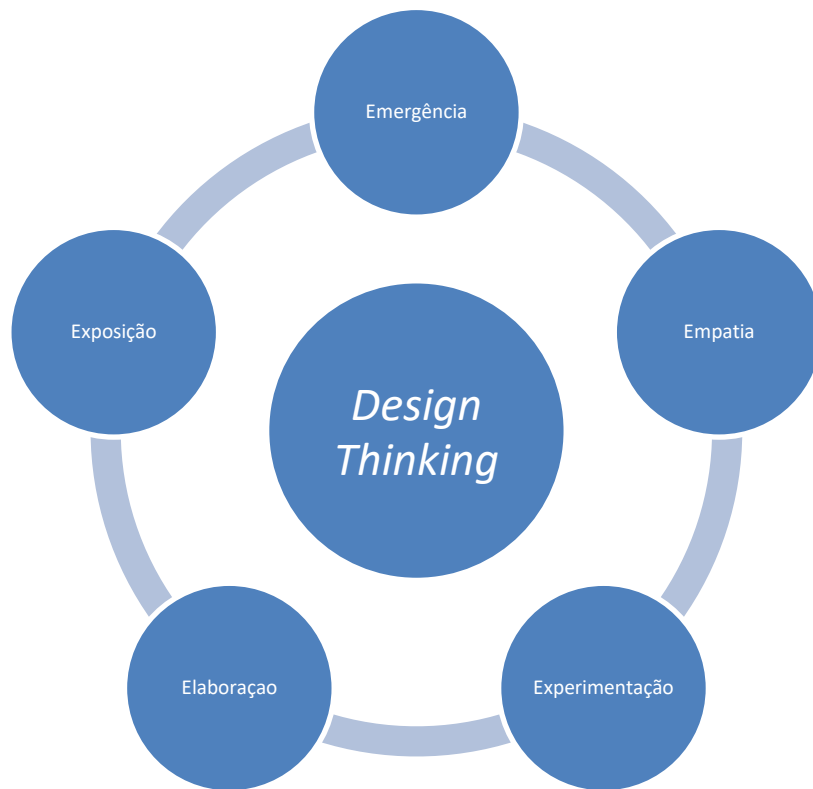


Figura 11 - Método processual *Design Thinking*
Fonte: Autora, modelo adaptado

Na fase de elaboração ou prototipagem é onde é colocado em teste a ideia escolhida, fase de construir para pensar e testar para aprender (Hasso Plattner Institute of Design, 2024). No modelo criado por Katja Tschimmel (2011), é ainda incluída uma sexta etapa que se refere a “extensão”, na qual fazem parte a implementação, observação e possíveis melhorias.

2.4.5 Design Sustentável e o reaproveitamento de resíduos

O design entra como fator determinante para a busca de soluções, com a preocupação no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os designers focam no desenvolvimento de produtos com recursos e processos de baixo impacto ambiental. No design de produto sustentável, pela chamada eco eficiência, são amplamente abordados os aspectos ambientais, onde o foco é criar mais produtos e serviços com o uso cada vez menor de recursos, resíduos e poluição (Manzini, 2008). O Design

Sustentável aborda exatamente estes aspectos relacionados a reduzir os impactos ambientais dos produtos, ao mesmo tempo em que favorece a criação de oportunidades para a indústria dar passos progressivos no sentido da sustentabilidade de forma geral.

Os designers brasileiros, irmãos Humberto e Fernando Campana, são exemplos de profissionais que estão trabalhando com foco na sustentabilidade. Os designers Campana recorrem à reutilização de materiais desde a década de 1989, já trabalharam com a reutilização de diversos resíduos como cordas, bonecos de pelúcia, têxteis e muitos outros, e desenvolvem peças que unem técnica e arte em um trabalho experimental.

Na Figura 12, o trabalho dos designers e uma de suas criações desenvolvidas com reaproveitamento de resíduos têxteis.



Figura 12 - Irmãos Campana e o reaproveitamento de resíduos têxteis
Fonte: Campana, n.d.

De uma maneira geral, todos os produtos causam algum tipo de impacto ambiental durante o seu ciclo de vida, pois tal processo engloba desde a extração da matéria-prima, produção, transporte e utilização, até o destino dos resíduos (gestão e depósito). Todos os efeitos ambientais gerados ao longo do processo estão relacionados e são resultantes destes vários estágios do Ciclo de Vida do Produto - CVP (Santos, 2015). Estratégias de Design Sustentável são fundamentais para reduzir a dependência de materiais virgens e diminuir danos já causados ao meio ambiente, permitindo uma transição para uma Economia Circular que dissocia crescimento a partir do consumo de recursos finitos.

O Design Sustentável busca o desenvolvimento de produtos sustentáveis, que tem como um dos focos principais a redução de resíduos, visando permitir a extensão do Ciclo de Vida do Produto, seja pela prevenção ou reutilização de resíduos gerados. Técnicas de Design Sustentável podem reduzir impactos por meio do redesign, por exemplo: materiais ou substâncias que seriam resíduos descartados

indevidamente tornam-se matéria-prima para outro processo de produção ou são descartados com todos os cuidados necessários (Ellen Macarthur Foundation, 2020).

A escolha pelo Design Sustentável pode colaborar para a redução de uso do material, além de produtos e materiais poderem ser mantidos em uso por mais tempo. Segundo estudo publicado em 2022, metade das emissões globais de gases com efeito estufa e 90% da perda de biodiversidade foi atribuída à extração e processamento de matérias-primas primárias. O mesmo estudo indica que 67% das organizações obtiveram uma redução nas emissões devido a iniciativas de design de produtos sustentáveis (Capgemini Research Institute, 2022). É possível verificar que as indústrias, ao reduzirem a dependência de utilização de matérias-primas primárias, têm a oportunidade de acelerar progresso em direção às metas de sustentabilidade.

O Design Sustentável é mais amplo que o ecodesign, pois além de visar diminuir ao máximo os impactos ambientais, agrega valor econômico ao produto sem desconsiderar o bem-estar social. Dessa forma, ele promove a reutilização e reaproveitamento de materiais, projetos simples, materiais *ecofriendly*, modularidade, entre outros. Tem sido utilizado como uma forma de aumentar o CVP pela incorporação de materiais considerados resíduos, assim como pelo desenvolvimento de produtos de fácil manutenção com a possibilidade de substituição de peças sempre que necessário.

Por meio do Design Sustentável, há uma busca por processos que contribuam para o desenvolvimento de produtos com um movimento mais lento de produção. Neste contexto, são aplicados os chamados “R’s” da sustentabilidade – Recusar, Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Realocar e Reciclar. O objetivo é desacelerar o trajeto convencional de produção da indústria, no qual o produto nasce e tem prazo para finalizar seu ciclo de vida. A utilização dos “R’s” contribui para redução da quantidade de matérias-primas usadas e resíduos descartados, prolongando o ciclo de vida desses materiais. Em resumo, esses princípios incluem:

- Recusar: evitar produtos desnecessários ou de produção não sustentáveis;
- Repensar: refletir sobre hábitos de consumo e como afetam o meio ambiente (inclui a partilha de produtos);
- Reduzir: minimizar o consumo de recursos e desperdícios;
- Reutilizar: utilizar os produtos o máximo possível antes do descarte (incluindo reutilização por outro consumidor);
- Reparar: consertar produtos com defeito e manter uso na função original;
- Recondicionar: restaurar um produto antigo e atualizá-lo;

- Remanufaturar: utilizar partes do produto descartado em um produto com mesma função;
- Realocar: utilizar o produto descartado (ou componentes) em um produto com diferente função;
- Reciclar: processamento do material descartado para obtenção de material mantendo mesma qualidade ou inferior.

O “Repensar” é importante pois inclui a necessidade de reavaliar nossas práticas e repensar a própria noção de produto dentro da indústria. Na aplicação do termo “Reduzir”, uma das estratégias utilizadas é a técnica zero resíduos, adotada no processo inicial do design e modelação do produto (Soares, 2015; Ávila, 2021).

De uma forma geral, sempre que o material não puder ser reaproveitado da forma como se encontra, entra o processo de reciclagem que pode ser feita por *downcycling* (dando origem a produtos de menor valor) ou *upcycling* (dando origem a produtos de igual ou maior valor).

A reciclagem por *downcycling* é um processo que permite a transformação do produto para uma próxima utilização, no entanto, é geralmente utilizado quando o produto não tem mais utilidade, é o chamado fim de linha. É considerado o processo menos ecológico que a redução e a reutilização, pois a reciclagem muitas vezes exige consumo de energia de fontes não renováveis, como a termoeletrônica (Manzini & Vezzoli, 2008). Neste caso, é preciso que o material seja recolhido, processado e então reutilizado em produto de menor valor, não sendo, muitas vezes, uma ação totalmente ecológica, já que reduz a qualidade do produto e pode utilizar alguns processos agressivos ao meio ambiente.

No Design Sustentável, a utilização de produtos já existentes é um dos fatores importantes, pois procura novas funções e formas de reutilização de partes de um produto em outros produtos, contribuindo assim para a diminuição do impacto ambiental gerado pelos descartes (Rüthschilling, 2012).

Quando o assunto é sustentabilidade, as atitudes são todas voltadas para o objetivo único de preservação e, portanto, são inúmeras as ações que podem ser incluídas nesta lista em busca de hábitos mais sustentáveis. Praticar a reutilização do que não é mais necessário, agir com respeito ao próximo por meio de escolhas diárias responsáveis, e assumir a responsabilidade por problemas existentes e pelas mudanças desejadas são passos cruciais para alcançar uma vida mais sustentável.

2.4.6 Métodos de reciclagem têxtil

A reciclagem é um processo capaz de reaproveitar materiais descartados para criar algo novo. Dessa forma, é um método capaz de minimizar o uso de matéria-prima virgem, assim como a quantidade de resíduos descartados em aterros.

A reciclagem dos resíduos têxteis é bastante desafiadora, pois a maior parte dos resíduos são de têxteis que apresentam mistura de fibras. São diversos tipos de misturas de fibras presentes nos produtos que somente podem ser separados por meio de processos complexos de reciclagem e que, por outro lado, ainda são difíceis de não serem produzidos, pois representam combinações capazes de agregar qualidade aos têxteis, como conforto, respirabilidade, facilidade de conservação, solidez da cor, entre outros fatores. Utilizando como exemplo o resíduo de estudo em questão, observa-se que, atualmente, a maior parte dos tecidos de denim utilizados para a confecção do jeans são misturas de algodão e poliéster.

Entre os diferentes meios de reciclagem utilizados atualmente, destacam-se a reutilização do resíduo como matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos sem nenhum processo ou intervenção, ou seja, reutilizando exatamente o material na forma como se encontra. Esse é o caso bastante conhecido do desenvolvimento de peças de vestuário feitas com descarte de coleções antigas. Além desse método, podem ser citados ainda, como reciclagem dos têxteis, o processo de moldagem por compressão a quente, o processo de reciclagem mecânica e o processo de reciclagem química.

No processo de moldagem por compressão a quente, o resíduo descartado é colocado no compartimento de molde, o qual é fechado e aplicado calor e pressão até o material ser completamente moldado. Segundo estudos, este processo é uma alternativa viável para reutilizar resíduos têxteis sem a necessidade de processamento prévio dos resíduos (Velicko et al., 2020). No processo de reciclagem mecânica, os resíduos têxteis precisam ser processados mecanicamente; são cortados e triturados conforme a capacidade da máquina e o produto desejado. Este método de reciclagem, devido ao processo utilizado trituração das fibras, tem os resultados geralmente empregados no desenvolvimento de produtos como mantas para isolamento e, em alguns casos (pois depende da mistura), como componente na produção de novos fios. Este processo requer uma análise prévia em função do tipo de resíduos que será processado e em que tipo de produto será utilizado. O processo de reciclagem química refere-se ao processamento químico aplicado ao resíduo a fim de separar a mistura de matérias-primas presentes no têxtil, com objetivo de reutilizá-las na fabricação de novos tecidos. É um processo que surge

como alternativa para recuperar matéria-prima de origem petroquímica presente na composição dos têxteis, mantendo a sua qualidade (Velicko et al., 2020).

Cada processo de reciclagem citado torna-se importante levando em consideração que o objetivo principal é contribuir para uma economia mais circular. Portanto, a escolha do método a ser utilizada depende muito da composição dos resíduos têxteis e da finalidade que será dada ao material obtido.

2.4.7 *Upcycling* e a valorização de resíduos têxteis

O conceito de *upcycling* refere-se ao reaproveitamento de materiais no formato em que estes se encontram e a transformação em um produto de igual ou maior valor, surgindo assim como uma das formas mais viáveis para os processos de reintegração de materiais no ciclo de vida de novos produtos. Dessa forma, é possível repensar os projetos de design e produção ao utilizar materiais que, de outra forma, seriam descartados.

Segundo McDonough e Braungart (2002), o método conhecido por *upcycling*, também pode ser visto como um reprocessamento ascendente. É uma forma de trazer resíduos de volta à cadeia de consumo por meio do design, colocando-o em uma posição valorizada. Essa valorização inclui a questão ambiental, bem como comercial e estética.

No processo de *upcycling*, há a reinserção de materiais que teriam como destino o descarte. Todo o material não descartado transforma-se num novo produto com uma nova função, sem a necessidade de passar por nenhum processo químico (Barbosa et al., n.d.). Segundo Cassidy & Han (2013), o *upcycling* é um processo que converte resíduos têxteis ou roupas descartadas em novos produtos de melhor qualidade ou de valor mais elevado valor por meio do artesanato e do design.

O *upcycling* não consiste apenas na conservação e reutilização de materiais, mas sim numa valorização que é atribuída novamente ao produto, evitando que seja descartado (Morais, 2013). Por meio do *upcycling*, é possível criar um produto com exclusividade atraente aos consumidores (Henninger et al., 2017).

A marca Freitag é um exemplo de empresa que desenvolve produtos a partir de *upcycling*. Comprometida com a sustentabilidade, a Freitag promove a economia circular e busca reduzir o impacto ambiental de suas operações. Utilizando recursos como lonas de caminhão e cintos de segurança, a marca se destaca como uma referência em moda responsável e inovadora.

O conceito de *upcycling* foi então incorporado por William McDonough e Michael Braungart em seu livro intitulado *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (McDonough & Braungart, 2002). É importante salientar ainda que o método de *upcycling*, além de reutilizar resíduo, também

respeita o princípio da produção local, pois, na maioria das vezes, o material utilizado é tratado na mesma região onde ocorre a produção dos resíduos. Isso, por sua vez, acaba por contribuir para a resolução de questões ambientais e sociais relacionadas ao lixo, trabalho local e transporte.

O ganho é ainda maior quando ambos, material que será reaproveitado (resíduos) e a produção, são feitos localmente ou o mais próximo possível. A quantidade de resíduos têxteis costuma variar de acordo com a região e depende de fatores como cultura, densidade populacional, estilo de vida e renda.

Resíduos têxteis

Resíduos têxteis podem ser tanto sobras de vestuário, da produção e venda de roupas (tudo aquilo que foi descartado pré-consumo), assim como as roupas usadas e descartadas (pós-consumo). Podem ser separados em 3 grupos:

- Pós-consumo;
- Pré-consumo;
- Desperdício de produção.

Resíduos têxteis pós-consumo são os resíduos gerados após o consumidor descartar os produtos consumidos e utilizados por um determinado tempo. Esse descarte acaba, na maioria das vezes, em aterros sanitários poluindo o meio ambiente. Somente em Portugal, foram para o lixo cerca de 200 mil toneladas de têxteis no ano de 2019, o que equivale a 4% do total de resíduos produzidos no país, segundo dados da Agência Portuguesa do Ambiente (APA)(Capucho, 2019). Segundo o relatório de 2022, divulgado pela APA, foram gerados 3,92% de resíduos têxteis (Agência Portuguesa do Ambiente, 2022).

Diante disso, uma determinação para que os têxteis descartados sejam recolhidos seletivamente de modo obrigatório antes de 2025 permitirá um maior controle e a seleção do que pode ser reciclado ou reutilizado, contribuindo para uma maior rede de gestão sobre os resíduos têxteis (CCDR-N, 2020). Os resíduos pós-consumo de vestuário são mais frequentemente reprocessados, ou seja, reciclados e utilizados como material de isolamento acústico ou incinerados.

Os resíduos têxteis pré-consumo são, mais especificamente, as sobras de vendas, ou seja, produtos que não foram vendidos nem utilizados e, algumas vezes, produtos que não passaram no controle de qualidade ou foram apreendidos pela alfândega. Algumas marcas de luxo não permitem nem mesmo a doação das peças, que acabam nos aterros ou sendo incineradas.

Quanto ao desperdício de produção, são os excedentes do processo de fabricação de roupas, como as sobras de tecido da mesa de corte, sobras de tecidos de coleção, ourelas etc.

Nesta investigação, são consideradas como pré-consumo, mais especificamente, o material resultante dos desperdícios de produção, pois se acredita que a questão relacionada à sobra de vestuário não consumido deve ser revista, uma vez que as peças podem ser doadas e utilizadas por pessoas carentes ao invés de irem para aterros ou serem reprocessadas.

Em relação ao descarte de resíduos pós-consumo, na maioria das vezes, as peças de roupa são descartadas indevidamente, em vez de serem doadas. A partir desse descarte, menos de metade da roupa usada e descartada é recolhida para reutilização ou reciclagem, e apenas 1% das roupas recicladas são transformadas em novos produtos. Dados indicam que, entre 2000 e 2015, a produção de vestuário duplicou, enquanto que a utilização média de uma peça de roupa diminuiu. Na Europa, são consumidos anualmente cerca de 26 kg de produtos têxteis e descartados cerca de 11 kg. Parte do vestuário usado pode ser exportado para fora da UE, mas, na sua grande maioria, este resíduo é incinerado ou depositado em aterros (cerca de 87%). A produção mundial de fibra têxtil em 2020 foi de 109 milhões de toneladas e a previsão é de que o número continue aumentando pelos próximos 10 anos, podendo chegar até 145 milhões de toneladas até 2030 (Parlamento Europeu, 2020).

2.4.8 Ciclo de Vida do Produto

O conceito de Ciclo de Vida do Produto (CVP), levando em consideração às preocupações ambientais, está relacionado ao processo de criar e desenvolver novos produtos, considerando todas as fases do projeto (pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte), sempre minimizando os mais variados efeitos negativos que possam vir a existir (Manzini & Vezzoli, 2008).

Para Manzini & Vezzoli (2008), o ciclo de vida de um produto é um conjunto de atividades e processos, em que cada um deles absorve certa quantidade de energia, ocasionando uma série de transformações e liberando emissões de naturezas diversas. Quando se fala em CVP, refere-se a ter uma visão sistêmica do produto, levando em consideração as entradas e saídas de insumos de todas suas fases, com o objetivo de verificar e analisar as consequências ambientais, econômicas e sociais.

No geral, uma análise do CPV visa otimizar o processo, diminuir o uso de recursos naturais (entrada) e a geração de resíduos (saída), a fim de poder projetar a reutilização e reparação do produto com uso de materiais recicláveis, e prevendo a própria reciclagem.

Para o desenvolvimento de design de produto sustentável, é preciso levar em consideração diversos aspectos: os meios materiais, como a produção e o consumo, onde a produção envolve a aquisição de matéria-prima e fabricação, enquanto o consumo se refere ao uso e eventual descarte; os meios naturais, que incluem a preservação da natureza diante dos cuidados com esgotamento de

recursos naturais e poluição; e os meios sensoriais/culturais, relacionados à qualidade de vida, onde produtos podem proporcionar prazer de uso, mas também afetar negativamente o ambiente, como no caso do impacto no silêncio e na qualidade do ar (Rüthschilling, 2012).

Considerando uma das problemáticas da cadeia têxtil, que é a geração de resíduos, a reutilização de descarte têxtil, levando em consideração também a grande quantidade de matérias-primas já utilizadas, surge como uma forma de prolongar o ciclo de vida do produto, contribuindo para que o ciclo do material não tenha fim, reiniciando-se continuamente. Uma Análise do Ciclo de Vida do Produto (ACVP) é uma metodologia útil para estudar detalhadamente os impactos gerados ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Análise do Ciclo de Vida - avaliação dos impactos ambientais

Os impactos ambientais causados pelas indústrias têxteis são bastante conhecidos e discutidos. O impacto no consumo de água e na geração de efluentes é preocupante, assim como os efeitos gerados durante a produção de matérias-primas, como no cultivo de algodão, e em processos químicos relacionados a tingimento e acabamento de produtos. Todos estes impactos afetam a qualidade do ambiente, causando alterações climáticas, na qualidade do ar, entre outros danos.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta para calcular e analisar os custos e os danos ambientais gerados pelo processo produtivo. Segundo Braga et al. (2005), essa metodologia pode ser capaz de reverter situações críticas e estimar os impactos futuros por meio de simulações com modelos físicos e matemáticos. O estudo possibilita buscar medidas para mitigar os danos ambientais, podendo envolver tanto melhorias estruturais, como obras de infraestrutura, quanto mudanças nos tipos de combustíveis utilizados para reduzir resíduos e danos, por exemplo.

Os impactos ambientais podem ser avaliados de diversas formas, como o método da análise multiobjetivo, modelos de simulação, superposição de cartas e a avaliação do ciclo de vida de produtos e serviços.

A ACV pode ser uma aliada na avaliação dos impactos de produção, uso e descarte de novos materiais, assim como de materiais já produzidos. Ela colabora para comparar diferentes materiais e processos. Utilizando a ACV, é possível realizar uma análise detalhada de todas as etapas envolvidas na produção de um determinado produto e compará-lo a produtos semelhantes desenvolvidos com diferentes matérias-primas ou processos de produção. A técnica de Análise do Ciclo de Vida (ACV), também conhecida como *Life Cycle Assessment* (LCA), foi aplicada pela marca Nudie Jeans. No relatório de 2022 da marca, foi divulgado um estudo comparando três modelos diferentes de calças da sua

coleção. O estudo avalia desde os impactos causados pelo cultivo do algodão para o desenvolvimento do tecido denim utilizado, até todas as etapas subsequentes até a distribuição ao consumidor, descrevendo todo o processo "*cradle to gate*" (do "berço ao portão") (Nudie Jeans Co, 2023). O objetivo do estudo é avaliar os impactos ambientais do próprio produto da marca, estabelecer metas para melhorias e redução de custos e danos ambientais, além de divulgar as iniciativas sustentáveis da empresa.

A técnica de ACV pode ser aplicada utilizando a norma ISO 14040. A ACV aborda os aspectos ambientais e os potenciais impactos ambientais, como o uso de recursos e as consequências ambientais das emissões geradas ao longo do ciclo de vida de produtos, desde a aquisição de matérias-primas (ABNT, 2009). Este método de avaliação é utilizado para avaliar esses impactos, possibilitando projetar possíveis melhorias e também como uma forma de as empresas demonstrarem aos seus clientes o compromisso ecológico e o investimento em produtos/serviços sustentáveis, por meio de selos ou declarações ambientais. De acordo com a ABNT NBR ISO 14044:2009, estudo de ACV deve incluir quatro fases que se inter-relacionam, como mostra a Figura 13:

- fase de definição de objetivo e escopo, nesta fase é delimitado onde começa e termina o estudo, as chamadas fronteiras do sistema assim como o grau de profundidade e detalhamento da análise;
- fase de análise do inventário dos processos envolvidos, consiste na coleta dos dados de entrada e saída associados ao sistema em estudo;
- fase de avaliação dos impactos associados às entradas e saídas do sistema, gerados com auxílio de um software de apoio;
- fase de interpretação dos resultados obtidos, que pode ser acompanhada de uma análise de formas de melhorias.

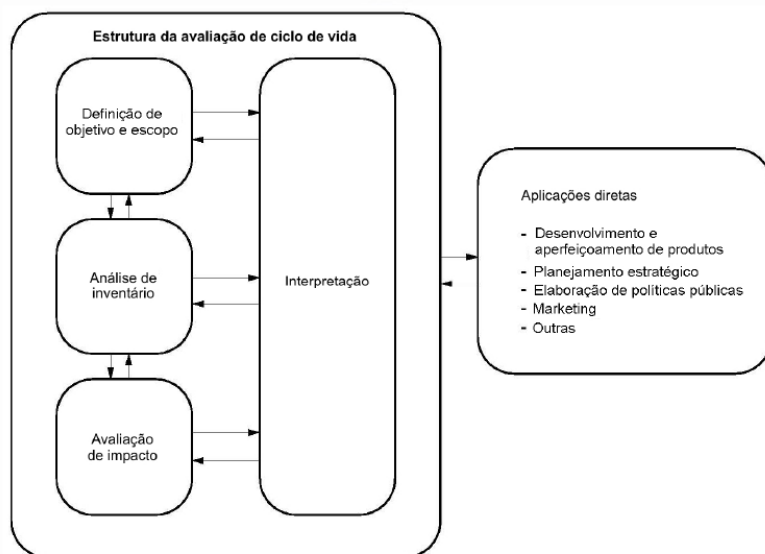


Figura 13 - Fases ACV conforme norma ISO 14044
Fonte: ABNT, 2009

Na literatura, existem diferentes métodos e softwares para calcular os impactos. Normalmente, os indicadores adotados incluem os seguintes impactos, que podem ser avaliados no processo de interpretação de uma ACV:

- **Aquecimento global:** alterações climáticas e mudanças associadas ao aquecimento global que o planeta Terra vem sofrendo, provocado pelo aumento na concentração dos gases de efeito estufa (como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e clorofluorcarbono), os quais absorvem o calor refletido ou emitido pela superfície do planeta. Este impacto é medido em KgCO_2 (Braga et al., 2005);
- **Acidificação:** certas substâncias inorgânicas como sulfatos, nitratos e fosfatos, quando em excesso na atmosfera, podem causar mudanças na acidez do solo. Todos os tipos de plantas precisam de um equilíbrio adequado de acidez; caso esse equilíbrio seja ultrapassado, pode ser nocivo para a espécie, podendo afetar seu desenvolvimento normalmente. Este impacto é medido em KgSO_2 ;
- **Eutrofização:** pode ser definida como o enriquecimento de nutrientes do ambiente aquático (que pode ser dividido em água doce e salgada), calculado em Kg para fósforo e nitrogênio. O desequilíbrio na quantidade de nutrientes (fósforo e nitrogênio) proporciona o crescimento descontrolado de algas e vegetais aquáticos. Com a proliferação excessiva dos

vegetais aquáticos pode haver disputa pelo oxigênio com peixes e consequente diminuição de sua população (Braga et al., 2005);

- Oxidante Fotoquímico: o ozônio contido na atmosfera é formado pelo resultado da reação fotoquímica do número de oxidação (NOx) e Compostos Orgânicos Voláteis Não Metanos (NMVOCs). Esta formação é mais intensa no verão e o excesso pode causar inflamações nas vias aéreas e sérios danos à saúde humana. Como a formação de ozônio depende de condições meteorológicas e dos níveis de concentração de NOx e NMVOCs, qualquer desequilíbrio pode alterar os níveis normais de formação (Morita, 2013). Este impacto é medido em Kg NMVOC;
- Potencial de esgotamento abiótico: este impacto corresponde aos recursos minerais e fósseis utilizados (minérios – metais como ferro, cobre etc. e combustível fóssil - substâncias formadas por compostos de carbono, por exemplo, metano, gás natural, petróleo, carvão mineral etc.) e avalia o potencial de esgotamento destes recursos com uma relação entre a quantidade uso e a disponibilidade existente, este impacto é medido em Kg (Morita, 2013);
- Depleção da água: este impacto está relacionado ao uso da água disponível no meio ambiente e é calculado em m³;
- Depleção do ozônio: este impacto mede a emissão de substâncias capazes de destruir a camada de ozônio. A camada de ozônio possui a capacidade de bloquear as radiações solares, em especial a radiação ultravioleta que é responsável pelo aumento da incidência de câncer de pele, inibição do crescimento de espécies vegetais, entre outros danos. A emissão de CFC (clorofluorcarbono) tem a capacidade de destruir a camada de ozônio (Braga et al., 2005), este impacto é medido em KgCFC -11.

2.4.9 Resíduos de denim e reutilização

Uma das matérias-primas que vem sendo muito investigada para a reutilização é o denim. O fato preocupante é que o denim é um dos têxteis mais poluentes da cadeia têxtil. A área global dedicada ao cultivo de algodão não alterou nos últimos 70 anos; no entanto, esse cultivo empobreceu e degradou o solo. No cultivo, são utilizadas cerca de 200 mil toneladas de pesticidas e 8 milhões de toneladas de fertilizantes anualmente. Isso significa que para produzir 1kg de algodão são necessários 0,35 a 1,5kg de químicos, contaminando solos, rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Em relação à água, são gastos em média 93 mil milhões de metros cúbicos de água por ano na indústria têxtil. Esse consumo refere-se principalmente à produção de matérias-primas como o algodão, às etapas de tingimento e lavagem

industrial, e ao uso doméstico, especialmente durante as lavagens realizadas pelos consumidores (Mendonça et al., 2019).

No entanto, a poluição pelo denim não se resume ao cultivo e fabricação. Além de todos estes dados preocupantes, depois que os produtos são consumidos e descartados, apenas 20% das roupas são recolhidas para reutilização ou reciclagem, e menos de 1% dos materiais utilizados na fabricação da roupa são reciclados para produzir novas peças (Mendonça et al., 2019; Parlamento Europeu, 2020).

Ao mesmo tempo em que sua produção de denim é poluente, o produto é de grande resistência e de uso mundial em grande escala. O seu reaproveitamento não elimina os danos causados na sua produção, mas pode prolongar o seu ciclo de vida e minimizar o descarte desnecessário.

O descarte inadequado de denim não só contribui para a degradação ambiental, mas também representa um desperdício de recursos valiosos. Diversas pesquisas estão sendo realizadas e algumas marcas já estão desenvolvendo produtos a partir de resíduos de denim.

Um exemplo é a marca de óculos Mosevic (Figura 14), que utiliza resíduos de denim pós-consumo para desenvolver seus produtos. O material consiste em várias camadas de denim empilhadas e prensadas em moldes, cobertas por uma resina sintética especial que forma um composto sólido, denominado pela empresa como "denim sólido". Após o processo, as armações dos óculos são cortadas e lavadas com pedra para restaurar a aparência clássica do jeans.



Figura 14 - Mosevic, óculos feito de denim reutilizado
Fonte: Aiken, 2016

Sempre que um produto é desenvolvido a partir da utilização de resíduos, existe a oportunidade de dar uma nova vida a materiais que já consumiram grandes quantidades de água, energia, produtos químicos e extensas áreas de cultivo, como é o caso do denim.

Para Manzini & Vezzoli (2008), o design é parte do problema, no entanto, pode se tornar um agente promotor da sustentabilidade ao buscar novas alternativas de projeto.

Na pesquisa sobre reaproveitamento de denim, é possível compreender o potencial deste material e a importância de reutilizá-lo. Na Figura 15, é possível ver o trabalho de reaproveitamento da designer Sophie Rowley, que cria objetos mobiliários utilizando resíduos de denim. O produto criado tem aparência semelhante ao mármore, sendo leve e resistente, feito de resíduos de denim pós-consumo e resíduos da produção das indústrias da moda. Para criar esse novo material, os resíduos são dispostos em camadas, unidos com uma resina especial. Depois de pronto, o material é esculpido em diferentes formas para uso interno.



Figura 15 - Bahia Denim, reaproveitamento de denim
Fonte: Hitti, 2019

Os Países Baixos são reconhecidos por abrigar uma das maiores concentrações de marcas de jeans do mundo, com sedes de marcas renomadas como Tommy Hilfiger e Calvin Klein em Amsterdã. Em 2012, foi estabelecida a primeira *Jean School*, situada na cidade, focada no desenvolvimento de jeans. A escola coloca ênfase na inovação e sustentabilidade, refletindo os ideais iniciados pela *House of Denim Foundation* em 2009. Essa fundação sem fins lucrativos serve como plataforma para artesanato e inovação na indústria do denim, promovendo a busca por soluções que tornem o denim mais sustentável e incentivando a reutilização de materiais pós-consumo.

Além disso, também nos Países Baixos, a marca DenimX se destaca por desenvolver produtos a partir da reutilização de denim. A empresa utiliza material que combina fibras de denim com materiais poliméricos de base biológica, buscando não apenas reduzir o desperdício, mas também criar novos produtos sustentáveis e esteticamente apelativos, alguns produtos podem ser vistos na Figura 16 (DenimX, n.d.).

Esta iniciativa da DenimX serviu como uma das referências para a fase prática desta investigação. Uma visita de estudos foi realizada e será detalhada posteriormente no CAPÍTULO IV (subcapítulo 4.3.5 VISITA DE ESTUDOS).

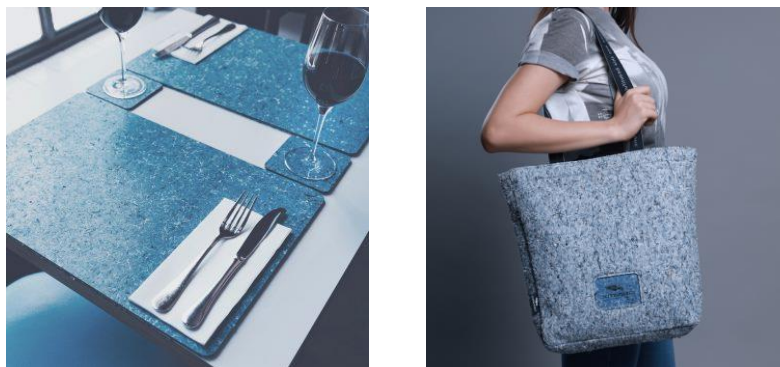


Figura 16 - Produtos *upcycling* denim da marca DenimX
Fonte: DenimX, n.d.

Estas são algumas formas de reaproveitamento de denim para desenvolvimento de novos materiais, tornando possível não só prolongar o uso de uma matéria-prima descartada, mas também utilizar este resíduo como matéria-prima de qualidade para diversos objetos de design.

A questão de resíduos da indústria têxtil e de vestuários é preocupante, pois são explorados excessivamente recursos não renováveis, relacionados à extração de petróleo para a produção de fibras sintéticas, na utilização de fertilizantes em plantações de algodão de químicos para o tratamento das fibras têxteis, além da utilização de milhões de metros cúbicos de água por ano gastos nas lavagens de vestuário e plantação de algodão. Dessa forma, o setor é responsável pela emissão de milhões de toneladas de CO₂ (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

A indústria têxtil e de vestuário contribui em 20% para a poluição da água, fato que se deve aos tingimentos e tratamento dos têxteis. Além disso, é a maior responsável pelos plásticos nos oceanos, devido às microfibras de materiais poliméricos liberadas nas lavagens de têxteis feitos a partir de materiais como poliéster, nylon ou acrílico (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Segundo dados divulgados em 2023 pela Agência Europeia do Ambiente (AEA), somente no ano de 2020 o consumo médio de têxteis por pessoa na EU ocupou 400m² de terreno, 9m³ de água e 391 kg de matéria-prima (envolvendo plantio e utilização de matéria-prima para produção do vestuário). Estes dados geraram uma pegada carbônica de cerca de 270 kg (Parlamento Europeu, 2020).

2.5 Estudo dos materiais

Para o desenvolvimento deste estudo e para criar o novo material a partir de resíduos de denim (têxtil criado a partir da fibra do algodão), é preciso acrescentar outros tipos de materiais. Dessa forma, faz-se importante o estudo sobre o algodão e uma análise sobre materiais poliméricos.

2.5.1 Polímeros e Biopolímeros

Polímeros são substâncias formadas por macromoléculas que, ligadas entre si, formam um todo coeso e com propriedades bem definidas. Entre as principais vantagens dos polímeros em relação a outros tipos de materiais, destaca-se a facilidade de fabricação, a resistência a corrosão, a capacidade de isolamento de energia e calor, a transparência em alguns casos e a reciclabilidade.

A classificação dos polímeros quanto ao seu comportamento mecânico é dividida em: plásticos, elastômeros e fibras. Os plásticos são materiais sólidos à temperatura ambiente podendo ser divididos em termoplásticos e termorrígidos ou termofixos. Os materiais termoplásticos são materiais moldáveis, o que significa que amolecem com o aumento da temperatura e endurecem ao serem resfriados. Este tipo de material possui baixa densidade, é solúvel, resistente ao impacto e possui baixo custo, apresentando ampla aplicabilidade. O processo de fabricação desses materiais poliméricos é reversível, o que possibilita a reciclagem desses materiais. Já os termorrígidos ou termofixos não são remodeláveis; uma vez moldados, se aquecidos novamente, se decompõem, sendo considerados materiais não-recicláveis e insolúveis. Os polímeros elastômeros são os materiais com grande capacidade elástica e podem deformar mais de duas vezes o comprimento inicial; no entanto, recuperam rapidamente a forma original após a retirada dos esforços. Um exemplo desse tipo de polímero é a borracha vulcanizada. Por fim, existem as fibras, que possuem uma orientação forçada da cadeia e dos cristais para serem mecanicamente resistentes, podendo ser utilizadas como fios finos (Filho & Sanfelice, 2018).

Os polímeros podem ser sintéticos, derivados da indústria petroquímica, ou de origem natural. Os primeiros materiais plásticos empregados na indústria tiveram origem em produtos naturais e foram modificados quimicamente, como foi o caso do nitrato de celulose (da celulose do algodão), a *agallalite* (da caseína do leite) e a ebonite (da borracha natural) (Mano & Mendes, 1999).

Os polímeros naturais são também conhecidos como biopolímeros, tem como origem recursos naturais e surgem como uma alternativa para produção de materiais biodegradáveis. Biopolímero ou bioplástico é um material polimérico que apresenta geralmente as mesmas propriedades do material polimérico comum feito do petróleo (fonte não renovável), mas difere por usar como matéria-prima fontes

renováveis. No entanto, nem todos os bioplásticos são biodegradáveis, e, sendo assim, não basta deixá-los na terra para que se decomponham, pois em alguns casos a decomposição pode durar tanto quanto a dos materiais poliméricos provenientes do petróleo. Outra questão é o fato de que o bioplástico também poder ser feito a partir de fontes não renováveis, como o petróleo, que é o caso do bioplástico de polibutileno tereftalato adipato (PBAT), conhecido por poliuretano. Este bioplástico é biodegradável e compostável, no entanto, utiliza uma fonte não renovável. Existem também os plásticos produzidos com base em fontes renováveis, como a cana-de-açúcar, mas que não se biodegradam (Equipe eCycle, n.d.). Conforme a *European Bioplastics*, um material plástico é definido como bioplástico se for de base biológica, biodegradável ou apresentar ambas as propriedades (European bioplastics, n.d.).

Segundo Filho & Sanfelice (2018), o grande diferencial dos polímeros obtidos por fontes renováveis é o fato de eles não produzirem excesso de gás carbônico para a atmosfera, pois se originam de seres que realizam fotossíntese. O carbono presente nesses materiais é proveniente da própria atmosfera e, portanto, quando degradado, volta a ser absorvido pelas plantas.

São muitos os recursos naturais conhecidos e dos quais é possível aproveitar ou transformar como fonte para produção dos polímeros naturais ou biopolímeros. Os polímeros naturais têm baixa toxicidade e podem ser altamente biodegradáveis. Entre esses recursos renováveis, podem ser citados os amidos (como milho, mandioca, trigo ou batata), óleo de girassol, soja e mamona, por exemplo. O polímero de amido, um polissacarídeo produzido a partir de vegetais como a batata, precisa passar por um processo químico que resulta em um material com características plásticas.

A celulose é um biopolímero biodegradável e um dos mais abundantes existente na biosfera. As bioresinas, ou resinas naturais, são secreções produzidas naturalmente pelas árvores como parte do mecanismo de defesa à agressão. Como exemplo, temos a resina de pinus, que apresenta secreções constituídas de uma fração volátil conhecida como terebintina e uma fração sólida denominado breu ou goma de colofônia (Correa et al., 2018). Um exemplo de bioresina é a resina natural de *Pinus pinaster*, presente em Portugal. A resina colofônia é também conhecida como Pez de Louro ou Breu.

Os plásticos biodegradáveis são os menos poluentes, pois normalmente se decompõem em cerca de 18 semanas, quando em condições apropriadas. São classificados da seguinte forma (Ecoeficientes, 2021):

- Bioplástico compostável: são os bioplásticos que se deterioram facilmente em processos de compostagem;
- Bioplástico hidro-solúvel: são os bioplásticos que iniciam o processo de decomposição apenas quando entram em contato com a água;

- Plástico oxi-degradável: são os bioplásticos que precisam receber aditivos para que se decomponham quando em contato com raios ultravioleta e oxigênio.

Os polímeros sintéticos, ao longo dos anos, foram os precursores dos plásticos, mas com o tempo surgiram preocupações crescentes sobre os impactos associados à sua produção. Por isso, há um crescente interesse na busca por produtos naturais como alternativa para reduzir esses impactos. Os primeiros materiais poliméricos sintéticos comercializados na forma de artefatos foram o PVC, PMMA e PS na década de 1930. Na década de 1940, surgiram o LDPE e PU, e na década de 1950, o POM, HDPE, PP e PC. Essas décadas foram marcadas por um grande avanço na química de polímeros (Mano & Mendes, 1999).

Atualmente, o Polietileno tereftalato (PET), é um material muito conhecido e amplamente utilizado. Trata-se de um polímero termoplástico não renovável, derivado do petróleo, que necessita de reutilização ou reciclagem devido à sua degradação muito lenta, o que pode causar sérios problemas ambientais.

O plástico sintético tem a degradação lenta, podendo levar até 500 anos. Durante esse processo, são gerados fragmentos menores de plástico que acabam se acumulando em grandes quantidades nos ecossistemas. Em contraste, os polímeros naturais biodegradáveis possuem propriedades semelhantes aos sintéticos, mas com um tempo de degradação menor (Farias et al., 2016).

A quantidade de produtos produzidos a partir de materiais poliméricos é extensa, sendo utilizados em quase todas as áreas das atividades humanas, com destaque para as indústrias automobilísticas, de embalagens, de revestimentos e de vestuário. Segundo Velicko et al. (2020), uma grande quantidade de polímeros não renováveis é utilizada atualmente em diversas aplicações, incluindo os têxteis. Os polímeros sintéticos oferecem custos de produção mais baixos em comparação com alternativas naturais, porém implicam em um alto custo ambiental devido à poluição gerada, resultante de fatores como resíduos e emissões excessivas de dióxido de carbono na atmosfera.

Em estudo divulgado pela OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), apenas 9% dos 353 milhões de toneladas de resíduos plásticos do mundo foram reciclados no ano de 2019. Seguindo dados das Perspectivas Mundiais do Plástico, das 460 milhões de toneladas produzidas em 2019 no mundo, 353 milhões acabaram como resíduos. Segundo o relatório final do estudo, apenas 9% dos resíduos plásticos foram reciclados, enquanto aproximadamente 19% foram incinerados. Cerca de metade, ou 50%, acabou em aterros controlados. Os 22% restantes foram destinados a aterros ilegais, queima ou abandono em ambientes naturais (OECD.Org, 2022).

Com a preocupação com a baixa taxa de reciclagem plástica, o projeto *New Plastics Economy* da *Ellen Macarthur Foundation*, em colaboração com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, conta com a adesão de mais de 400 organizações mundiais empenhadas em evitar que o plástico se torne desperdício. A iniciativa pretende antecipar as metas europeias relacionadas aos materiais plásticos estabelecidas para 2030, planejando alcançá-las até 2025 (Ellen MacArthur Foundation, n.d.).

2.5.2 Fibras têxteis

As indústrias têxteis têm como objetivos a transformação da matéria-prima em produto têxtil, ou seja, utilizam as fibras para fazer os fios e posteriormente o tecido, que originam peças de vestuário, artigos para casa, entre outros artigos têxteis. A fabricação de têxteis é uma das atividades mais antigas. As primeiras fibras utilizadas pela humanidade foram de origem vegetal, manipuladas manualmente em formas rudimentares de trançado e torção, como nas cestarias e cordoalhas. Com o desenvolvimento de técnicas de fiação e tecelagem, fibras como o linho e a lã passaram a ser transformadas em fios e tecidos. O algodão foi incorporado posteriormente, tornando-se uma das principais matérias-primas têxteis ao longo da história (Pezzolo, 2019).

As fibras podem ser divididas conforme a origem, podendo ser classificadas como natural ou artificial, sendo a artificial produzida pelo homem. As fibras naturais são todos os tipos de fibras encontradas na natureza, podendo ser divididas entre orgânicas (de origem vegetal ou animal) e inorgânicas (origem mineral). As fibras artificiais ou químicas são todas as fibras obtidas a partir de modificações ou melhoria de material fornecido pela natureza, podendo ser de origem proteica, celulósica e sintética ou química. Elas dividem-se em orgânicas e inorgânicas, sendo as orgânicas subdividem-se em celulósicas e sintéticas, e as inorgânicas subdividas em metais, metálicas, cerâmicas, entre outras.

Algodão

Algodão é o nome da fibra procedente das sementes do algodoeiro, planta pertencente à família das Malváceas, do gênero *Gossypium*. É considerada a fibra mais antiga depois do linho e da lã e é considerada, em muitos países, como uma das plantas mais importante na produção das fibras.

Há relatos de vestígios de tecido de algodão em uma gruta no México que datam de 5800 anos a.C. Na China, Paquistão, Índia e Egito também foram encontrados resíduos semelhantes de vestuário produzidos com algodão. A cultura intensiva iniciou nos EUA nos séculos XVII e XVIII e começou a adquirir níveis importantes de produção após a invenção da máquina de descaroçamento em 1793.

O algodão é uma fibra que pode ser submetida ao calor, suportando temperaturas mais elevadas entre 180° a 220°C; no entanto, se exposta por muito tempo, pode começar a degradar a fibra. A decomposição pode iniciar gradualmente quando exposta a temperaturas acima de 150°C, podendo queimar rapidamente acima de 250°C (Santos, 2005; Sintex, n.d.).

O algodão representa atualmente 70% do mercado têxtil mundial, com mais de 20 milhões de toneladas produzidas anualmente. A maior parte da produção é utilizada pelos próprios países produtores, enquanto o excedente é exportado para países que não produzem a fibra. O algodão é cultivado em todos os continentes, sendo que em cada um deles há países que se destacam como principais produtores (Pezzolo, 2019).

Dados relacionados à safra 2022/2023 apresentam o Brasil em 3º lugar no ranking de maiores produtores de algodão, superando pela primeira vez os Estados Unidos nesta categoria e ocupando o 2º lugar como exportador (ABRAPA, 2023).

Apesar de o algodão ser uma das fibras mais usadas no mundo, a sua produção é bastante agressiva ao meio ambiente e aos produtores, devido ao alto uso de agrotóxicos e ao grande consumo de água. O algodão orgânico, proveniente de plantações que não recebem produtos químicos e que utilizam menos água e energia em seu cultivo, surge como uma alternativa mais sustentável. No entanto, esse tipo de cultura ainda representa apenas uma pequena parcela dos plantios de algodão.

Apesar de o algodão ser biodegradável, o uso de produtos químicos durante os processos de acabamento e tingimento causa grandes problemas ambientais quando esses resíduos são inadequadamente depositados no meio ambiente, prejudicando a qualidade do solo e das águas subterrâneas.

A partir do algodão são desenvolvidos inúmeros têxteis, sendo um deles o denim. O tecido denim foi originalmente desenvolvido exclusivamente a partir da fibra de algodão, mas hoje já estão sendo feitas misturas de fios para a produção deste têxtil. Segundo dados da produção têxtil no Brasil, revela-se que, das 646,7 mil toneladas de tecidos planos fabricadas no ano de 2022, 24,2% correspondem ao denim (Kronka, 2023).

2.5.3 Denim e a história do jeans

Comumente, os termos denim, jeans e índigo são utilizados com igualdade de significado; no entanto, diferenciam-se entre si: o denim é o nome do tecido, normalmente em estrutura sarja; o jeans refere-se a calça criada com este tecido, e índigo é a cor azul aplicada por tingimento ao denim.

O denim é um tecido resistente feito de algodão utilizado na fabricação do jeans, conhecido como *five-pockets*, criada por Levis Strauss. Hoje, o jeans apresenta muitas variações, mas o modelo original foi desenvolvido com dois bolsos americanos frontais, um bolso porta-níquel (que originalmente foi criado para guardar pepitas de ouro), e dois bolsos traseiros reforçados por rebites.

Em 2023, o Brasil alcançou o quinto lugar como maior produtor de denim (Macedo, 2023). Com um crescimento nas exportações entre 2018 e 2022 e um aumento de 95% na balança comercial em um período de cinco anos, o Brasil se colocou como exportador líquido de denim. Segundo dados do IEMI, as exportações brasileiras de denim aumentaram em toneladas desde 2018, com um crescimento de 63% nas vendas de denim e de 32,9% na comercialização de sarjas de algodão ao longo desse período (Kronka, 2023).

A história do denim inicia-se em 1792, cidade de Nimes, França, onde foi fabricado pela primeira vez o tecido do tipo sarja que deu origem ao denim. Inicialmente, o tecido não possuía a coloração azul como conhecemos atualmente, sendo predominantemente bege e algumas vezes marrom. O tecido passou a ser conhecido como denim, e surgiu da abreviação da expressão de origem francesa "*serge*" (sarja) de Nimes, em referência à cidade francesa. Devido à sua resistência e rusticidade, o tecido não demandava muitos cuidados no uso e manuseio (Pinheiro, 2015).

O denim é a matéria-prima essencialmente utilizada para a fabricação de produtos jeans. Os tecidos apresentam três tipos fundamentais de estruturas: tafetá (tela), sarja e cetim, variando conforme o entrelaçamento dos fios de teia (urdume) e trama. O tecido denim normalmente é construído em estrutura de sarja, conhecida por suas linhas diagonais formando um ângulo de 45° (Figura 17).

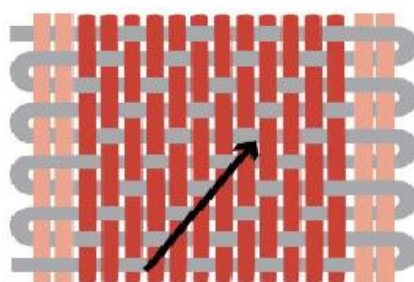


Figura 17 - Estrutura sarja
Fonte: Cuccato, 2016

O primeiro uso deste tecido em estrutura de sarja foi para a confecção de roupas laborais no campo e uniformes para marinheiros italianos que trabalhavam no porto de Gênova, origem da palavra "jeans".

O surgimento do jeans começou nos Estados Unidos na metade do século XIX, quando o alemão Levi Strauss imigrou para os EUA com o objetivo de comercializar lonas para tendas e toldos de carroças de mineradores. O jeans ficou conhecido após Levi Strauss passar a utilizar o tecido resistente das lonas para confeccionar roupas para os garimpeiros americanos, que necessitavam de um material forte e durável para trabalhar nas minas (Luiz & Valentim, 2021).

Em 1845, Levi Strauss, proprietário de um armazém na Califórnia onde vendia lonas para cobrir vagões, carroças e tendas, viu seu negócio declinar devido à concorrência acirrada. Com dificuldades financeiras, Levi e um de seus clientes, o alfaiate Jacob Davis, decidiram produzir calças com o tecido das lonas que Levi comercializava, um material mais espesso e resistente ideal para o trabalho de mineração (Monteiro, 2018). A primeira calça feita para os mineradores tinha três bolsos fundos para guardar pepitas de ouro e ferramentas de trabalho, confeccionada com tecido de lona de caminhão que tinha uma tonalidade marrom, também chamado de *duck canvas* (Figura 18).



Figura 18 - Calça duck canvas
Fonte: Levi Strauss & Co. (2021)

Apesar de a calça ter feito sucesso, muitos reclamavam da tonalidade que parecia um aspecto sujo de terra, além do material ser muito rígido e desconfortável. Então, em 1852, Strauss trocou a lona de caminhão pelo tecido de Nimes, o denim, um material tão resistente quanto a lona, no entanto, muito mais confortável. Foi utilizado o tecido com o fio do urdume tinto com o índigo, que conferiu às peças a tonalidade azul. A partir daí, utilizando o molde de uma calça de um marinheiro genovês, foi criado o primeiro jeans. Mas foi o dia 20 de maio de 1873 que marcou o nascimento do jeans, pois foi nesta data que Levi Strauss e Jacob Davis obtiveram a patente norte-americana do processo de colocação de rebites em calças masculinas pela primeira vez (Levi Strauss & Co., 2021), na Figura 19. O alfaiate Jacob Davis

criou um processo de reforço das áreas de tensão dos bolsos com aplicação de sistema de rebites nestes pontos.



Figura 19 - Primeira *blue jeans*
Fonte: Levi Strauss & Co., 2021

Com passar do tempo, o jeans deixou de ser utilizado apenas por trabalhadores da mineração e conquistou os *cowboys* no oeste americano. Mais adiante, a calça vestiu os *cowboys* nas telas do cinema e não demorou muito para passar a ser usado por grandes astros do cinema e da música. Astros como James Dean e Elvis Presley contribuíram para que o jeans se tornasse ícone de moda nos anos 50, representando masculinidade, virilidade, rebeldia e o espírito do *rock and roll*. O jeans transformou-se em um objeto icônico e uniforme entre os jovens nos Estados Unidos, aumentando a sua visibilidade e aceitação pelo mundo. Ao aderir à calça jeans, mais especificamente ao modelo 501 criado pela Levi's, Marilyn Monroe associou também sensualidade ao jeans, que acabou por conquistar as mulheres, adicionando à virilidade masculina da calça uma sensualidade feminina.

Principalmente após a Segunda Guerra Mundial, o denim passou a ser utilizado na moda em peças como saias, jaquetas e diversos modelos de calças (Monteiro, 2018). Dessa forma, o denim passou a ser um tecido conhecido mundialmente e mudou a forma de vestir. O jeans começou a ser usado como um símbolo social e uma forma de expressão de contracultura, destacando-se como um elemento que transcende a moda (Luiz & Valentim, 2021).

O jeans foi inicialmente criado como uma indumentária para o trabalho, mas ao longo dos anos se transformou em um ícone de moda, representando diferentes pensamentos na história da moda e da sociedade. Foi usado por *cowboys*, *hippies*, roqueiros, *punks* e outras tribos urbanas, até hoje sendo adotado em diferentes propostas e momentos distintos.

Originalmente um tecido de algodão, o denim agora também é produzido com misturas de fibras sintéticas. A diversidade de matérias-primas hoje disponíveis para compor os tecidos é vasta, levando muitas indústrias a abolir o uso exclusivo de denim 100% algodão e desenvolver misturas com algodão, poliéster e elastano. Essa combinação de fibras visa melhorar o desempenho dos tecidos e o conforto das peças (Locatelli et al., 2016; Pezzolo, 2019).

Quanto à massa por unidade de superfície (vulgo gramagem), o denim é considerado um tecido de médio a pesado, variando entre 270 g e 450 g quando utilizado na produção de calças (Audaces, n.d.). As fibras de algodão e poliéster são hoje os componentes principais do jeans no mercado global de têxteis. No entanto, essa mistura de fibras também pode complicar o processo de reciclagem no fim da vida útil dos produtos.

O denim tornou-se um dos tecidos mais populares do mundo e o índigo, que é o corante utilizado para dar a coloração azul, é também um dos corantes mais fabricados. Originalmente o corante azul era obtido a partir das plantas orientais *Indiosfera* e *Isatis tinctoria*, registradas em Gênova, cidade portuária da Itália, desde 1140, já o corante sintético foi desenvolvido pela indústria de pigmentos alemã BASF e disponível no mercado desde 1897 (Pinheiro, 2015).

O denim tornou-se um ícone de moda, e diversas empresas passaram a desenvolver diferentes modelos de calças e novos processos de beneficiamento, além de outras peças de vestuário utilizando o denim. As lavanderias industriais aplicam inúmeras técnicas de lavagem que proporcionam características específicas ao produto, diferenciando e aumentando o seu valor. No entanto, os processos poluentes de produção e beneficiamento do denim são motivo de preocupação crescente, levando à revisão dos métodos de produção e ao reuso de resíduos como matéria-prima para novos produtos.

Produzir jeans requer grandes quantidades de recursos como água e energia. A mistura de materiais e os processos de design dificultam a reciclagem após o uso. Os processos de tingimento do denim e seu beneficiamento consomem grandes quantidades de água e produtos químicos, além dos recursos necessários para o cultivo da matéria-prima. Essas questões ambientais destacam a importância de explorar o reuso de resíduos de denim como matéria-prima para desenvolvimento sustentável de novos produtos.

Consumo de água na indústria do denim

O consumo de água é uma preocupação que abrange três fases distintas na cadeia da moda: durante o cultivo das fibras naturais, especialmente o algodão; no processo de fabricação e lavagem dos têxteis; e durante a conservação das peças de vestuário pelos consumidores.

A indústria têxtil é uma grande consumidora de água. Por exemplo, o processo de beneficiamento têxtil possui um alto potencial poluidor, não apenas devido aos grandes volumes de água necessários, mas também pela geração de resíduos quimicamente complexos. No caso dos produtos jeans, o beneficiamento (processos que melhoram as características visuais e táteis do tecido) é uma das estratégias mais utilizadas para diferenciar as peças. É com o beneficiamento que se adiciona valor e conforto ao vestuário. Estima-se que para cada etapa de beneficiamento, calcula-se um percentual sobre o peso das roupas, equivalente a dez litros de água para cada quilo (Monteiro, 2018).

Diante da preocupação com a quantidade de água potável suficiente para consumo e produção, surgiu a necessidade de implementar técnicas voltadas para o gerenciamento sustentável do uso da água. Foi criado o conceito de Pegada Hídrica, que se relaciona com o cálculo do volume total de água consumida de forma direta e indireta, tanto pelos seres humanos quanto nos processos produtivos.

A qualidade e quantidade de água potável mundial estão cada vez mais ameaçadas, à medida que as populações aumentam, as atividades agrícolas e industriais se intensificam, e as mudanças climáticas ameaçam alterar todo o ciclo hidrológico global.

As lavanderias de jeans são consideradas entre as atividades industriais mais impactantes para o meio ambiente, devido ao elevado nível poluidor e complexidade química dos efluentes gerados. A baixa disponibilidade de água doce, o que corresponde a apenas 2,5% do volume total de água disponível para consumo no planeta, coloca o mundo diante de uma escassez hídrica, onde a oferta de água é inferior ao consumo (Viana et al., 2018). A escassez de água aumentará os custos associados aos recursos hídricos, tornando sua preservação uma necessidade não apenas ecológica, mas também econômica.

A Vicunha Têxtil, uma das maiores produtoras mundiais de índigos e referência em *jeanswear*, em parceria com outras empresas, apresenta o projeto “Pegada hídrica Vicunha”. O projeto mede o consumo de água no ciclo de vida de uma calça jeans no Brasil, desde o plantio do algodão até o consumidor final, como mostra a Figura 20. Utilizando a metodologia global *Water Footprint Network*, o estudo revela o consumo médio de 5.196 litros de água por calça jeans no Brasil. Este valor desconsidera a chamada Pegada cinza por parte do consumidor final. O cálculo para chegar aos valores gastos é baseado em três indicadores de Pegada Hídrica que, somados, conferem a Pegada Hídrica total (A Moda pela Água, 2019). Esta mesma quantidade de consumo de água é suficiente para que uma pessoa possa suprir todas as suas necessidades básicas (beber, higiene pessoal, cozinhar e para fins sanitários) durante cerca de 70 dias (Instituto Akatu, 2022).

Segundo o estudo, os indicadores utilizados são:

- Pegada Verde, que se refere ao volume da água da chuva utilizada pelas plantas nos processos agrícolas da cadeia produtiva;
- Pegada Azul, relacionada ao consumo das fontes de água doce, das superfícies subterrâneas e que não é devolvido para as mesmas fontes de captação;
- Pegada Cinza, que está relacionada ao volume de água necessário para a natureza assimilar o efluente gerado e devolvido ao meio ambiente.

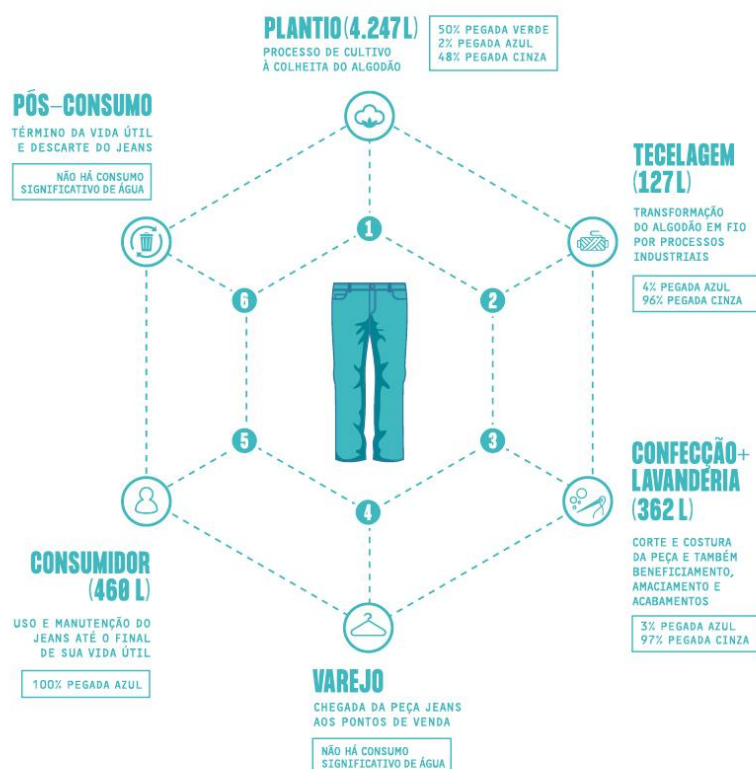


Figura 20 - Descrição da pegada hídrica do jeans
Fonte: A Moda pela Água, 2019

O estudo indica que o volume total consumido por uma calça jeans corresponde a 41% água verde, 11% água azul e 48% água cinza. Em maiores detalhes, são considerados os seguintes gastos em cada etapa da cadeia: 4.247 litros no plantio, 127 litros na tecelagem, 362 litros nas fases de lavanderia e confecção, e 460 litros nas lavagens caseiras realizadas pelo consumidor final (A Moda pela Água, 2019).

2.6 Pesquisa em base de dados

Para finalizar este capítulo, são apresentados, nesse tópico, os critérios utilizados para a realização da pesquisa por artigos científicos, com o objetivo de coletar informações pertinentes ao

propósito desta investigação, que se concentra em publicações científicas relacionadas ao desenvolvimento de produtos com resíduos de denim. A parametrização deste levantamento envolveu os seguintes critérios:

- Recorte de Tempo: Publicações realizadas nos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022 e 2023;
- Tipo de Publicações: Artigos científicos;
- Língua de escrita: Inglês e Português;
- Forma de Publicação: Digital;
- Área de Publicação: Têxtil, Sustentabilidade, Materiais, Design e Moda;
- Termos pesquisados: *recycling*, *recycle*, *recycled*, *upcycling*, *upcycled*, *reuse* (e variações também em Língua Portuguesa, quando aplicável) sempre relacionados à palavra denim. Pesquisados em Títulos de Artigos, Resumo e palavras-chaves.

Os termos pesquisados tiveram como prioridade a ligação com o tecido denim relacionado à reutilização para desenvolvimento de novo material, por ser o principal objeto de estudo.

O recorte temporal foi feito com o intuito de selecionar os estudos mais atuais sobre o tema começando no ano de 2019, ou seja, um ano antes do início desta investigação. Foi selecionada para a pesquisa a base de dados *Scopus*, essa escolha foi feita levando em conta a relevância acadêmico-científica das publicações.

Foram selecionados 88 estudos, na grande maioria dos artigos são descritos estudos envolvendo corantes, processo de tingimento e água residual do processo de lavagem do denim, confecção de moda, reciclagem química, desenvolvimento de novo fio e uso de fibra. O maior número de artigos foi encontrado nos anos de 2021 e 2022 com 22 e 27 artigos, respectivamente.

O estudo publicado em 2022, intitulado “*Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from post-consumer recycled denim fabrics*” (Islam et al., 2022), descreve o uso da fibra de denim e técnicas de fabricação de não-tecidos com uma fibra aglutinante termoplástica biodegradável para uso como painéis de isolamento acústico. No artigo “*Development of 3D needled composite from denim waste and polypropylene fibers for structural applications*” (Wang et al., 2022), publicado em 2022, é relatado o uso de denim no desenvolvimento de compósito com fibra de denim e polipropileno por meio de agulhamento.

A maioria dos artigos relacionados ao termo “*upcycling*” (e suas variações) é voltada para desenvolvimento de confecções de coleções com reutilização de denim.

Em 2021, o artigo intitulado “*Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes*”(Sezgin et al., 2021), também foi

considerado um dos materiais relevantes para este estudo por tratar do desenvolvimento de novo material. Nessa publicação é descrito o desenvolvimento de compósitos com fibra de algodão reciclado e resíduos de embalagem polipropileno (PP) e Polietileno (PE).

Observa-se que não foram muitos os artigos científicos, nesta base de dados, que tratam da mesma perspectiva desta investigação: Denim e Sustentabilidade com foco no desenvolvimento de novo material. E mesmo em publicações encontradas que apresentam estes termos em conjunto, ou são de aspecto genérico, apenas reutilizando a fibra do denim para outros fins que não o desenvolvimento de novo material, ou são de aspecto muito específico, como desenvolvimento de novo fio. As tabelas com a incidência dos termos de pesquisa e as Identificações e Abstracts dos artigos considerados mais relevantes para este estudo podem ser conferidas na sessão de Anexos (Anexos I).

Em pesquisas complementares sobre o assunto foram encontradas muitas marcas desenvolvendo produtos utilizando denim (algumas citadas acima, no subtítulo 2.4.9 Resíduos de denim e reutilização), no entanto, em relação a artigos e estudos científicos é possível observar uma pequena lacuna, em termos acadêmico-científicos, que colaboraram ainda mais para o interesse e propósito do seguimento desta pesquisa a fim de contribuir com estudos embasados cientificamente para desenvolvimento de novos materiais e produtos, assim como com a divulgação no meio científico.

Após o estudo teórico, acredita-se que a utilização do desperdício de tecido denim e matriz polimérica para o desenvolvimento do material ajudará a maximizar as propriedades do novo compósito.

Parte deste capítulo foi divulgado nas seguintes publicações:

Marques, A. e Azambuja, P. (2021). Project Design Methods and Upcycling of Fashion Products in Bachelor curricula of Fashion Design Courses. In 15th Annual International Technology, Education and Development Conference. INTED 2021 Proceedings, pp 9056 – 9061. – ISBN 978-84-09-27666-0. IATED, <https://doi.org/10.21125/inted.2021.1896>

de Paula Azambuja, P., Marques, A. (2023). Repensando o descarte de têxteis: reutilização de jeans para desenvolvimento de novos produtos. In: Broega, AC, Cunha, J., Carvalho, H., Providência, B. (eds) Avanços na Pesquisa em Moda e Design. CIMODE 2022. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16773-7_53

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

3.1 Metodologia de investigação

Segundo o artista e designer italiano Bruno Munari (1981), o design não deve ser projetado sem um método; o pensamento artístico com a finalidade de encontrar uma solução não é suficiente se não houver a realização de uma pesquisa sobre projetos semelhantes ao que se deseja fazer. Complementando essa visão, Don Norman (2013) enfatiza que o design eficaz requer uma compreensão profunda do usuário e do contexto de uso, alcançada por meio de pesquisa e análise. Para Norman, o design é um processo sistemático que vai além da criatividade artística, envolvendo observação, experimentação e iteração para desenvolver soluções funcionais e emocionalmente significativas. Esta abordagem metodológica orientou a fase inicial desta investigação, contribuindo para a construção de uma base sólida de conhecimento para a etapa experimental de pesquisa-ação. O estudo foi desenvolvido por meio da análise de trabalhos relacionados ao reuso de denim, combinado com a avaliação do fluxo de materiais, fundamentada nos princípios da Economia Circular, após a extração da matéria-prima, conforme ilustrado na Figura 21.

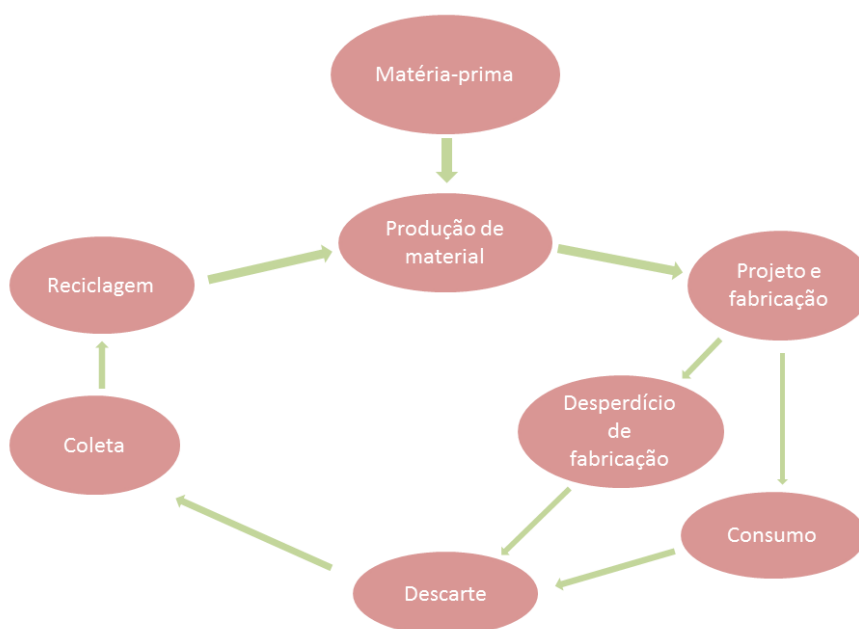


Figura 21 - Avaliação fluxo dos materiais após extração
Fonte: Autora, adaptado de (Velicko et al., 2020)

A pesquisa exploratória com foco na valorização de resíduos de denim e no design sustentável, buscou-se pela transformação destes em novas matérias-primas e produtos por meio do Design Criativo. O objetivo pretendido é apresentar um material que mantém as características estéticas do denim e que possa ser integrado a uma abordagem do *upcycling* e Design Sustentável para o reaproveitamento de resíduos. Para tanto, o desenvolvimento deste trabalho orienta-se desde o estudo dos resíduos, criação de novo material até a utilização e valorização dos mesmos por meio do Design Criativo.

Para o desenvolvimento, são seguidas as cinco etapas do *Design Thinking*:

1 - Emergência: etapa na qual foram identificados o problema e a oportunidade de inovação no âmbito da problemática dos resíduos de denim, visando criar novo material e novos produtos com valor ecológico acrescentado;

2 - Empatia: refere-se ao estudo exploratório feito de conceitos e estudos existentes para entender o contexto do desenvolvimento sustentável e as ideias já exploradas, a fim de encontrar novas possibilidades para o desafio;

3 - Experimentação: experiências prévias, conhecimento e ideias adquiridos são colocados em prática na fase de experimentação em busca da elaboração do novo material. Posteriormente, por meio do processo criativo aliado aos conhecimentos teóricos adquiridos e referências, realizou-se a idealização dos produtos que poderiam ser criados;

4 - Elaboração: esta fase refere-se a uma extensão da etapa anterior, na qual são colocadas em prática as ideias de aplicação do material desenvolvido;

5 - Exposição: nesta fase são apresentados os protótipos como aplicação prática e criativa do design capaz de criar.

Na fase de Empatia, verifica-se que durante a etapa de reciclagem têxtil, são destacados os processos de reciclagem mecânica, utilizada geralmente para aproveitamento das fibras como manta, e a reciclagem química, que é normalmente aplicada para separação de materiais no desenvolvimento de novo fio. Como o objetivo desta investigação é a criação de um novo material a partir do denim e, a fim de evitar estes dois processos de reciclagem supracitados, foi escolhido o método de compressão para desenvolvimento de um novo material composto. Assim como o uso do tecido inteiro, ou seja, sem reprocessamento.

A partir do estudo realizado, foram selecionadas as possíveis combinações de materiais a serem testados nesta fase experimental em busca do melhor resultado para o desenvolvimento do novo material. O novo material será constituído ao menos por dois componentes, sendo estes diferentes em propriedades químicas e físicas. Pretende-se que uma combinação de polímero, fibra de reforço e

processo de fabricação possa conduzir a uma aplicação com melhores propriedades relacionadas à resistência, permeabilidade, entre outros, buscando evitar o processo de desfibragem e preservar o aspecto estético relacionado à coloração do resíduo têxtil selecionado para este estudo, especificamente resíduos de calças jeans pós-consumo.

Em relação ao denim, utilizado na fabricação das calças jeans, foi observado que o resíduo deste material, na sua grande maioria, não é constituído de 100% algodão, costuma apresentar combinações de algodão com elastano e/ou poliéster. A tabela com as composições pode ser conferida no Anexo II (A2.1 - Amostragem de calças do centro de recolha de resíduos têxteis). Essa mistura de materiais é um dos fatores que dificulta o processo de reciclagem para desenvolvimento de novo fio, mas que pode ser vantajosa para o desenvolvimento deste novo material a ser investigado. O algodão, considerado como a fibra de reforço, possui propriedades como isolamento térmico e acústico, características que podem agregar valor ao novo material a ser desenvolvido. Além do mais, o denim apresenta boas propriedades mecânicas, é têxtil bastante resistente devido ao entrelaçamento dos fios de trama e urdume da sua composição (Chataignier, 2007). Um estudo publicado em 2022 relata que foi possível utilizar denim e polipropileno para o desenvolvimento de compósitos de alto desempenho e baixo custo (Wang et al., 2022).

O denim a ser combinado com demais materiais pode ser resultado de descarte por parte dos consumidores, são produtos pós-consumo com desgastes de uso e/ou resíduos de denim do processo de produção (pré-consumo) feitos 100% de algodão (que é um polímero natural) ou em combinação com outras fibras sintéticas como elastano e/ou poliéster.

Assim como os resíduos têxteis, os descartes de material polimérico são um grave problema ambiental. A fabricação e uso de material plástico ainda está ativa, o material é muitas vezes de uso único e causa acúmulo de lixo no meio ambiente sem que sejam reciclados. Além dos plásticos já depositados, a cada dia mais plástico é produzido, utilizado e descartado. O fato de não ser um material biodegradável é considerado uma das maiores ameaças ao ambiente. Cerca de 80% a 85% do lixo marinho na UE é constituído por plástico, 50% são relacionados aos plásticos de uso único e 27% a artigos relacionados com a pesca (CGD, 2021). Tal poluição pelo uso dos polímeros poderia ser minimizada com a reciclagem dos materiais poliméricos e consequentemente o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis e de fonte renovável.

Para passar para a próxima fase desta investigação é necessária a escolha do tipo de matriz a ser usada, uma seleção de acordo com as pretensões do material a processar e com as aplicações a que o composto vai ser sujeito.

Como o objetivo do estudo é desenvolver um material sólido para aplicação em produtos de decoração, mobiliário e moda (mais especificamente acessórios de moda), e levando em consideração a análise dos estudos anteriores, foi selecionada a matriz polimérica termoplástica como a opção a ser aplicada. Tendo em vista que este material pode apresentar um estado físico sólido, maior resistência ao impacto e boa durabilidade no exterior, que são fatores considerados importantes nesta etapa.

Outro ponto importante foi levado em consideração para a realização das amostras: manter o aspecto estético do denim a fim de mostrar ao “consumidor” a origem da matéria-prima, que no caso deste estudo são calças jeans descartadas pelo consumidor (resíduo pós-consumo).

Os polímeros termoplásticos pré-selecionados para esta fase experimental são também, assim como o denim, resíduos que precisam ser reaproveitados, evitando que sejam depositados indevidamente no meio ambiente. Foram selecionados dois tipos de resíduos pós-consumo de sacos utilizados em supermercados (polietileno de alta e baixa densidade) e dois tipos de resíduos pré-consumo, especificamente resíduos de tecido não tecido (polipropileno é muito utilizado para produzir roupas e máscaras hospitalares, uma preocupação a mais que surgiu com tais resíduos uma vez que parte desta investigação foi desenvolvida em período pandêmico), e resíduos de polimetilmetacrilato, que é também conhecido como acrílico e está inserido em diversos tipos de indústrias (automobilística, eletrônica, médica, decoração entre outros; é muito usado em produtos que exigem transparência e resistência como coberturas de lâmpadas de automóveis, equipamentos de iluminação, telas de cristal líquido, lentes, mobiliário, acessórios etc.).

Na literatura, são referenciadas várias técnicas para a fabricação de compósitos, entre elas, moldagem por compressão, moldagem por transferência de resina, infusão a vácuo e *hand lay-up* (Temminck et al., 2018). A técnica *hand lay-up*, ou moldagem manual, é um dos métodos de moldagem mais tradicionais para a fabricação de compósitos que consiste no empilhamento da fibra e uso de resina.

As técnicas de processamento do material podem ser resumidas em processos de molde aberto e fechado. Entre as técnicas mais encontradas em estudos estão a RTM (*resin transfer moulding*), processo que usa uma resina termofixa líquida e molde fechado; VARTM (*vacuum-assisted resin transfer moulding*), que é capaz de proporcionar um aumento na resistência; e COM (*compression moulding*), uma técnica simples que utiliza uma cavidade de molde aquecida e que pode ser aplicada a um compósito com têxtil e polímero termoplástico.

Dessa forma, foram selecionados resíduos de denim pós-consumo, resíduos de polímeros termoplásticos e a técnica de moldagem por compressão à quente (COM), para o início das testagens em laboratório, como é descrito no subcapítulo a seguir.

3.2 Desenvolvimento experimental

O desenvolvimento experimental, ou fase de experimentação, foi realizado nas instalações da Universidade do Minho em Guimarães, mais especificamente, no Laboratório de Moldagem de Polímeros do Centro de Valorização de Resíduos (CVR) e do Instituto de Inovação em Materiais Fibrosos e compósitos (Fibrenamics) (ver Figura 22). Foi utilizada a máquina de compressão à quente: *Compression Moulding* (COM)- *Fontijne Presses BV, model LabManual 300* (ver Figura 23). Neste modelo de máquina o tamanho máximo de molde é 32x32 cm. Os resíduos têxteis foram coletados no Centro de Recolha Têxtil da empresa To be Green.



Figura 22 - Laboratório *Compression Moulding*
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 23 - *Compression Moulding*
Fonte: Autora, arquivo pessoal

3.2.1 Etapa inicial de moldagem dos materiais

Moldagem de amostras sem polímero extra

Para iniciar esta etapa experimental foram separados resíduos de denim pós-consumo que não fossem 100% algodão (CO) e que, portanto, apresentassem mistura de materiais na sua composição. Foram separados os resíduos de denim entre os descartes e feitas as amostras para o processo de compressão (Figura 24).



Figura 24 - Preparação de resíduos para moldagem
Fonte: Autora, arquivo pessoal

O material selecionado contém amostras com denim composto por 98% algodão (CO)+ 2% elastano (E) e denim composto por 80% algodão (CO)+15% poliéster (PES)+5% elastano (E). Estas são as composições em maior quantidade na amostragem de resíduos como consta na Tabela 1 – Composição da amostragem de calças recolhidas.

Tabela 1 - Composição da amostragem de calças recolhidas

Amostragem: 15 calças jeans			
Composição	Gramagem (g/m ²)	Quantidade de calças	% na amostragem
99%CO 1% E	336 / 360	2	13%
100% CO	389/367/380/393/400	5	33%
98%CO 2%E	408/329/373	3	20%
80%CO 15%PES 5% E	305/426/510	3	20%
82%CO 16% PES 2% E	305/298	2	13%

66% denim descartado contém E e/ou PES

(CO) algodão / (E) elastane / (PES) poliéster

Os resíduos foram colocados para moldagem sem agregar nenhum outro polímero extra a fim de verificar o comportamento destes materiais após o processo de moldagem por compressão à quente.

Foram testadas três amostras: Amostra 1, Amostra 2 e Amostra 3. Cada amostra contém 4 camadas de resíduos empilhados que foram colocadas para a moldagem entre duas folhas de material antiaderente como mostra a Figura 25. Foram utilizados retalhos dos resíduos cortados manualmente com tesoura a fim de evitar o processo de desfibragem do denim.



Figura 25 – Amostra 1, 2 e 3 antes da compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal

A Tabela 2 apresenta uma síntese das amostras e processo de moldagem que serão descritos logo a seguir:

Tabela 2 - Resultado dos ensaios sem polímero extra

Amostra sem polímero extra	Composição	Camadas de denim	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
Amostra 1	(A1) 98%CO+2%E	4	200	30	Sem fusão Algodão alterado
Amostra 2	(A2) 80%CO+15%PES+5%E	4	200	30	Sem fusão Algodão alterado
Amostra 3	(A1) + (A2)	2+2	200	30	Sem fusão Algodão alterado
As mesmas amostras foram submetidas à temperatura mais elevada					após mais 10 min
Amostra 1	(A1) 98%CO+2%E	4	270	30	Sem fusão Algodão queimado
Amostra 2	(A2) 80%CO+15%PES+5%E	4	270	30	Sem fusão Algodão queimado
Amostra 3	(A1) + (A2)	2+2	270	30	Sem fusão Algodão queimado
Experimento teve o algodão danificado sem fusão do material					

As três primeiras amostras, com quatro camadas de denim empilhadas cada, foram submetidas à 200°C de temperatura e 30 Newtons (N) de compressão por 10 minutos. Neste experimento 1, quanto à composição das amostras temos:

- Amostra 1 – 4 camadas de denim (98% CO+2% E);
- Amostra 2 – 4 camadas de denim (80% CO+15% PES +5% E);
- Amostra 3 – 2 camadas de denim (98% CO+2% E) + 2 camadas de denim (80% CO+15% PES +5% E).

Após 10 minutos de compressão das amostras o material estava com uma tonalidade mais amarelada e com cheiro de algodão queimado. As amostras com menos porcentagem de algodão, ou seja, a Amostra 2 (retalhos de denim 98% CO + 2% E) e a Amostra 3 que apresenta a mistura dos dois tipos de retalhos (2 retalhos de denim (98%CO+2%E) e 2 retalhos do denim (80%CO+15%PES +5%E) estavam aparentemente um pouco mais “aderidas” do que a Amostra 1 (ver Figura 26).



Figura 26 – Amostra 1, 2 e 3 após compressão à 200°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Em razão da temperatura de fusão do poliéster e elastano estar entre 260° e 270°C foram colocadas as mesmas amostras novamente para compressão à 30N e por mais 10 minutos, aumentando a temperatura para 270°C. Após o tempo de compressão o algodão queimou e alterou completamente a coloração (Figura 27). A literatura aponta que a fibra de algodão suporta até 200°C e que começa a degradar em 150°C.

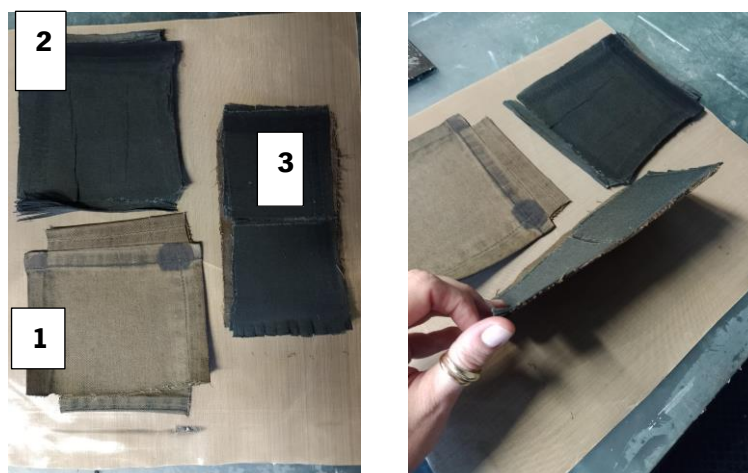


Figura 27 - Amostra 1, 2 e 3 após compressão com temperatura de 270°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

No geral o material compactou mais e pode ser verificado na Figura 28 que a Amostra 2 apresentou cortes no material após a compressão com elevação da temperatura.



Figura 28 - Amostra com material danificado após compressão à 270°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Este primeiro experimento de moldagem à quente foi apenas para comprovar a necessidade de aumentar a porcentagem de polímero termoplástico para obtenção do material desejado antes de seguir para os experimentos contendo resíduo de polímero. Foi selecionada a temperatura inicial de 200°C para analisar se neste limite de temperatura que o algodão suporta haveria alguma reação do poliéster e do elastano contidos na composição do denim. Um experimento para verificar o comportamento do algodão juntamente com os demais componentes, poliéster e elastano, mesmo em alta temperatura e a

capacidade de fusão destes materiais nas pequenas quantidades apresentadas. A partir deste experimento, iniciam-se as amostras com adição de polímeros extra.

Moldagem de amostras com polímero extra – polipropileno

A próxima etapa desta investigação, após essa primeira moldagem sem adição de polímero extra, foi a testagem de amostras com mistura de resíduo de denim e adição de resíduo de polímeros. As primeiras amostras utilizaram resíduos pré-consumo de polipropileno (PP) em tecido não tecido (TNT), foram utilizados os desperdícios de produção de fábrica do polímero polipropileno para as primeiras testagens de aderência e firmeza do material.

Foram feitas amostras com resíduos de denim empilhados, no entanto, desta vez foram colocadas camadas de polímero extra. Nenhum material passou por processo de desfibragem, foram apenas cortados manualmente para delimitar o tamanho desejado das amostras. Inicialmente foram feitas quatro amostras com variantes diferentes, o objetivo era verificar se haveria compactação do material (nas diferentes variantes), analisar a quantidade de polímero extra necessário para compactar e o comportamento da temperatura. A temperatura de fusão do PP é considerada entre 130° e 171°C. As amostras foram submetidas entre folhas de material antiaderente à 170°C, por 10 minutos e 30N de compressão e foi utilizado o tecido não tecido (TNT) de polímero polipropileno (PP) (ver Figura 29).



Figura 29 - Resíduo de tecido não tecido de polipropileno
Fonte: Autora, arquivo pessoal

A Tabela 3 apresenta a síntese das primeiras amostras com PP que serão descritas logo a seguir (a tabela completa consta no Anexo III - A3.1 – Composição das amostras iniciais com polímero extra (PP)):

Tabela 3 - Síntese do ensaio de amostras iniciais com denim e PP variação de temperatura

Amostra	Composição	Temperatura °C	Resultado
1.2	3 camadas denim intercalado com PP	170	Fusão/alteração denim
1.3	3 camadas denim intercalado com PP camada dupla		
1.4	3 camadas de retalhos de denim intercalado com PP		
1.5	3 camadas denim intercalado com PP em retalhos		
1.6	2 camadas de denim duplo intercaladas com PP	150	Sem fusão
1.7	3 camadas denim e uma camada PP acima		
1.8	2 camadas de retalhos de denim intercalados com camada PP + 1 camada de PP acima		
1.9	2 camadas denim intercalados com camada dupla PP e camada dupla em retalhos PP acima		
1.10	2 camadas denim intercalados com PP	160	Pouca fusão
1.6.1	Idem amostras 1.6, 1.7, 1.8, 1.9	165	Boa fusão, alteração cor
1.7.1			
1.8.1			
1.9.1			
1.6.2	Idem amostras 1.6, 1.7, 1.8, 1.9	160	Pouca fusão
1.7.2			
1.8.2			
1.9.2			
1.11	3 camadas retalhos de denim intercaladas PP e finalizado PP duplo	155	Pouca fusão
1.12	Idem 1.9		

Quanto à composição das amostras:

Amostra 1.2 – 3 camadas de denim intercaladas com camada simples de polímero (PP)

Amostra 1.3 – 3 camadas de denim intercaladas com camada dupla de polímero (PP)

Amostra 1.4 – 3 camadas de retalhos de denim intercalados com camada simples de polímero (PP)

Amostra 1.5 – 3 camadas de denim intercalados com camada simples de retalhos de polímero (PP)

A Figura 30 apresenta as amostras prontas para serem prensadas no processo de moldagem por compressão.



Figura 30 - Amostras de denim e polímero antes da compressão
(Amostra 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 sentido horário da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Após o processo de moldagem, pôde-se observar que o denim alterou um pouco a coloração, ficando mais amarelado e com um leve odor de combustão. Houve uma boa fusão do polímero em todas as amostras, a amostra 1.3 com camada dupla de polímero e a amostra 1.4 com retalhos de denim parecem um pouco mais rígidas que as demais e verifica-se a necessidade de camada de polímero entre as tramas de retalho de denim na Amostra 1.4 para haver adesão do material (ver Figura 31).

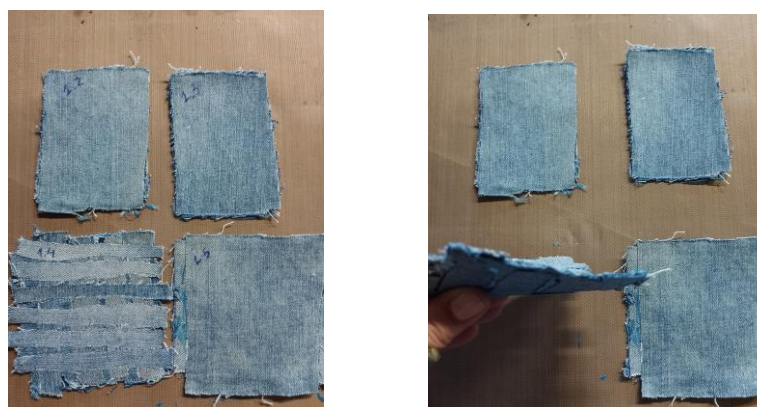


Figura 31 - Amostras de denim e polímero após compressão à 170°C
(Amostra 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 sentido horário da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Novas amostras foram testadas e submetidas à temperatura mais baixa, foram testadas à 150°C de temperatura, por 10 minutos e 30N de compressão. Foram feitas quatro novas amostras, desta vez, além da temperatura mais baixa foi testado o comportamento do denim com adição de polímero extra, mas sem intercalar todas as camadas, ou seja, foram feitas amostras com camadas duplas e triplas de denim, (ver Figura 32). O objetivo, além de testar o comportamento da temperatura mais baixa, era

também testar se o polímero seria capaz de penetrar mais de uma camada de denim. As amostras foram organizadas da seguinte maneira:

Amostra 1.6 – 2 camadas de denim duplo (CO) intercaladas com 1 camada de polímero (PP): (2CO+PP+2CO)

Amostra 1.7 – 3 camadas de denim e uma camada de polímero (PP) sobre o denim: (3CO+PP)

Amostra 1.8 – 2 camadas de retalhos de denim intercalados com 1 camada de polímero (PP) e mais 1 camada de polímero sobre o denim: (ReCO +PP+ ReCO+ PP)

Amostra 1.9 – 2 camadas de denim intercalados com camada dupla de PP e camada dupla em retalhos de polímero sobre o denim (CO+2PP+CO+2PP)



Figura 32 - Amostras 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9
sentido horário da esquerda para a direita antes da compressão à 150°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Após a compressão observa-se que com a temperatura em 150°C em 10 minutos não houve boa fusão do polímero como mostra a Figura 33, manter mais tempo na mesma temperatura não altera, pois, a temperatura mantém o mesmo valor; então foram feitas novas amostras com a mesma composição (amostras 1.6.1, 1.7.1, 1.8.1 e 1.9.1) e colocadas para compressão à temperatura de 165°C, (ver Figura 34).



Figura 33 - Amostras 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9
sentido horário da esquerda para direita após compressão 150°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

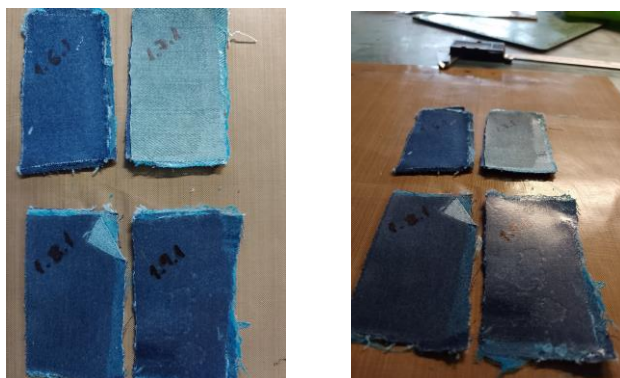


Figura 34 - Amostras 1.6.1, 1.7.1, 1.8.1 e 1.9.1
sentido horário da esquerda para a direita após 165°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Com a temperatura de 165°C houve fusão do polímero, mas nas amostras com denim duplo verifica-se que não há uma boa adesão das camadas denim sem uma camada de polímero entre elas. Foram colocadas novas amostras (com a mesma composição) à temperatura 160°C, nas quais houve boa fusão do polímero, mas as camadas parecem descolar facilmente. Novas amostras foram então testadas à 155°C após 10 minutos com 30N de compressão, nas quais não houve fusão do material por completo, a fusão não é uniforme como pode ser verificada na amostra 1.12 (composição igual a 1.9 e 1.9.1 composta por CO+2PP+CO+2PP). Pode-se verificar as bordas com o polímero sem fundir (ver Figura 35).



Figura 35 - Amostra 1.12 após compressão à 155°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

A partir desta etapa, foram iniciados os testes com mais camadas e alteração de compressão e temperatura. A Tabela 4 apresenta a síntese das demais amostras realizadas com PP e variação da compressão que serão descritos logo a seguir (a tabela completa consta no Anexo III - A3.1 – Composição das amostras iniciais com polímero extra (PP)):

Tabela 4 - Síntese do ensaio de amostras com denim e PP variação temperatura e compressão

Amostra	Composição	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
1.13	12 camadas denim, intercaladas com PP e camada de PP acima	160	100	Sem fusão
1.13.1	Idem 1.13	165	200	Boa fusão/ marcas
1.14	3 camadas denim intercaladas PP e PP antes e depois		100	Boa adesão/ alteração cor
1.15	7 camadas de retalhos de denim intercalados de PP		150	Boa fusão/marcas
1.16	20 camadas de denim intercaladas PP e 1 camada PP acima		140	Pouca adesão
1.16.1	Idem 1.16	168	140	Boa fusão
1.17	Idem 1.14	165	30	Boa fusão, adesão menor
1.18	6 camadas de denim intercaladas com PP mais 2 camadas PP acima	165	100	Boa fusão/alteração cor
1.19	10 camadas de denim intercaladas com PP mais 2 camadas PP acima	165	100	Boa fusão/alteração cor
1.30	30 camadas de denim intercaladas com PP mais 1 camada PP acima	168	140	Boa fusão, boa cobertura, alteração cor

Foram feitas amostras com 12 camadas de denim (amostra 1.13) e todas intercaladas com polímero PP, foram testadas com 160°C e 100N de compressão (ver Figura 36), após 10 minutos verificou-se que houve boa compressão mas a fusão do polímero não foi 100% e apresentou bordas descoladas (ver Figura 37); foi testado então uma nova amostra com esta mesma composição e colocada à 165°C de temperatura à uma compressão de 200N por 10 minutos, esta amostra teve uma boa fusão mas apresentou marcas na parte de trás que demonstram um excesso de compressão (ver Figura 38).

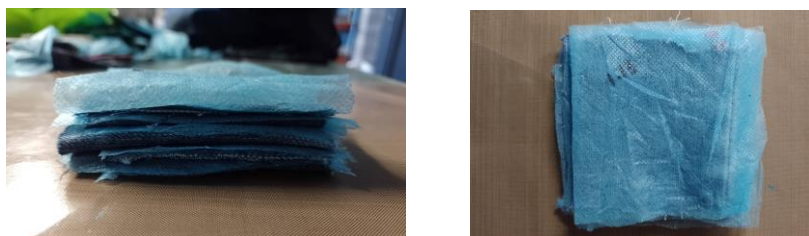


Figura 36 - Amostra com 12 camadas antes de compressão de 100N à 160°C

Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 37 - Amostra 12 camadas após compressão de 100N à 160°C
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 38 - parte de trás da amostra com 12 camadas
(após compressão de 200N à 165°C)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Com o objetivo de verificar a possibilidade de desenvolver amostras com material mais espesso foram feitas amostras com 20 camadas de denim intercaladas com polímero para verificar a compressão e a temperatura necessárias para uma boa compactação. No primeiro ensaio a amostra 1.16 foi submetida à 165°C de temperatura e com 140N de compressão por 10 minutos, o resultado demonstrou que a fusão do polímero não foi completa havendo pouca adesão dos materiais. Após 10 minutos o material estava compacto e firme, mas em alguns pontos o polímero não estava totalmente aderido ao denim, nota-se que é possível retirar a camada de polímero facilmente, como uma película adesiva da camada superior (ver Figura 39).



Figura 39 - Amostra 1.16 com 20 camadas
(após compressão à 165°C e 140N)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Uma nova amostra 1.16.1, com o mesmo número de camadas, foi feita e submetida à temperatura de 168°C e uma compressão de 140N e após 10 minutos o material estava compacto e com boa fusão, com aparência firme e resistente como pode ser visualizado na Figura 40.



Figura 40 - Amostra 1.16.1 com 20 camadas após compressão à 168°C e 140N
Fonte: Autora, arquivo pessoal

É possível observar a diferença das amostras 1.16 e 1.16.1 em relação à adesão do polímero após a compressão (ver Figura 41).



Figura 41 - Amostras 1.16 e 1.16.1 (de cima para baixo)
(após compressão à temperatura de 165°C e 168°C respectivamente)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Antes de seguir com outro tipo de polímero foram feitas mais duas amostras intercaladas com polipropileno, a amostra 1.18 com 6 camadas de denim e primeira e últimas camadas duplas de polímero e a amostra 1.19 com 10 camadas ambas submetidas à 165°C de temperatura e compressão de 100N por 10 minutos. Houve boa fusão e não alterando o resultado a camada dupla de polímero.

Foi desenvolvida uma amostra de material com 30 camadas de denim, a qual foi submetida à 168°C de temperatura e compressão de 140N por 10 minutos (ver Figura 42).



Figura 42 - Amostra com 30 camadas de denim antes e pós compressão
(da esquerda para a direita)

Fonte: Autora, arquivo pessoal

Em amostra com 3 camadas de denim intercaladas com polímero e acrescentando uma camada de polímero antes e uma depois do denim, como uma forma de acabamento do material, foi colocada em compressão de 30N (amostra1.17) e nas mesmas proporções repetida em compressão de 100N (amostra 1.14). A compressão com 100N demonstrou uma maior adesão e fusão das camadas quando comparada ao material desenvolvido com 30N.

Após todos estes experimentos iniciais, foi alcançado um resultado satisfatório quanto à compactação e firmeza do material, mas não satisfatório quanto à alteração de cor sofrida pelo denim, por influência da coloração do polipropileno acrescentado. Os ensaios passaram para nova fase, utilizando outros três tipos de polímeros descartados, mas já tendo como base as condições experienciadas com o polipropileno. A tabela com as composições das amostras testadas consta no Anexo III (A3.1 – Composição das amostras iniciais com polímero extra (PP)).

Moldagem de amostras com polímero extra - polietileno

Nos ensaios a seguir, são utilizadas sacolas plásticas descartadas, resíduos pós-consumo: polietileno de alta densidade – PEAD (high-density polyethylene - HDPE) e o polietileno de baixa densidade – PEBD (low-density polyethylene - LDPE), como mostra a Figura 43.



Figura 43 - Descarte de polietileno de alta e baixa densidade, respectivamente

Fonte: Autora, arquivo pessoal

A montagem das amostras seguiu da mesma forma anterior, ou seja, sem processo de desfibragem dos materiais. O denim foi disposto em camadas empilhadas e intercaladas com polímeros

(após ter sido verificado anteriormente a necessidade de polímero extra entre as camadas de denim). O material foi moldado à quente entre duas folhas de antiaderente. Foram realizadas amostras semelhantes às descritas no subcapítulo anterior utilizando polipropileno. A Tabela 5 apresenta a composição das amostras iniciais com polímero extra HDPE e LDPE.

Tabela 5 - Variações iniciais amostras HDPE / LDPE

Amostra Polímero extra	Composição (Denim e polietileno)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
2.1	10 camadas denim intercaladas com HDPE mais 1 camada de polímero sobre o denim	10 CO+ 11HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura (cor inalterada)
2.2	10 camadas denim intercaladas com LDPE mais 1 camada de polímero sobre o denim	10 CO+ 11 LDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura (alteração de cor)
2.3	Costuras das calças dispostas em espiral entre camadas de LDPE	Disposição aleatória	168	120	Compacto, boa fusão e estética mas altera aparência do denim
2.4	Idem 2.1		135	100	Pouca aderência
2.5	Idem 2.2		140	100	Fusão, pouca aderência
2.6	3 camadas de denim intercalados com camada simples de retalhos de LDPE	3 CO + 2 ReLDPE	160	100	Fusão, pouca cobertura (alteração de cor)

Denim_ algodão (CO)/ Polietileno de alta densidade (HDPE) polietileno de baixa densidade (LDPE) /Retalhos de LDPE(ReLDPE)

A seguir, são descritas as amostras 2.1 e 2.2:

Amostra 2.1 - resíduos de denim intercalados com descarte de sacola plástica, HDPE (ver Figura 44).



Figura 44 - Amostra 2.1 com descarte de denim e HDPE antes da compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Amostra 2.2 – resíduos de denim intercalados com descarte de sacola plástica, LDPE (ver Figura 45).



Figura 45 - Amostra 2.2 com descarte de denim e LDPE antes da compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Ambas amostras têm 10 camadas de denim e foram submetidas à 165°C de temperatura, por 10 minutos com compressão de 100N.

Após a compressão ambos os materiais estavam compactos e firmes, apresentando boa fusão, o resultado após compressão da amostra 2.1 pode ser visualizada na Figura 46 e o resultado da amostra 2.2 após a compressão na Figura 47.



Figura 46 - Amostra 2.1 com HDPE após processo de compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 47 - Amostra 2.2 com LDPE após processo de compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Demais amostras com os mesmos materiais foram testadas para verificar variações de camadas e temperatura (semelhante ao processo descrito com PP). Sendo o ponto de fusão do polietileno mais baixo que do polipropileno, variando entre 115° e 135°C, foram testadas algumas amostras com

temperatura 135°C, no entanto, o polímero HDPE após resfriado apresentou menos aderência ao denim (ver Figura 48). As amostras feitas com temperatura de compressão 165°C apresentaram uma boa fusão/aderência, mesmo após resfriamento, sem danificar nenhum material. A compressão de 100N e 165°C de temperatura apresentou os melhores resultados quanto à aparência em todas as amostras com até 10 camadas de denim e foi a temperatura mantida nos ensaios.

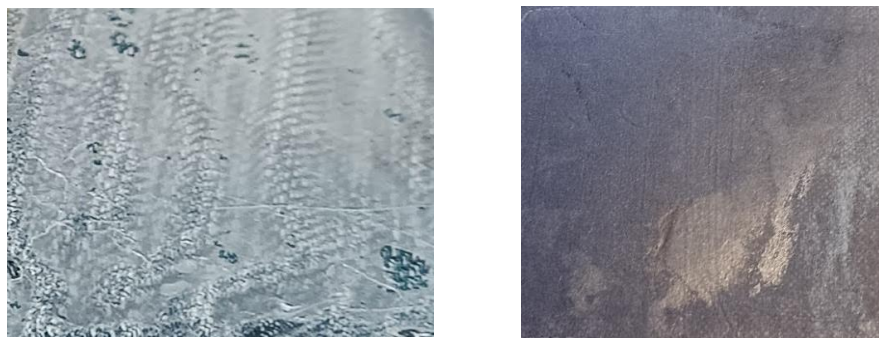


Figura 48 – Detalhe denim e HDPE após compressão à 135° C
Fonte: Autora, arquivo pessoal

O material desenvolvido com utilização de resíduo de denim e descartes de sacolas de polietileno de baixa densidade (LDPE) resultou em uma boa compactação, no entanto, assim como verificado no material feito com polipropileno, interferiu na coloração do denim.

A seguir, foram realizados experimentos com outro resíduo de polímero, o polimetilmetacrilato filme (PMMA).

Moldagem de amostras com polímero extra – polimetilmetacrilato

Nos ensaios a seguir, são utilizados resíduos pré-consumo de polimetilmetacrilato na forma de laminado/filme (PMMA) (ver Figura 49). A montagem das amostras seguiu da mesma forma descrita anteriormente, sem processo de desfibragem dos materiais, com a colocação de camadas de denim empilhadas e intercaladas com polímero e moldadas à quente entre duas folhas de material antiaderente. As temperaturas mínimas utilizadas com esse material foram 160°, que é a temperatura do ponto de fusão do PMMA.



Figura 49 - Resíduo de polimetilmetacrilato (PMMA)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

A seguir, a Figura 50 apresenta a Amostra 3.1 com resíduos de denim e PMMA antes do processo de compressão. Na Figura 51 pode ser visualizada a Amostra 3.1 após o processo de moldagem à quente.



Figura 50 - Amostra 3.1 com resíduo de denim e PMMA antes da compressão
Fonte: Autora, arquivo pessoal

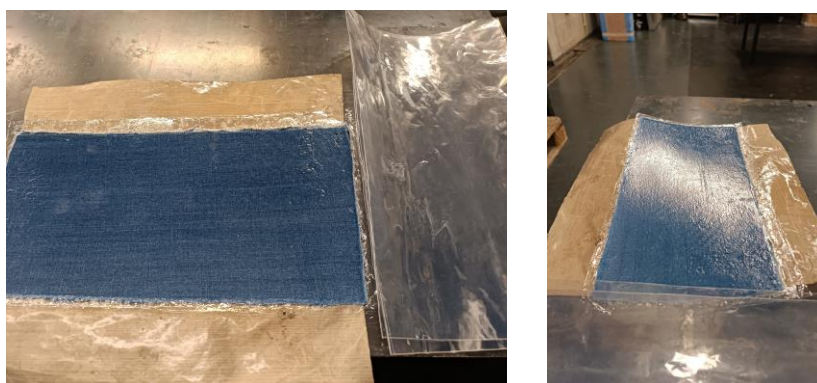


Figura 51 - Amostra 3.1 denim e PMMA após processo de compressão
Fonte: Autora

A amostra descrita aqui foi desenvolvida com 6 camadas de denim e submetida à 165°C de temperatura, por 10 minutos com compressão de 100N. Demais amostras com os mesmos materiais

foram testadas para verificar variações de camadas e temperatura. A Tabela 6 apresenta a composição das amostras iniciais com polímero extra - PMMA.

Tabela 6 - Variações iniciais amostras PMMA

Amostra Polímero extra	Composição (Denim e polimetilmetacrilato)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
3.1	6 camadas denim intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	6 CO+ 7 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
3.2	3 camadas denim intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	3 CO+ 4 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
3.3	2 camadas denim com costuras intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	2CO+3 PMMA	165	100	Firme, boa fusão e boa estética Superfície plana, boa cobertura
3.4	Idem 3.2		160	100	Fusão, pouca aderência

Denim_ algodão (CO)/ Polimetilmetacrilato (PMMA)

A compressão de 100N e 165°C de temperatura obteve os melhores resultados quanto à aparência em todas as amostras com até 6 camadas de denim. Uma maior compressão, aliada a temperatura, resultaram em uma melhor aparência e aderência do material.

3.3 Análise das amostras com polímeros extra

3.3.1 Comparação do resultado estético

Após terem sido desenvolvidas amostras com os quatro tipos diferentes de polímeros, nas mesmas condições, foi feita comparação quanto ao resultado alcançado a fim de selecionar os materiais.

A seguir é possível visualizar o resultado das amostras com os quatro tipos de polímeros (ver Figura 52), foi analisado resultado obtido quanto a compactação e dimensão estética e foram selecionadas as amostras utilizando o polímero HDPE e PMMA para seguir para a fase de caracterização. Estas amostras tem as características do denim preservadas quanto à cor e dois tipos diferentes de maleabilidade e acabamento. É importante salientar, o conhecimento sobre a existência dos polímeros selecionados que não apresentam a característica de transparência assim como resíduos de LDPE transparentes, no entanto, as escolhas foram feitas com base nos materiais (resíduos poliméricos) disponíveis, recolhidos e utilizados nesta investigação.

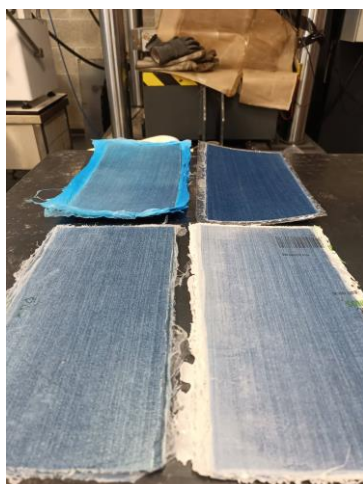


Figura 52 - Amostras com resíduos de denim e polímeros, (PP, PMMA, LDPE e HDPE - no sentido horário, da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

O método de seleção teve como base o critério inicial estipulado relacionado ao objetivo de desenvolver um material sólido, compacto e com diferentes possibilidades de espessura/flexibilidade e que mantivesse o aspecto estético do denim.

Para a fase de caracterização a seguir, foram desenvolvidas no Laboratório de Polímeros, amostras com denim com dimensão de 30x15cm. Especificamente Denim A1, A2 e A3, as três composições de denim descritas anteriormente são apresentadas no Anexo II (A2.2 – Especificações dos materiais das amostras). A amostra DenimHDPE foi moldada com polietileno de alta densidade e a amostra DenimPMMA foi moldada com polimetilmetacrilato, como consta na Tabela 7:

Tabela 7 - Amostras para ensaios e protótipo

Amostras	Composição	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
Amostras com 3 camadas – ensaios e protótipos					
DenimHDPE	3 camadas denim intercaladas com HDPE entre camadas de HDPE	3 CO+ 4 HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura
DenimPMMA	3 camadas denim intercaladas com PMMA entre camadas de PMMA	3 CO+ 4 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
Amostras com 6 camadas - ensaios de flamabilidade					
DenimHDPE	6 camadas denim intercaladas com HDPE entre camadas de HDPE	6 CO+ 5 HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura
DenimPMMA	6 camadas denim intercaladas com PMMA entre camadas de PMMA	6 CO+ 5 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura

Denim_ algodão (CO)/ Polietileno de alta densidade (HDPE) polietileno de baixa densidade (LDPE) /Retalhos de LDPE(ReLDPE)

Antes da fase de elaboração das amostras definitivas para os ensaios, como o material desenvolvido com diversas camadas apresentou bastante resistência foi feita uma experimentação de corte dos materiais desenvolvidos para verificar o comportamento do material neste processo, o qual é descrito a seguir.

3.3.2 Análise sobre corte do material

Antes de iniciar a etapa dos ensaios físicos o material precisa ser cortado dentro das medidas adequadas para o equipamento e a norma utilizada para cada teste. Os materiais com menor espessura puderam ser cortados com tesoura e/ou estilete e na serra no Laboratório de Polímeros, no entanto, materiais mais espessos como a amostra com 20 camadas de denim precisaram ser cortados no Departamento de Mecânica da Universidade do Minho. Foram utilizados como recursos de corte os equipamentos como a serra e a guilhotina manual (ver Figura 53). Durante o processo houve bastante resistência do material e algumas peças foram perdidas ou desfiadas no momento do corte, como mostra a Figura 54. Tal processo evidenciou a necessidade de um equipamento de corte mais preciso para materiais com maior espessura/resistência. A amostra feita com 30 camadas tem cerca de 1cm de espessura (ver Figura 55), não tendo sido encontrado nenhum equipamento de maior capacidade de corte disponível no laboratório da Universidade.



Figura 53 - Serra e Guilhotina manual do Departamento de Mecânica UM
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 54 - Dificuldade no corte do material mais espesso
Fonte: Autora, arquivo pessoal

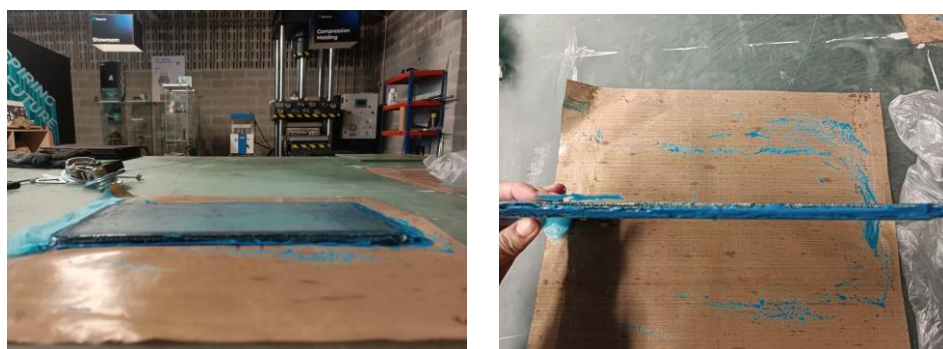


Figura 55 – Amostra com 30 camadas de denim, cerca de 1cm de espessura
Fonte: Autora, arquivo pessoal

No próximo subcapítulo é descrito o desenvolvimento de amostras para os ensaios.

3.3.3 Desenvolvimento das amostras com separação de denim por composição para ensaios

Definidas as condições (temperatura e compressão) para o desenvolvimento de um material compacto e sólido, a próxima etapa foi fazer amostras com separação de materiais segundo a composição de denim para os ensaios. Como o denim utilizado neste estudo é resíduo pós-consumo, e geralmente encontrado sem etiqueta, o desenvolvimento do material em longa escala com separação por composição poderia dificultar o desenvolvimento do produto. Para tanto, foram utilizados três tipos de composição de denim, a fim de simular um futuro uso aleatório envolvendo diferentes composições. A tabela com as composições mais encontradas no centro de resíduos pode ser conferida no Anexo II (A2.1 - Amostragem de calças do centro de recolha de resíduos têxteis). As fibras mais utilizadas nas misturas de composições, juntamente com o algodão, são o elastano e o poliéster (outras fibras são utilizadas, mas em menor quantidade).

Como o material mostrou bom resultado em relação à compactação (mesmo em amostras com apenas 2 ou 3 camadas de denim) e tendo em conta a questão relacionada ao corte e a intenção de

utilizar os três tipos de denim na mesma proporção, foram feitas amostras com 3 camadas para os futuros ensaios. Foram feitas as seguintes amostras descritas abaixo e submetida à 165°C e 100N de compressão por 10 minutos. Cada amostra possui os três tipos de denim (Denim A1, A2 e A3, dispostos na mesma ordem) e seguiram para a fase de caracterização, cujos ensaios serão descritos no próximo capítulo:

- Denim A1 tem composição de 98% algodão (CO)+2% elastano(E);
- Denim A2 tem composição de 100% algodão (CO);
- Denim A3 tem composição de 80%CO+15% poliéster (PES)+5% elastano(E).

Quanto a gramagem, o denim utilizado em calças jeans é considerado como um tecido de gramagem média a pesada, as gramagens mais comuns variam entre 270 g e 450 g (Audaces, n.d.). O material produzido utilizou resíduos com três gramagens diferentes: 389 g/m², 408 g/m² e 426 g/m², como mostra a Tabela 8 com a gramagem dos materiais das amostras:

Tabela 8 - Especificação dos materiais utilizados para desenvolvimento amostras

Material	Composição	Gramagem (g/m ²)	Espessura (h)
Denim A1	98% algodão 2% elastano	408	0,94
Denim A2	100% algodão	389	0,95
Denim A3	80% algodão 15%poliéster 5% elastano	426	0,92
HDPE	Polietileno de alta densidade filme	7,3	0,07
PMMA	Polimetilmetacrilato filme	91,9	0,11

As amostras são compostas pelos três tipos de denim no tamanho de 30x15cm, na amostra DenimHDPE foi acrescentado o polietileno de alta densidade (HDPE).

Foram colocadas 3 camadas do denim intercaladas com sacolas plásticas de HDPE, as camadas de denim foram dispostas entre camadas de HDPE. A Figura 56, mostra o material antes e após compressão.



Figura 56 - Amostra DenimHDPE antes e após compressão
(da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Na amostra DenimPMMA foi acrescentado o polimetilmetacrilato (PMMA).

Foram colocadas 3 camadas do denim intercaladas com resíduos de PMMA, as camadas de denim foram dispostas entre camadas de PMMA. A Figura 57, mostra o material antes e após compressão.



Figura 57 - Amostra DenimPMMA antes e após compressão
(da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Em todas as amostras o denim foi disposto em camadas e intercalado com o polímero correspondente e finalizado com camada de polímero. A finalização com o polímero cria um acabamento ao material. O denim foi cortado sempre no mesmo sentido, no sentido longitudinal, ou seja, no sentido da teia do tecido. As amostras com 3 camadas de denim resultaram em um material com 1,5mm.

Foram realizadas também amostras com seis camadas de denim especificamente para a caracterização de flamabilidade, em razão da espessura mínima exigida para o ensaio. As amostras foram desenvolvidas como descrito anteriormente, com dimensão de 15x15cm o que resultou em uma espessura de 3mm.

3.3.4 Desenvolvimento de material utilizando costuras

Nesta fase experimental, além das amostras descritas e desenvolvidas para a realização dos ensaios e protótipos foram feitas algumas amostras para verificar a utilização de 100% dos resíduos de denim a fim de explorar mais possibilidades de reutilização futuramente.

Para verificar o efeito estético, e a possibilidade de utilizar todas as partes da calça jeans foram feitas testagens de amostras de cortes do tecido com as costuras incluídas e prensados com polímero PMMA. O resultado visual foi satisfatório, o material apresentou as características principais buscadas nesta investigação, ou seja, ficou totalmente compactado e mantendo as características de cor e detalhes do tecido denim (ver Figura 58).

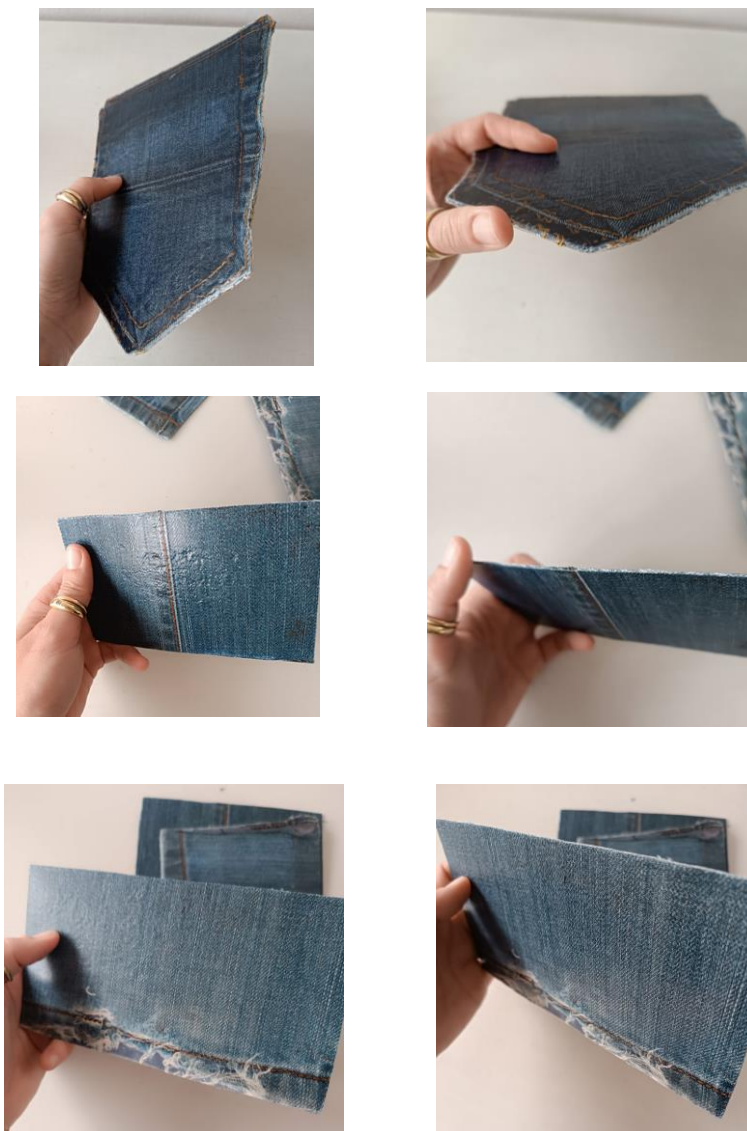


Figura 58 - Amostras de denim prensado com costuras incluídas e PMMA
 Fonte: Autora, arquivo pessoal

O desenvolvimento do material com HDPE e o denim com costuras apresentou um resultado menos satisfatório, a Figura 59, mostra uma aderência menor do polímero ao denim, apresentando uma boa compactação, mas uma facilidade de descolamento da superfície, no entanto, demonstra uma boa maleabilidade e firmeza.



Figura 59 - Amostra de denim prensado com as costuras existentes e HDPE
Fonte: Autora, arquivo pessoal

3.3.5 Materiais desenvolvidos e sugestão de utilização

Finalizada a fase de “experimentação” começa a ser idealizada a fase de “elaboração”, na qual começam a ser projetados os tipos de aplicações e o design dos novos produtos.

Os materiais finais obtidos, depois do processo de compressão, resultaram em dois tipos de produtos possibilitando diferentes sugestões de utilização. Nesta etapa são apresentadas apenas sugestões baseadas nas características e comportamentos estéticos dos materiais. Os protótipos desenvolvidos são expostos no Capítulo IV, após a fase de caracterização de algumas propriedades que tem como objetivo conhecer um pouco mais o material desenvolvido, mas não são o foco desta investigação.

A seguir, é possível visualizar o material utilizado e desenvolvido com três camadas de denim e quatro camadas de polímero (HDPE ou PMMA), (ver Figura 60).



Figura 60 - Resíduo de denim, polímeros e o material finalizado
(esquerda para direita)

Fonte: Autora, arquivo pessoal

Os materiais desenvolvidos com os dois tipos de polímeros apresentam aparência semelhante como pode ser visualizado na Figura 61:



Figura 61 - Materiais com DenimHDPE e DenimPMMA após compressão,
(da esquerda para a direita)

Fonte: Autora, arquivo pessoal

No entanto, características como maleabilidade e textura são diferentes entre os dois materiais. O material desenvolvido com HDPE é mais maleável e com textura de acabamento menos lisa e mais semelhante ao denim enquanto que o material desenvolvido com PMMA é mais rígido e com superfície mais lisa e brilhante. O material com DenimPMMA pode ser observado no topo da Figura 62 sobre o material mais maleável que apresenta curvatura (DenimHDPE).



Figura 62 - Material com DenimHDPE (material mais maleável em curva) e material com PMMA (material mais rígido e com acabamento mais liso e brilhante colocado no topo)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Após a finalização destes experimentos e a partir da análise feita sobre os resultados alcançados nesta fase foram idealizadas as possibilidades de usabilidade dos materiais. São feitas sugestões de uso na gama de Design de Interiores – Revestimento de parede, Painel decorativo e Revestimento de mobiliário (com a possibilidade de ser personalizado); Cúpula de candeeiro/luminária (objeto decorativo); Jogo Americano/ *Sousplat* (toalhas de mesa pequenas onde se colocam pratos, talheres e copos); itens decorativos; e em Design de Moda – Acessórios de moda: Bracelete/Pulseira; Chapéu; Cinto; Bolsa; Mala de viagem.

A seguir, no Capítulo IV, são apresentados os ensaios realizados, a ACV e os protótipos desenvolvidos.

Parte deste capítulo foi publicado no seguinte artigo:

Azambuja, P., & Marques, A. (2023, August 14). Upcycling of denim discard for development of new material. WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities IV. CRC Press. <http://doi.org/10.1201/9781003345084-62>

CAPÍTULO IV

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

RESULTADOS

Após o desenvolvimento experimental apresentado no capítulo anterior, como modo de identificar algumas características do material desenvolvido, foi feita a análise de alguns aspectos físicos (propriedades mecânicas), as quais foram realizadas e são apresentadas na sequência deste capítulo.

É importante salientar que o objetivo deste estudo não é caracterizar o material desenvolvido, mas sim propor uma forma de valorização dos resíduos e a aplicação em produtos de design, sendo assim os ensaios foram realizados apenas como base de caracterização para conhecimento do material.

A seguir será apresentado: Identificação – análise da gramagem dos resíduos a serem utilizados para o desenvolvimento do novo material; Caracterização física do material desenvolvido – em que se demonstra as propriedades dos materiais, por intermédio de Testes Físicos; Apresentação da ACV feita do material; Exemplificação das formas de aplicabilidade do material com a apresentação do protótipo.

4.1 Material para caracterização

Concluídas e selecionadas as amostras com as características pré-estabelecidas no início desta investigação (obter um material sólido preservando as características do denim quanto à coloração), a fase a seguir é de caracterização do material. Este capítulo inicia apresentado, na Figura 63, um esquema que resume de forma ilustrativa as opções consideradas inicialmente nesta investigação até as escolhas finais que deram origem ao produto final para caracterização. Como materiais iniciais, as opções de uso foram denim pré e pós-consumo, no qual foi selecionado o denim pós-consumo, mais especificamente calças jeans. Logo a seguir, os polímeros selecionados para o experimento foram resíduos de polímero termoplástico, mais especificamente sobras de confecção de tecido não tecido de polipropileno, sacolas plásticas pós-consumo de polietileno de alta e de baixa densidade e resíduos pré-consumo de polimetilmetacrilato filme. Feitos os experimentos iniciais desta investigação, foram selecionados os resíduos disponíveis de polietileno de alta densidade e o polimetilmetacrilato para o seguimento das amostras para caracterização, considerando melhor resultado quanto a estética desejada referente à preservação da aparência do jeans, aliado aos resultados relacionados à boa compactação e maleabilidade dos materiais. Foram desenvolvidas amostras com costuras (utilizando 100% do resíduo têxtil); no entanto, seguiram para a fase de caracterização amostras desenvolvidas sem costura, a fim de que mantivessem ao máximo semelhança entre os materiais para comparação dos resultados.

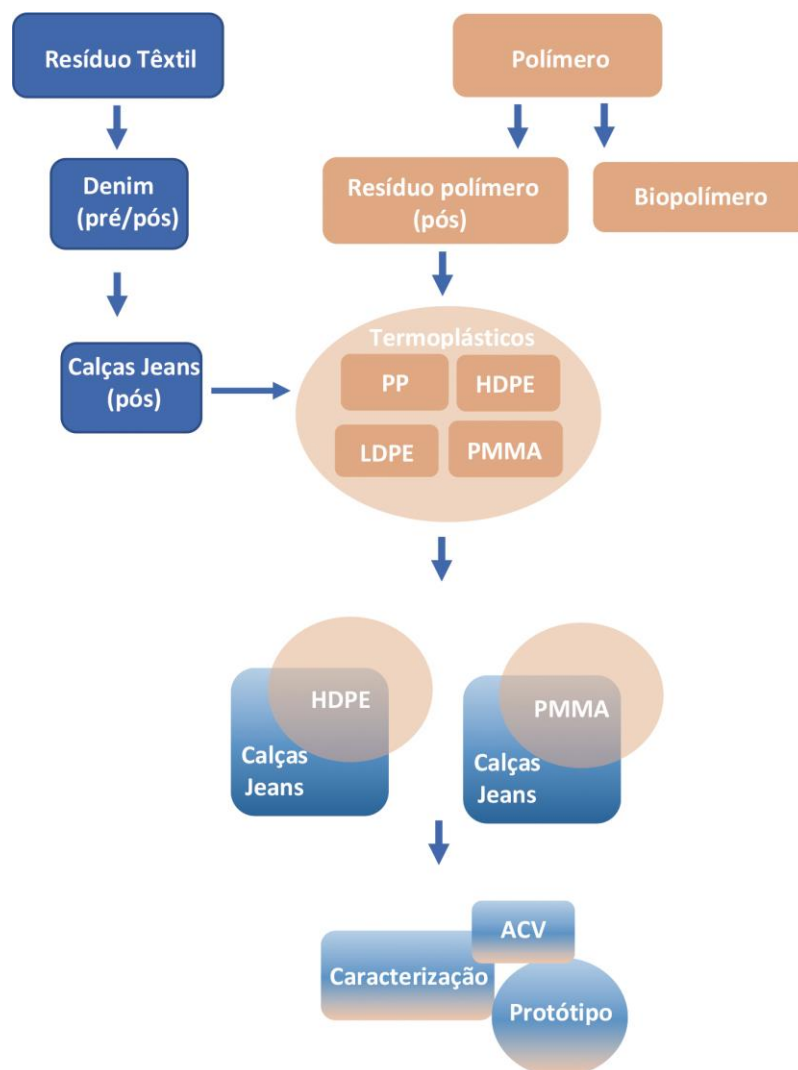


Figura 63 - Esquema ilustrativo do processo de investigação
Fonte: Autora

4.2 DESENVOLVIMENTO DA FASE DE CARACTERIZAÇÃO

4.2.1 Fase de ensaios - Laboratório de Física Têxtil

Com as amostras concluídas, passou-se para a fase de caracterização do material, com ensaios para verificar as propriedades físicas quanto às propriedades relacionadas a permeabilidade, flamabilidade (resistência à chama) e resistência, os quais terão o processo descrito no subtítulo a seguir. A escolha destes testes se deu levando em consideração as características apresentadas pelo novo material quando comparado ao tecido e consideradas pontos de partida importantes para uma avaliação inicial do que foi desenvolvido.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física Têxtil do Departamento de Engenharia Têxtil (DET) da Universidade do Minho e nas instalações do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros - PIEP, no qual também foram realizados os estudos para Análise do Ciclo de Vida do material.

Ensaaios – pesagem tecidos e polímeros

Para melhor determinar o tipo de material e posteriormente o enquadramento dos produtos a serem sugeridos para aplicação foram realizados testes de caracterização física.

Os ensaios selecionados para a análise inicial do material desenvolvido foram determinados tendo como principal fator a busca por um material sólido, resistente e possível de ser utilizado em diversos produtos, como por exemplo, acessórios, design de interiores e mobiliário. A fase de ensaios das propriedades físicas teve como intuito conhecer algumas características do material e auxiliar nas futuras definições de aplicação, de modo a perceber a adequabilidade do uso dos resíduos para o desenvolvimento de produtos em substituição a exploração de novas matérias-primas, assim como futuras melhorias a serem consideradas.

Inicialmente foi feita, no Laboratório de Física Têxtil (UM) com uso de especímetro e balança digital, a medição e pesagem das amostras de denim (ver Figura 64) e dos dois tipos de polímeros (na forma de lâmina/filme) utilizados nos ensaios (ver Figura 65). Os materiais utilizados, tanto o denim quanto os polímeros, possuíam etiqueta de identificação quanto à composição.



Figura 64 - Amostras de denim, respectivamente A1, A2 e A3
(da esquerda para a direita)

Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 65 - Amostras de polímero HDPE e PMMA
(da esquerda para a direita)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Foram utilizadas amostras de 10X10 cm de cada material, a amostra A1 tem espessura de 0,94 mm e massa por unidade de superfície (vulgo gramagem) de 408 g/m²; a amostra A2 tem espessura de 0,95 mm e massa por unidade de superfície de 389 g/m²; e a amostra A3 tem espessura de 0,92 mm e massa por unidade de superfície de 426g/m². Para os polímeros, foram utilizadas amostras de 10X10 de cada material, a amostra de HDPE tem espessura de 0,07 mm e massa por unidade de superfície de 7,3 g/m² e a amostra PMMA tem espessura de 0,11 mm, e massa por unidade de superfície de 91,9 g/m². A tabela com as especificações do material consta no Anexo II (A2.2 – Especificações dos materiais das amostras).

Quanto as propriedades dos materiais, sabe-se pela literatura que, o PMMA possui boas propriedades mecânicas, apresenta alto módulo de elasticidade quando comparado à maioria dos polímeros, assim como boa resistência ao impacto e resistência elevada às intempéries e ao risco. É um material termoplástico com cristalinidade amorfa apresentando aparência semelhante ao vidro. Apresenta transição térmica entre 105° e 160°C. É um material transparente e rígido com 31 Mpa de resistência à tração e 6% de capacidade de alongamento. O PMMA apresenta ainda boa resistência aos raios UV, bom índice de isolamento elétrico e térmico (Mano & Mendes, 1999).

O HDPE possui cristalinidade de até 95% e transição térmica entre 120° e 135°C, possui propriedades mecânicas moderadas e resistência química excelente; ótimas propriedades de isolamento térmico e baixo índice de absorção de água. Em relação à flamabilidade, o HDPE apresenta calor de combustão de 46,0 Kj/g com queima lenta, chama amarela e odor de vela (Machado, 2020). Quanto ao tecido denim, o principal componente utilizado nesta investigação, é desenvolvido a partir da fibra de algodão, a mais importante fibra têxtil natural celulósica; um polímero natural que apresenta como propriedades gerais uma boa resistência mecânica, bom isolante térmico, baixa resistência ao calor (com temperatura máxima suportada de 270°C, testada anteriormente) e alta absorção de umidade (Mano & Mendes, 1999).

Ensaios - Permeabilidade à água, Spray Tester

Para analisar a capacidade de repelir água, foi realizado o ensaio com o aparelho chamado de *Spray Tester*, utilizado para verificar a permeabilidade à água/resistência à chuva (ver Figura 66). A análise quanto ao grau de permeabilidade foi feita tendo como base de referência a norma NP EN29865, que verifica a hidrofobicidade de têxteis por meio do ensaio de chuveiro segundo o método *Bundesmann* ISO 9865:1991, (CT4 Citeve, 1996). O teste em questão pode ser usado para avaliar a efetividade do processo de acabamento para tornar o tecido repelente à água.



Figura 66 - Aparelho *Spray Tester* - permeabilidade à água
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Cada amostra foi colocada no equipamento e ajustada a altura da saída de água (chuveiro) ficando este 15 cm de distância até o ponto de contato da água no centro do material, foram utilizados 250ml de água para cada amostra. Após a exposição à chuva artificial a avaliação quanto a hidrofobicidade ocorreu por meio de comparação visual do material molhado com as fotografias de referência (ver Figura 67). Os graus de referência a serem comparados são:

- Grau 5: escoamento rápido de pequenas gotas;
- Grau 4: formação de grandes gotas;
- Grau 3: as gotas aderem ao provete;
- Grau 2: provete parcialmente molhado;
- Grau 1: provete molhado tanto na superfície exterior como na face interior

Foram testados provetes das amostras DenimHDPE e DenimPMMA.

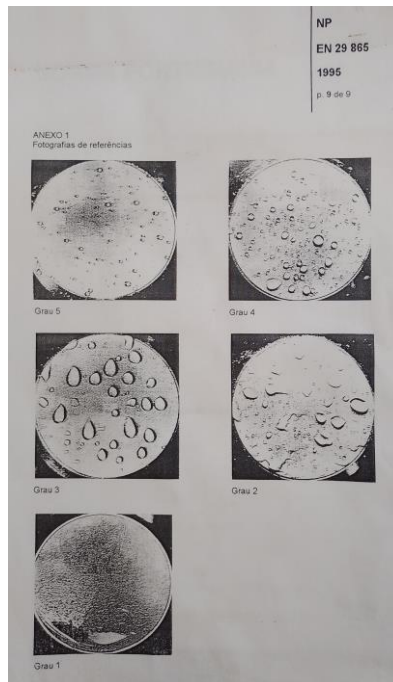


Figura 67 – Fotografias de referência utilizadas para grau de permeabilidade
Fonte: (CT4 Citeve, 1996)

Os resultados obtidos para a amostra feita com polietileno de alta densidade, nomeada DenimHDPE, obtiveram como resultado grau considerado entre 3 e 4 (ver Figura 68). O material apresentou um escoamento rápido da água e não houve transferência de umidade para o material. No entanto, o material apresentou uma leve capacidade e tendência a absorver as gotas que permaneceram na superfície com o decorrer do tempo. O teste demonstra que ele é a prova de respingos e suporta um tempo e um limite de exposição à água, mas não o suficiente para poder ser considerado um material impermeável.



Figura 68 - Amostra DenimHDPE após *Spray Tester*
(considerada grau 3 a 4)

Fonte: Autora, arquivo pessoal

Os resultados obtidos para a amostra feita com polimetilmetacrilato, nomeada DenimPMMA, obtiveram como resultado grau considerado 5 ou impermeável (ver Figura 69). Após o jato de água o material apresentou gotículas pequenas sobre a superfície sem penetração de água em nenhum ponto comprovando ser um material à prova de respingos.



Figura 69 - Amostra DenimPMMA após *Spray Tester*
(considerada grau 5)

Fonte: Autora, arquivo pessoal

Para seguir com os próximos ensaios o material foi cortado em provetes dos tamanhos específico pedido nas normas para a realização dos testes de resistência e flamabilidade. Como o material

apresenta uma espessura e composição específicas os ensaios tiveram as Normas de caracterização apenas como base e são descritos na seção a seguir.

4.2.2 Fase de ensaios – Laboratórios Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros

Ensaios amostras – Resistência e flamabilidade

Após verificar o comportamento do material quanto a permeabilidade à água pelo *Spray Tester*, o material foi encaminhado para a realização de ensaios para verificar a resistência e a flamabilidade (comportamento à chama). Os ensaios foram realizados nas instalações do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros – PIEP.

Ensaio resistência – tração

O ensaio teve como base a norma para tração de materiais plásticos e compósitos plásticos ISO 527 -1/-2 (2012) (*Plastics: determination of tensile properties. Part 1: General Principles e Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*). A ISO 527-2 é um padrão internacional para determinar as propriedades de tração de materiais poliméricos reforçados, os ensaios são realizados em máquina de teste aplicando uma força de tração a uma amostra e medindo várias propriedades do material da amostra sob tensão. Foram utilizados 5 provetes no formato 1A (recomendado para amostras moldadas por compressão), resultando no valor de resistência expresso em Mega Pascal (Mpa), tensão máxima medida em função da largura e espessura.

Para a realização do ensaio de resistência, o corpo de prova no formato indicado pela norma é posicionado entre as maxilas de força do equipamento para a tração (ver Figura 70). Após posicionado, o corpo de prova é tracionado nas extremidades em sentidos contrários; foram feitos ensaios no sentido transversal e longitudinal dos materiais.



Figura 70 - Equipamento para ensaio de resistência
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Segundo a norma, os corpos de prova no formato 1A devem ter medida β de 170 mm, b_2 de 20 mm e h de 4,0 mm (ver Figura 71). A tabela com todas as dimensões indicadas pode ser consultada no Anexo IV (A 4.1 - Dimensões corpos de prova tipo 1A e 1B).

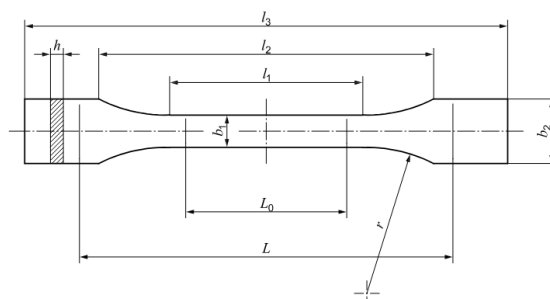


Figura 71 - Formato de provete para ensaio de tração
Fonte: BSI Standards Publication Plastics, 2012

Tendo a norma como base para os ensaios, os materiais apresentaram como resultado os valores apresentados a seguir, Tabela 9 . O relatório completo contendo os gráficos dos ensaios consta no Anexo V (A5.1 Resultados ensaios tração e flamabilidade).

Tabela 9- Resultados ensaio Resistência

Propriedades	DenimHDPE		DenimPMMA	
Propriedade em tração	Direção longitudinal	Direção transversal	Direção longitudinal	Direção transversal
Resistência em tração, 50 mm/min (Mpa)	23,7	7,9	35,7	8,9
Deformação na rotura, 50 mm/min (%)	47,8	24,8	24,1	11,3

Ensaio flamabilidade

Foi realizado o ensaio para verificar o comportamento quanto à chama, para confirmar a velocidade de combustão do material quando exposto ao fogo. O ensaio seguiu a norma UL94 (*Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances*). O ensaio examina a flamabilidade e o comportamento perante o fogo dos materiais poliméricos sendo utilizada para determinar as propriedades relacionadas a flamabilidade de plásticos semirrígidos e moldagem de termoplásticos. O ensaio de flamabilidade UL94 é um parâmetro importante para uso das empresas capaz de testar as características de flamabilidade de componentes poliméricos usados em diversas indústrias.

Foi aplicado o ensaio na posição horizontal (método A), no qual aproxima-se a chama (com cerca de 20mm de altura) do provete a 45° durante 30 segundos, conforme Figura 72.

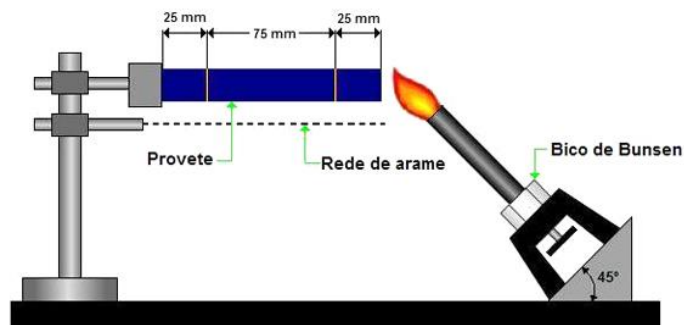


Figura 72 - Ensaio de resistência à chama
(segundo norma UL-94, método A)
Fonte: Caetano, n.d.

Durante o ensaio é verificado o tempo necessário para a combustão atingir a marca de 25 mm (1 polegada) e, se a combustão prosseguir, é analisado o tempo necessário para atingir a marca de 100 mm (4 polegadas).

Ambos os materiais testados (DenimHDPE e DenimPMMA), com 3mm de espessura, obtiveram resultado das amostras de acordo com o critério para a classificação HB da norma UL94, obtendo velocidade de combustão < 40 mm/min (queima lenta e auto extingüível apresentada nos 2 conjuntos de 3 amostras cada).

A classificação HB é atribuída caso sejam cumpridas as seguintes condições (UL Standards, 2001):

- velocidade de combustão menor do que 38 mm/min. (1,5 polegadas/min.), em provetes com espessuras entre 3 e 12,7 mm;
- velocidade de combustão menor do que 75 mm/min. (3 polegadas/min.), para provetes com espessura inferior a 3 mm (0,120 polegadas);
- A combustão deve auto extingüir-se antes de serem atingidos os 100 mm (4 polegadas).

4.2.3 Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida do material desenvolvido foi realizada nas instalações do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros – PIEP. A avaliação dos impactos foi realizada com suporte do *Software SimaPro* (versão 9.4.0.1), utilizando como recurso a base de dados secundária *Ecoinvent* (2023, versão 3.9.1). Como metodologia de avaliação de impactos ambientais foi

utilizada a metodologia de declaração ambiental do produto EPD – *Environmental Product Declaration* (2018, versão V1.04).

A Análise do Ciclo de Vida do material teve como base a norma ISO 14.040 (ABNT, 2009). A norma utilizada teve sua primeira versão em 2006 e a seguir serão descritas as três (3) fases do estudo realizado:

- a) Fase de definição de objetivo e escopo;
- b) Fase de análise de inventário;
- c) Fase de interpretação.

Fase de definição de objetivo e escopo

Definição de objetivo e escopo:

ACV de material desenvolvido com recuperação de resíduo pós-consumo de origem têxtil (denim) e embalagem polimérica (filme) para desenvolvimento de produtos de design. Recuperação de material.

Aplicação pretendida: módulos para revestimento (mobiliário e parede), acessórios de moda (mala, bolsa), objetos decoração etc.

Razões para execução do estudo: estender o fim de vida dos resíduos (recuperação de materiais).

Público Alvo: investigadores, empresas e designers.

Comparativo: com material laminado para revestimento decorativo e com couro bovino.

Fluxo de referência: produzir uma placa com material recuperado 30x15cm (0,045m²) e 1.5mm espessura.

Nome do Produto: placas sólidas de denim.

Identificação do produto: chapas feitas com resíduos de denim e polímeros por meio de compressão à quente.

Descrição do produto: chapas feitas com resíduos pós-consumo de denim e resíduos pós-consumo de sacos plásticos de polietileno de alta densidade e resíduos de produção de polimetilmetacrilato pelo processo de moldagem por compressão à quente. O material destina-se a uma variedade de aplicações tais como superfícies interiores verticais ou horizontais e desenvolvimento de acessórios de moda como bolsas. Onde o design e a aparência do denim podem ser estendidos em novos produtos mesmo após o descarte estendendo o final de vida.

Informações para ACV

Unidade Funcional: A unidade declarada é de 1m² do material acabado com espessura de 1.5mm.

Medidas material acabado: 30x15 cm = 0,045m² com 1.5mm de espessura e peso de 55g (DenimHDPE) e 76g (DenimPMMA).

Espessura do produto: 1.5mm

Dados: secundários obtidos por fonte referenciável (base de dados *Ecoinvent*) quando relacionado à matéria-prima utilizada (material recuperado) e primários quando relacionado a etapa de desenvolvimento do material.

Considerações:

- O material utilizado neste estudo é de escala de produção de protótipo;
- Todo o material disponível no centro de gestão de resíduo têxtil (centro de coleta) já está separado apenas com material denim;
- Entre os resíduos de denim disponíveis são selecionadas apenas calças;
- Como o material é produzido com matéria-prima recuperada (recuperação de resíduos) e muitas vezes não identificada (sem etiqueta), não se tem controle sobre o tipo de denim disponibilizado (composição e gramagem);
- Para a produção do material das amostras (protótipo) foram selecionados três tipos de composições de calças, a seleção foi feita com base nas composições de produção de denim mais frequentes encontradas na amostragem feita no centro de coleta. A tabela consta no Anexo II (A2.1 - Amostragem de calças do centro de recolha de resíduos têxteis). A fibra principal é o algodão e as fibras mais utilizadas nas misturas de composições são o elastano e o poliéster (outras fibras são utilizadas, mas em menor quantidade). Diante disso foram selecionados resíduos de denim 100% algodão, denim 98% algodão e 2% elastano e denim 80% algodão, 15% poliéster e 5% elastano;
- Quanto a gramagem, o denim está considerado como um tecido de gramagem média a pesada, considerando denim utilizado para produção de calças a gramagem varia entre 270 g e 450 g (Audaces, n.d.). O material produzido utilizou resíduos com três gramagens diferentes: 389 g/m², 408 g/m² e 426 g/m². Especificações do material no Anexo II (A2.2 – Especificações dos materiais das amostras);
- A composição da amostra de 30x15 cm e 1.5 mm de espessura utilizada neste estudo tem 7 camadas (3 camadas de denim e 4 camadas de polímero), ou seja, 42,84% denim e 57,16% polímero em cada amostra; como o denim não é 100% algodão a porcentagem é de 39,71% algodão,

2,14% poliéster e 0,99% de elastano e os 57,16% do polímero utilizado para a fusão do material (HDPE ou PMMA);

- Foram feitas amostras utilizando denim e resíduos de HDPE (*high-density polyethylene*) e amostras com denim e resíduos de PMMA (*polymethylmethacrylate*);
- Os resíduos de HDPE são pós-consumo de uso doméstico provenientes de sacos de frutas/legumes de supermercados;
- O PMMA é pré-consumo, resíduo filme proveniente de projetos anteriores e recolhidos do laboratório de compressão da Universidade do Minho;
- O material considerado neste estudo foi desenvolvido apenas com o tecido das pernas das calças, sem utilização de costuras ou bolsos embora haja experimentos de amostras e estudo utilizando maior parte do material;
- Os cortes foram feitos manualmente;
- Sobre o material referente ao têxtil denim recuperado foi utilizada a referência de poliéster reciclado por falta de dados de referência de denim/algodão recuperado na base de dados (o têxtil precisa ser considerado como recuperado neste estudo pois considerando a produção da matéria-prima virgem o cálculo da análise seria como se a matéria-prima tivesse sido produzida especificamente para o desenvolvimento do material em estudo e não uma reutilização e extensão de fim de vida do denim;
- Como material referente ao PMMA recuperado foi utilizada a referência disponível na base de dados de grânulos de material termoplástico reciclado não identificado;
- Foram desconsiderados os gastos de água para o arrefecimento da prensa após compressão do material;
- Os resíduos de denim do processo de produção do material foram considerados como resíduos para incineração, mas já está sendo feito estudo para a reutilização/reciclagem destes resíduos. Costuras e outras partes da calça já estão sendo incluídas no novo material.

Descrição dos limites do sistema: Do portão ao portão (*gate to gate*).

Fronteira do sistema: transporte da matéria-prima (material recuperado) - desenvolvimento material – Acabamento do produto. São considerados as etapas relacionadas a fase “*CORE*” conforme mostra a Figura 73.

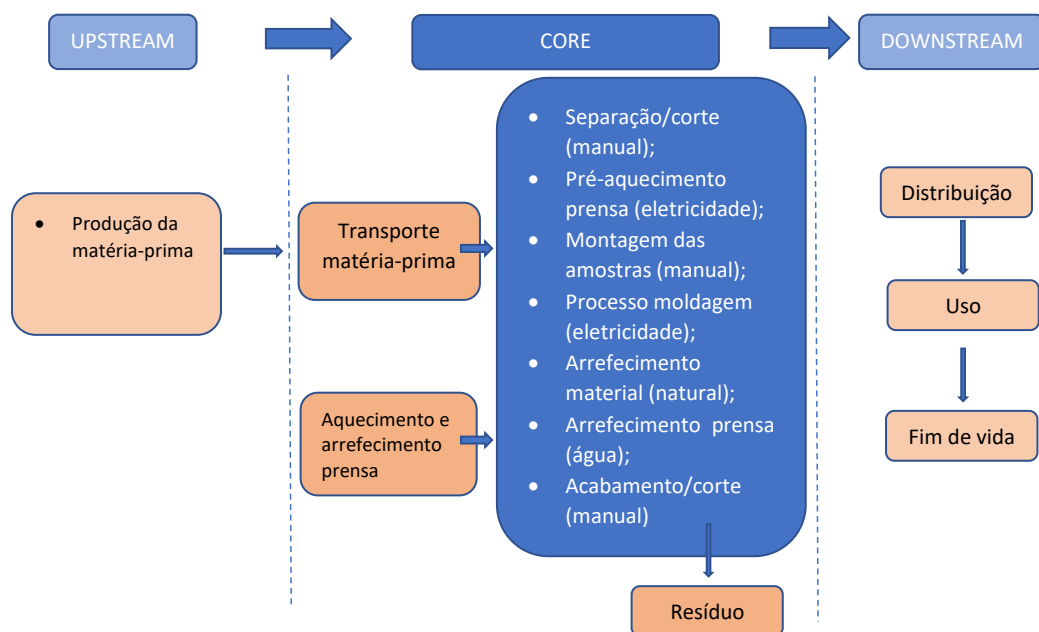


Figura 73 – Fluxograma, Processos desenvolvimento material de investigação
Fonte: Autora

4.2.4 Processo de Avaliação do desempenho ambiental do material

Dados dos Impactes gerados

Material desenvolvido com Denim e HDPE

O material desenvolvido com denim e HDPE apresentou maior impacto na etapa de desenvolvimento, como pode ser observado nas Tabela 10 e Tabela 11 e nos gráficos das Figura 74 e Figura 75, criados a partir dos dados gerados pelo *Software Simapro*. Os dados de entrada constam no Anexo VI (A6.1 Entradas utilizadas no Software SimaPro, material DenimHDPE):

Tabela 10 - Resultado por categoria dos Impactes – Material DenimHDPE

Categoria de impacte	Unidade	Total	Rec. matéria-prima	Processo	Acabamento
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	0,022061695	0,000365524	0,021727991	3,18E-05
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,004579939	5,99E-05	0,004522951	-2,96E-06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,6537599	0,10366549	5,5627179	-0,012623453
Photochemical oxidation	kg NMVOC	0,02268832	0,000704884	0,022029051	-4,56E-05
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	3,06E-07	4,21E-09	3,03E-07	-9,40E-10
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	34,647633	1,3745291	33,767197	-0,49409324
Water scarcity	m3 eq	1,1836695	0,001237932	1,1934558	-0,011024233
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,54E-08	1,78E-09	6,37E-08	-5,48E-11

Tabela 11- Resultado percentual por categoria dos Impactes – Material DenimHDPE

Categoria de impacte	Unidade	Total	Rec. matéria prima	Processo	Acabamento
Acidification (fate not incl.)	%	100	1,66	98,49	-0,14
Eutrophication	%	100	1,31	98,76	-0,06
Global warming (GWP100a)	%	100	1,83	98,39	-0,22
Photochemical oxidation	%	100	3,11	97,09	-0,20
Abiotic depletion, elements	%	100	1,38	98,93	-0,31
Abiotic depletion, fossil fuels	%	100	3,97	97,46	-1,43
Water scarcity	%	100	0,10	100,83	-0,93
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	%	100	2,72	97,36	-0,08
Impacte total	%	100	2,01	98,41	-0,42

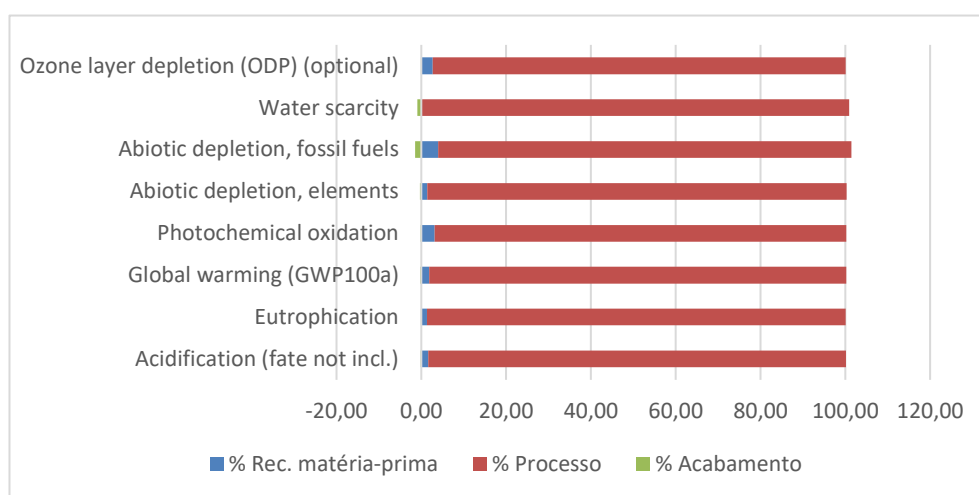


Figura 74 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais por categoria (referente a Tabela 11) - Material DenimHDPE

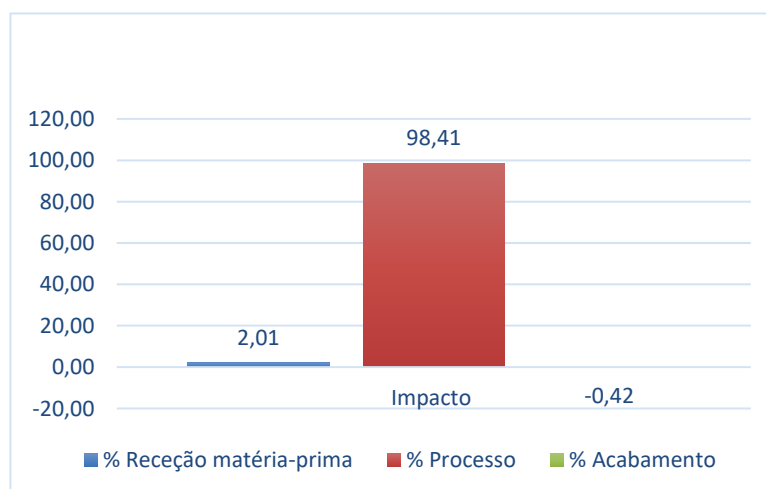


Figura 75 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais por etapa (referente a Tabela 6) - Material DenimHDPE

Material desenvolvido com Denim e PMMA

O material desenvolvido com denim e PMMA também apresentou maior impacto na etapa de desenvolvimento, como pode ser observado nas Tabela 12 , Tabela 13 e Tabela 14 e nos gráficos das Figura 76 e Figura 77 criados a partir dos dados gerados pelo *Software Simapro*. Os dados de entrada constam no Anexo VI (A6.2 Entradas utilizadas no *Software SimaPro*, material DenimPMMA).

Tabela 12 - Resultado por categoria dos Impactes – Material DenimPMMA

Categoria de impacto	Unidade	Total	Rec. matéria-prima	Processo	Acabamento
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	0,019255297	0,000360688	0,022027337	-0,003132728
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,004364376	5,92E-05	0,004572838	-0,000267615
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,0758378	0,10229412	5,6485967	-0,67505303
Photochemical oxidation	kg NMVOC	0,02034455	0,00069556	0,022300721	-0,002651731
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	-1,88E-07	4,16E-09	3,03E-07	-4,96E-07
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	26,391259	1,3563458	34,599121	-9,5642072
Water scarcity	m3 eq	1,0999804	0,001221556	1,2017328	-0,102974
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,59E-08	1,76E-09	6,42E-08	-8,32E-11

Tabela 13- Resultado percentual por categoria dos Impactes – Material DenimPMMA

Categoria de impacto	Unidade	Total	Rec. matéria prima	Processo	Acabamento
Acidification (fate not incl.)	%	100	1,87	114,40	-16,27
Eutrophication	%	100	1,36	104,78	-6,13
Global warming (GWP100a)	%	100	2,02	111,28	-13,30
Photochemical oxidation	%	100	3,42	109,62	-13,03
Abiotic depletion, elements	%	-100	2,21	161,07	-263,28
Abiotic depletion, fossil fuels	%	100	5,14	131,10	-36,24
Water scarcity	%	100	0,11	109,25	-9,36
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	%	100	2,67	97,46	-0,13
Impacte Total	%	100	2,35	117,37	-44,72

Para normalizar os resultados, foi feito o cálculo levando em consideração o pior cenário, ou seja, a etapa de processo de desenvolvimento do material. Este cálculo foi feito dividindo o valor de cada categoria pelo valor da etapa “processo” correspondente (valores da Tabela 12). Como exemplo, na categoria *Acidification*, foi dividido o resultado correspondente na “Rec. Matéria-prima (0,000360688)” pelo valor obtido na etapa “Processo” da mesma categoria (0,022027337), tendo como resultado o valor 2%.

Os valores desta normalização podem ser conferidos na Tabela 14 apresentada a seguir:

Tabela 14 - Normalização do resultado percentual por categoria dos impactos para o pior cenário
(Processo de desenvolvimento do material)

Valores normalizados (para a pior etapa - o processo de desenvolvimento do material)			
Categoria de impacto	% Recepção	% Processo	% Acabamento
Acidification (fate not incl.)	2	100	-14
Eutrophication	1	100	-6
Global warming (GWP100a)	2	100	-12
Photochemical oxidation	3	100	-12
Abiotic depletion, elements	1	100	-163
Abiotic depletion, fossil fuels	4	100	-28
Water scarcity	0	100	-9
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	3	100	0
Impacte Total	2	100	-30

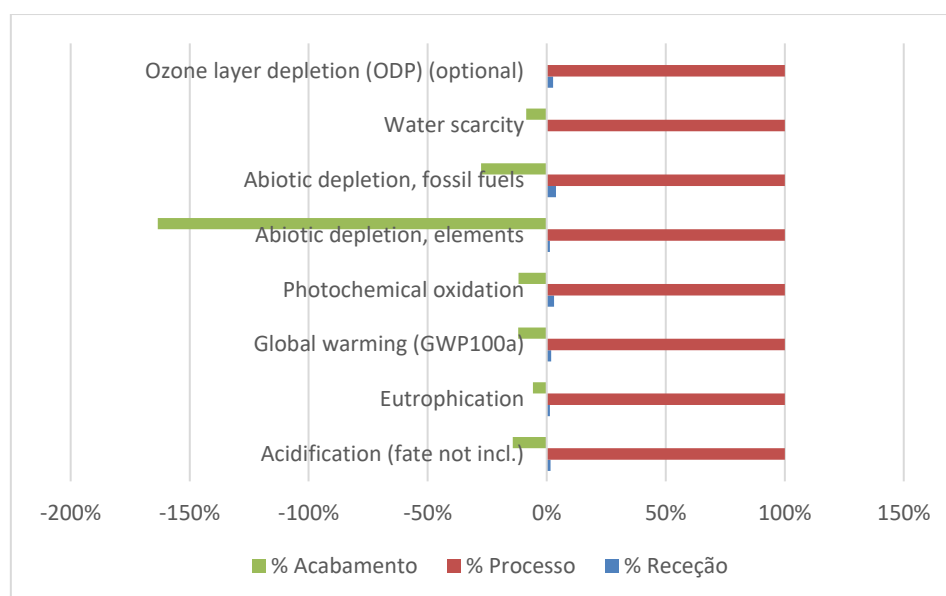


Figura 76- Gráfico gerado sobre os resultados percentuais normalizados por categoria (levando em consideração o pior cenário, referente a Tabela 14) - Material DenimPMMA

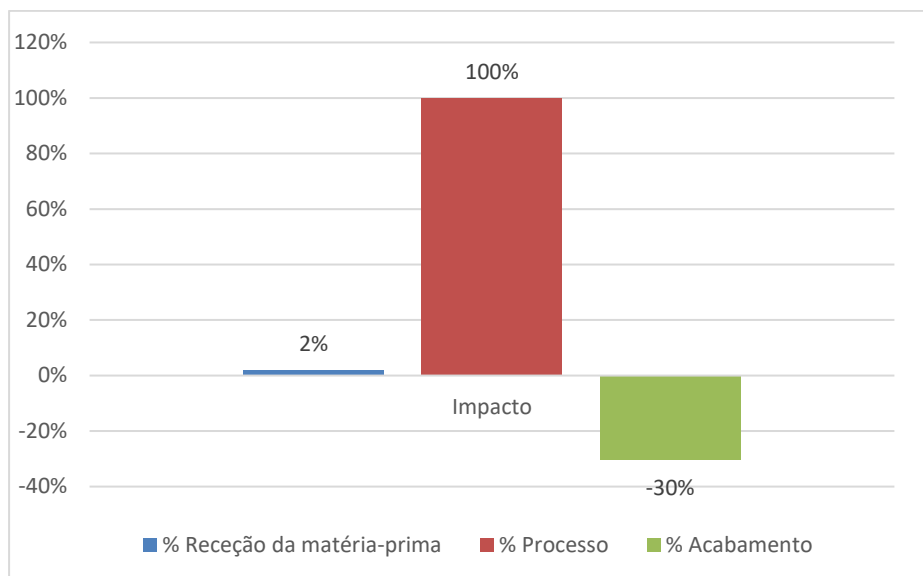


Figura 77 - Gráfico gerado sobre os resultados percentuais normalizados por etapa (levando em consideração o pior cenário, referente a Tabela 14) - Material DenimPMMA

Impactes gerados por etapa

Tanto o material desenvolvido com denim e HDPE quanto o material desenvolvido com denim e PMMA, o maior impacto foi na etapa de desenvolvimento, seguida da etapa de recepção e acabamento do material, como mostra a Figura 78:



Figura 78 - Fluxo dos impactes calculados em ambos os materiais (Denim e HDPE e Denim e PMMA)
Fonte: autora

Na etapa de desenvolvimento do material, a maior parte dos impactos foi devido ao consumo de energia no processo de compressão e pelo fato de terem sido considerados que os resíduos de denim resultantes do processo teriam como fim a incineração (especialmente os descartes das partes com costura que não foram utilizados para as amostras feitas para os ensaios e protótipo). Mais de 60% do impacto gerado no desenvolvimento é proveniente da não reciclagem desses resíduos têxteis. O fluxo

gerado pelo *Simapro* pode ser conferido no Anexo VI (A6.3 ACV - Fluxo etapa de desenvolvimento geradas pelo *Software Simapro*).

Na etapa de recepção, todo o impacto gerado foi relacionado ao transporte, enquanto na etapa de acabamento, os resíduos gerados foram considerados para a reciclagem, representando impactos positivos para o meio ambiente.

O material desenvolvido com denim e PMMA apresentam menor impacto na recepção da matéria-prima devido ao menor uso de combustível para transporte dos resíduos utilizados como matéria-prima. Além disso, tem um impacto positivo maior na etapa de acabamento devido à maior quantidade de resíduos poliméricos considerados para reciclagem.

As imagens do fluxo relacionadas a etapa de desenvolvimento dos materiais, gerada pelo *Software Simapro*, constam no Anexo VI (A6.3 ACV - Fluxo etapa de desenvolvimento geradas pelo *Software Simapro*).

É possível observar os resultados obtidos nos dois materiais desenvolvidos na Tabela 15 e Figura 79, a seguir:

Tabela 15 - Resultados de ambos os materiais desenvolvidos

Resultados dos materiais: DenimHDPE e DenimPMMA

Categoria de impacto	Unidade	DenimHDPE	DenimPMMA
		Total	Total
Acidification	kg SO2 eq	2,21E-02	1,93E-02
Eutrophication	kg PO4--- eq	4,58E-03	4,36E-03
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,65E+00	5,08E+00
Photochemical oxidation	kg NMVOC	2,27E-02	2,03E-02
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	3,06E-07	-1,88E-07
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3,46E+01	2,64E+01
Water scarcity	m3 eq	1,18E+00	1,10E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,54E-08	6,59E-08

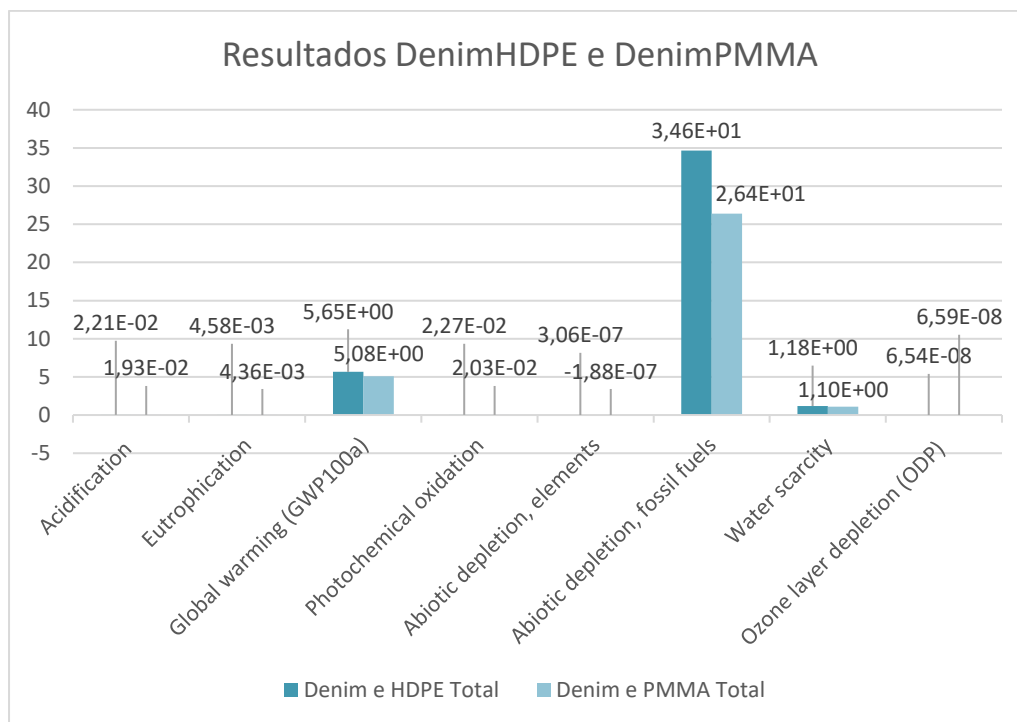


Figura 79 – Gráfico dos resultados dos materiais DenimHDPE e DenimPMMA gerados a partir da Tabela 15

Comparativo com outros materiais de mesma aplicabilidade

Como o material investigado é um compósito desenvolvido com têxtil e polímero termoplástico, suas características não atendem nem aos têxteis nem aos polímeros. Dessa forma, foi feito um comparativo dos materiais desenvolvidos, DenimPMMA e DenimHDPE, com materiais comercializados levando em consideração a aplicabilidade (e espessura semelhantes) e não a composição. Não foram encontrados materiais com a mesma composição do material em estudo com EPD disponível para análise comparativa. Para fazer o comparativo entre os materiais foi levando em consideração apenas as etapas correspondentes ao *CORE* (processamento/fabricação) dos materiais comercializados. Nas EPDs selecionadas para comparação, os materiais estavam com a unidade de Acidificação medidas em Mol H⁺. Antes do comparativo, foi feito o cálculo para conversão dos valores para a unidade KgSO₂ eq (unidade utilizada no estudo). Para a conversão de Mol H⁺ para KgSO₂ foi usada a massa molecular do SO₂ que é 64g/mol, dessa forma, foi multiplicada a quantia de mols pelo valor da massa molar de SO₂ (64g/mol=0,064 Kg/mol):

Conversão mol H⁺ para KgSO₂: massa mol H⁺ x 0,064 kg/mol= valor convertido para KgSO₂.

Considerando que o material desenvolvido com o denim e HDPE apresenta características como flexibilidade semelhante ao couro e que poderia ser utilizado como matéria-prima para desenvolver

produtos como acessórios de moda, foi feito um comparativo entre os impactos gerados pela etapa de desenvolvimento deste material e a etapa de produção do couro, considerando apenas as fases de transporte e processos necessários para a fabricação do couro bovino acabado. O comparativo com o produto nomeado de Couro Aniline (EPD System, 2023), pode ser observado na Tabela 16 e Figura 80 a seguir:

Tabela 16 - Resultado dos Impactes – Comparativo entre DenimHDPE e EPD Couro Aniline
Comparativo DenimHDPE e EPD Couro Aniline

Categoria de impacte	Unidade	Denim HDPE	EPD couro
		Total	Core
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	2,21E-02	2,19E-04
Eutrophication	kg PO4--- eq	4,58E-03	1,95E-04
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,65E+00	1,48E+00
Photochemical oxidation	kg NMVOC	2,27E-02	0,00230
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	3,06E-07	3,28E-06
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	3,46E+01	1,95E+01
Water scarcity	m3 eq	1,18E+00	-2,87E+00
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,54E-08	1,50E-07

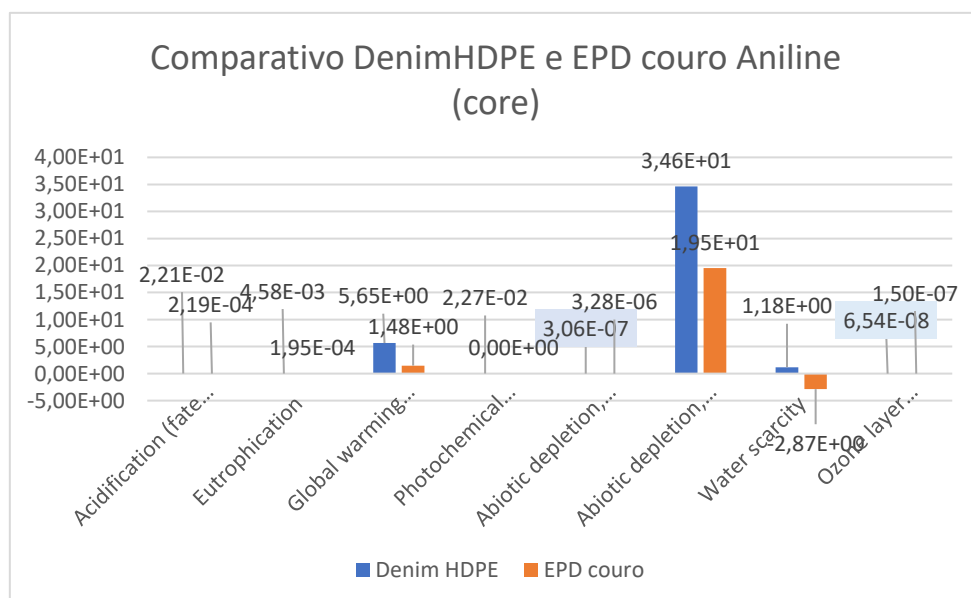


Figura 80 - Gráfico comparativo entre DenimHDPE e EPD Couro Aniline (gerado pela Tabela 16)

Os dados demonstram um menor impacto do DenimHDPE em relação às categorias de depleção da camada de ozônio e potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais.

Considerando o material desenvolvido com o denim e PMMA, que apresenta características como maior rigidez e impermeabilidade e que poderia ser utilizado como material de superfície decorativo (para revestimento de mobiliário e parede, por exemplo), foi feito um comparativo entre os impactos gerados pela etapa de desenvolvimento deste material e a etapa de produção de laminado decorativo, Thin Laminates, considerando apenas as fases de transporte e processos necessários para a fabricação do laminado acabado (The EPD System, 2023). O Thin Laminates é um material laminado de alta pressão fabricado com camadas de material fibroso celulósico e resinas, com espessura especificada entre 0,5 a 1,8mm. Este comparativo serve apenas como meio de analisar os impactos ambientais do material de investigação em comparação com materiais já comercializados. O comparativo pode ser observado na Tabela 17 e Figura 81, apresentadas a seguir:

Tabela 17 -Resultado dos Impactes – Comparativo entre DenimPMMA e EPD Thin Laminates
Comparativo DenimPMMA e EPD Thin Laminates (apenas etapa Core)

Categoria de impacto	Unidade	DenimPMMA Total	EPD Thin Laminates Core
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	0,019255297	0,0015600
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,004364376	0,0000264
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,0758378	1,1900000
Photochemical oxidation	kg NMVOC	0,02034455	0,8930000
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	-1,88E-07	4,22E-07
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	26,391259	43,2000000
Water scarcity	m3 eq	1,0999804	0,4960000
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,59E-08	5,40E-12

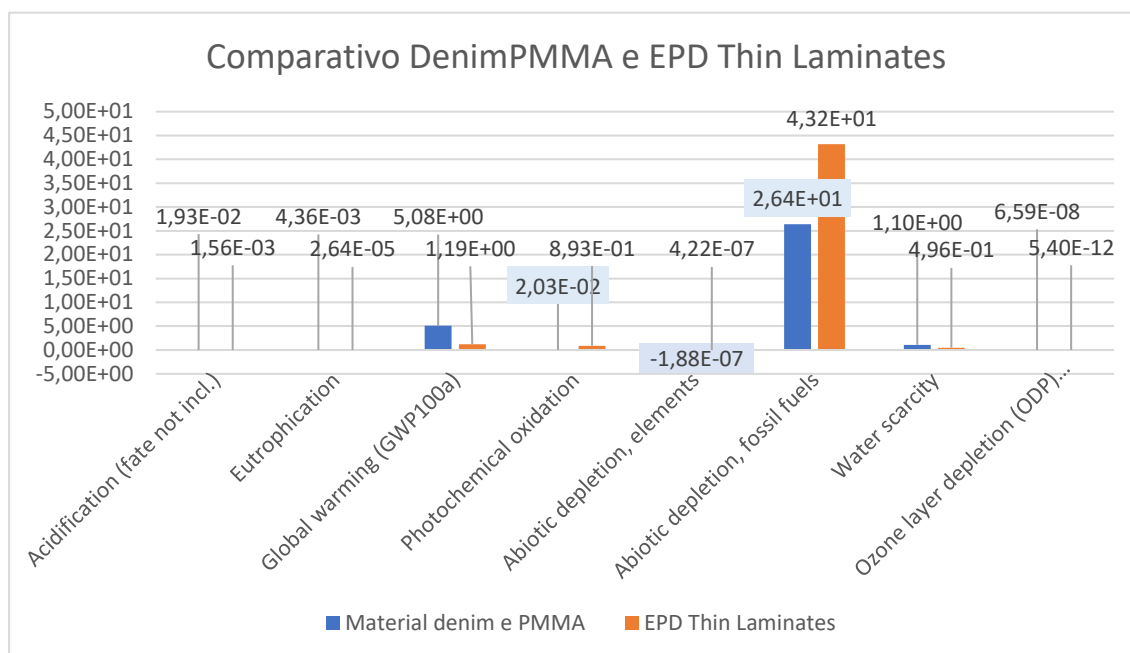


Figura 81- Gráfico comparativo entre DenimPMMA e EPD Thin Laminates
(gerado pela Tabela 17)

Os dados demonstram um menor impacto do DenimPMMA em relação às categorias de oxidação fotoquímica, potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais e de recursos fósseis.

O DenimPMMA foi ainda comparado a outro tipo de laminado decorativo de superfície, o Alu Decor (EPD, 2023), considerando apenas as fases de transporte e processos necessários para a fabricação do laminado acabado. O Alu Decor é um material laminado decorativo de 1mm de espessura composto por camadas individuais de fibras naturais, tratadas com resinas termoendurecíveis e prensadas sob alta pressão. Este produto tem na sua composição alumínio, papel e resina. Este comparativo serve apenas como meio de analisar os impactos ambientais do material de investigação em comparação com materiais já comercializados de mesma aplicabilidade decorativa. O comparativo pode ser observado na Tabela 18 e a Figura 82, a seguir:

Tabela 18 - Resultado dos Impactes – Comparativo entre DenimPMMA e EPD Alu decor

Comparativo DenimPMMA e HPL Alu decor 1mm (apenas etapa Core)			
Categoria de impacto	Unidade	DenimPMMA Total	HPL Alu decor 1mm Core
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	0,019255297	2,28E-03
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,004364376	2,35E-03
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	5,0758378	6,90E+00
Photochemical oxidation	kg NMVOC	0,02034455	2,15E-02
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	-1,88E-07	2,53E-05
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	26,391259	1,04E+02
Water scarcity	m3 eq	1,0999804	1,20E+00
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC-11 eq	6,59E-08	7,72E-07

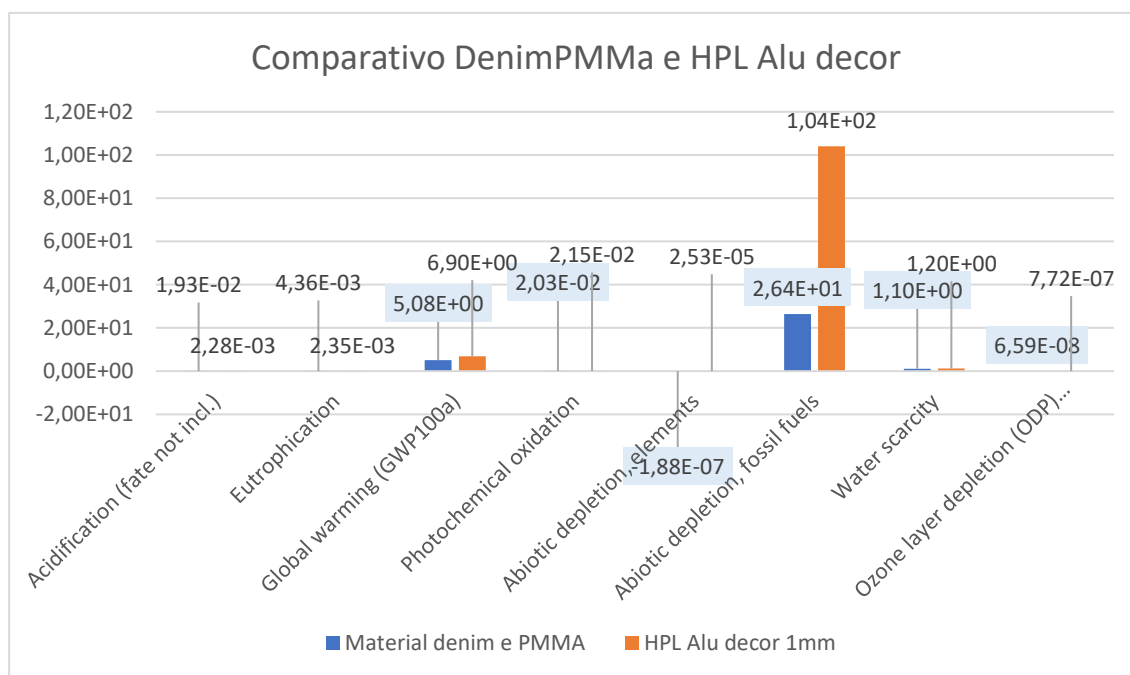


Figura 82 - Gráfico comparativo entre DenimPMMA e EPD Alu decor
(gerado pela Tabela 18)

Os dados demonstram um menor impacto do DenimPMMA em relação às categorias de aquecimento global, oxidação fotoquímica, potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais e de recursos fósseis, depleção da água e depleção da camada de ozônio.

No Capítulo a seguir, serão apresentadas as oportunidades de melhoria para diminuição destes impactos ambientais. As entradas utilizadas no *Software SimaPro* para a Análise do Ciclo de Vida (ACV)

do desenvolvimento do material com denim e HDPE e denim e PMMA podem ser conferidas no Anexo VI.

4.2.5 Desenvolvimento dos protótipos

A seguir, será apresentada a fase de “elaboração”, ou seja, desenvolvimento dos protótipos criados a partir dos materiais desenvolvidos com denim e HDPE e, denim e PMMA.

O material DenimHDPE apresenta uma consistência sólida, acabamento mais rugoso, boa capacidade hidrofóbica e maleabilidade que se assemelham visualmente ao couro (ver Figura 83). Foi então desenvolvido como protótipo deste material um acessório de moda, sugerindo sua aplicabilidade no ramo de Design de Moda, assim como uma luminária, sugerindo a sua aplicabilidade no ramo de Design de Interiores.



Figura 83 – Detalhe da maleabilidade do material DenimHDPE

Fonte: Autora, arquivo pessoal

O material DenimPMMA apresenta uma consistência sólida e uma maior rigidez, assim como acabamento mais liso com maior capacidade hidrofóbica (ver Figura 84). O material se assemelha à materiais laminados utilizados para revestimentos decorativos. Como protótipo deste material, foram desenvolvidas placas multiuso que podem ser aplicadas em revestimento decorativos de parede, mobiliário e objetos de casa no ramo de Design de Interiores. As placas podem ser aplicadas formando diferentes designs de superfície, possibilitando diversos *layouts*.

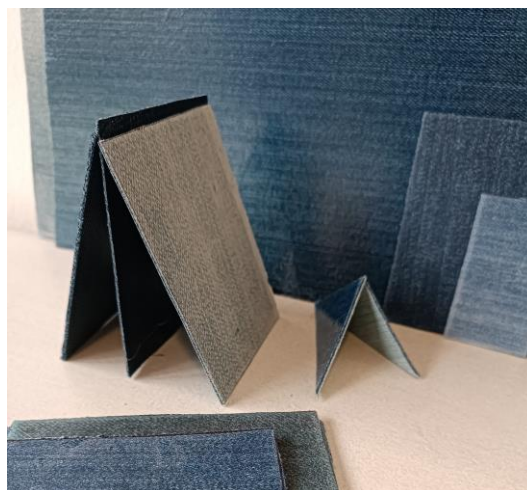


Figura 84 - Detalhe do material DenimPMMA
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Conceito

Com os materiais desenvolvidos e conhecimento de algumas propriedades e características físicas, o conceito de design criado propõe explorar formas e linhas para o desenvolvimento dos novos produtos tendo como base de inspiração o trabalho e as obras de Pablo Picasso (1881-1973). A criação dos protótipos busca explorar formas geométricas, linhas e encaixes.

Pablo Ruiz Picasso foi um pintor espanhol, e também escultor, ceramista, cenógrafo, poeta e dramaturgo, que passou a maior parte da sua vida na França. Entre as obras mais famosas estão *Guernica* e *Les Femmes d'Alger*, esta última em questão teve grande impacto por suas figuras distorcidas e perspectiva fragmentada marcando início de uma nova era na arte moderna. Picasso foi um dos iniciadores do "Cubismo", um dos mais destacados movimentos de arte do século XX. O Cubismo trouxe mudanças e impactou não apenas a pinturas, mas também a escultura, design e arquitetura (Christie's, 2023; Brazil Artes, 2024; Frazão, n.d).

O conceito escolhido engloba duas fases diferentes do artista, a fase cubista com a inovação no campo das artes e inclusão de inúmeras regras geométricas na sua construção e a fase em que o artista se entrega a uma paixão e inclui linhas, cores e formas suaves ao seu trabalho. O pintor sempre expressou suas angústias e estado de espírito em suas obras, costumava dizer que pintava as coisas como as imaginava e não como as via.

A partir de 1906, Picasso começa uma fase em sua pintura na qual passa a pintar obras baseada em formas geométricas, arte que expressa o Cubismo. Em suas obras entre 1909 e 1912, as figuras antes retratadas praticamente deixam de existir apresentando apenas alguns traços esquemáticos.

Surgem com mais evidência as formas e volumes, como na tela “O Poeta” pintada em 1911 (ver Figura 85) (Frazão, n.d.). É uma fase em que o artista Pablo Picasso explora linhas em formas geométricas, com formas e ângulos que se encaixam formando um todo.



Figura 85 – Obra de Pablo Picasso - O Poeta, 1911
Fonte: Frazão, n.d.

Em outra fase do trabalho, Picasso retrata a sua paixão por Marie-Thérèse, nessa fase o artista utiliza cores suaves e introduz linhas em curva que refletem alegria e sensualidade. O romance desencadeou em uma mudança significativa em sua abordagem artística, a pintura “*Femme endormie*”, pintada em 1934 (ver Figura 86), retrata essa fase (Christie's, 2023).



Figura 86 - Obra de Pablo Picasso- *Femme endormie*, 1934
Fonte: Christie's, 2023

Acessório moda e objeto decorativo – protótipo material flexível

Acessório de moda - bolsa

O desenvolvimento da bolsa foi projetado a partir da inspiração nas obras de Pablo Picasso, em especial na fase em que utiliza linhas mais suaves e curvas como mostra a pintura “*Femme endormie*”.

Foram buscadas ainda referências em acessórios de moda e em técnicas de tecelagem manual como macramê e crochê. Como o material utilizado mostra-se flexível e ao mesmo tempo consegue manter sua forma e estrutura, a intenção foi tirar proveito destas características. Linhas e curvas remetem movimento, liberdade, suavidade e feminilidade. O desenvolvimento teve como referências linhas e formas com a intenção de expressar suavidade utilizando curvatura na forma. O desenvolvimento seguiu o painel de inspiração mostrado na Figura 87.



Figura 87 - Painel de Inspiração acessório de moda
Fonte: Autora, imagens da internet

As etapas do desenvolvimento deste protótipo podem ser acompanhadas pelas imagens a seguir, iniciando com o desenvolvimento da bolsa a partir do corte do material. O material DenimHDPE foi cortado manualmente com tesoura, na medida de 20x15cm, e perfurado com perfurador manual à quente em três das quatro laterais. São 51 furos com distância de 1cm entre eles e de 0,5 cm da borda externa (ver Figura 88).



Figura 88 - Material cortado e perfurado com perfurador manual à quente
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Após esse processo, foram separados resíduos de fios de tricô e cortados com medida de 82cm cada, para serem aplicados em cada furo, como mostra a Figura 89.



Figura 89 – Resíduos de fios inseridos nas laterais do material
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Logo a seguir a colocação dos fios, o material foi dobrado ao meio criando uma curvatura. A partir de então, começou a ser feito um entrelaçamento dos fios para o fechamento lateral como mostra a Figura 90.



Figura 90 - Fios sendo entrelaçados para fechamento lateral
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Para o acabamento final, foi feita uma alça aproveitando os fios que sobraram das laterais envolvidos em um fio para acabamento. Para o fechamento superior, foi feito o entrelaçamento de fios na parte superior da bolsa que cobrem a abertura (ver Figura 91).



Figura 91 - Detalhe do acabamento da alça e fechamento superior
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Como resultado final, é apresentada uma bolsa pequena e estruturada que foi toda trabalhada manualmente, sem costuras, e confeccionada com o material desenvolvido e resíduos de fios de tricô (ver Figura 92). O próprio material dá forma sem necessidade de utilizar outros componentes para a estruturas a bolsa. O design buscou explorar curvas, fluidez dos materiais e incorporação de cores.



Figura 92 - Resultado final do protótipo de bolsa feito com material DenimHDPE
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Objeto decorativo – luminária

Ainda fazendo o uso da aplicação deste material menos rígido e uso de formas suaves, aproveitando a capacidade de flexibilidade e potencial de manter certa estrutura, foi feita a simulação da sua aplicação para decoração. O material foi aplicado na simulação de uma luminária decorativa. A imagem foi gerada com o auxílio do *Software Adobe Photoshop*, onde foi aplicada a imagem real do material desenvolvido sobre uma imagem de luminária. O resultado da simulação pode ser conferido na Figura 93. Até que sejam feitos mais teste e melhorias de acabamento, sugere-se seu uso em luminárias decorativas, com utilização de lâmpadas LED.

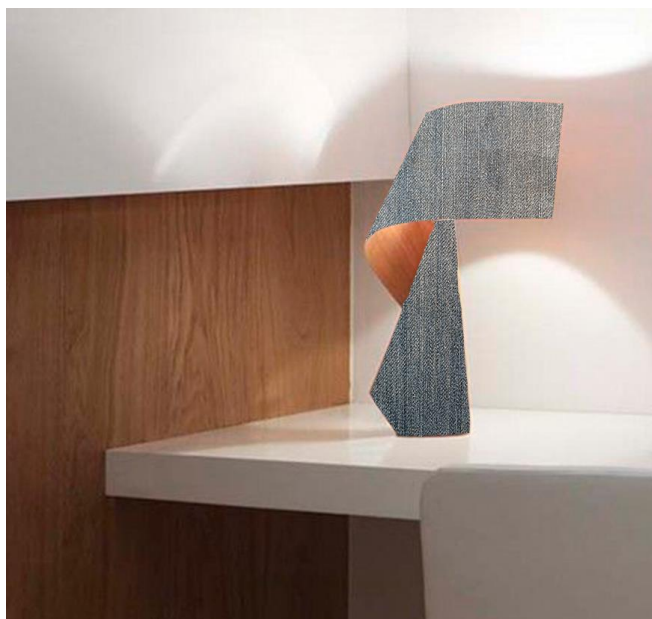


Figura 93 - Simulação virtual aplicação do material em luminária decorativa
Fonte: Autora, imagem modificada da internet

Design Superfície – protótipo material rígido

Placas decorativas modulares

O desenvolvimento das placas é feito a partir da referência do uso das formas geométricas e padrões nas obras de Pablo Picasso na fase cubista, como visto na tela “O Poeta”. Além disso, buscaram-se referências na arquitetura, no design de superfície e na modularidade. Devido à rigidez do material utilizado, a intenção foi explorar essas características e trabalhar com formas geométricas que se encaixam, permitindo inúmeras combinações. Isso possibilita que designers e arquitetos explorem diferentes desenhos de superfície utilizando o mesmo material. O desenvolvimento seguiu o painel de inspiração mostrado na Figura 94.

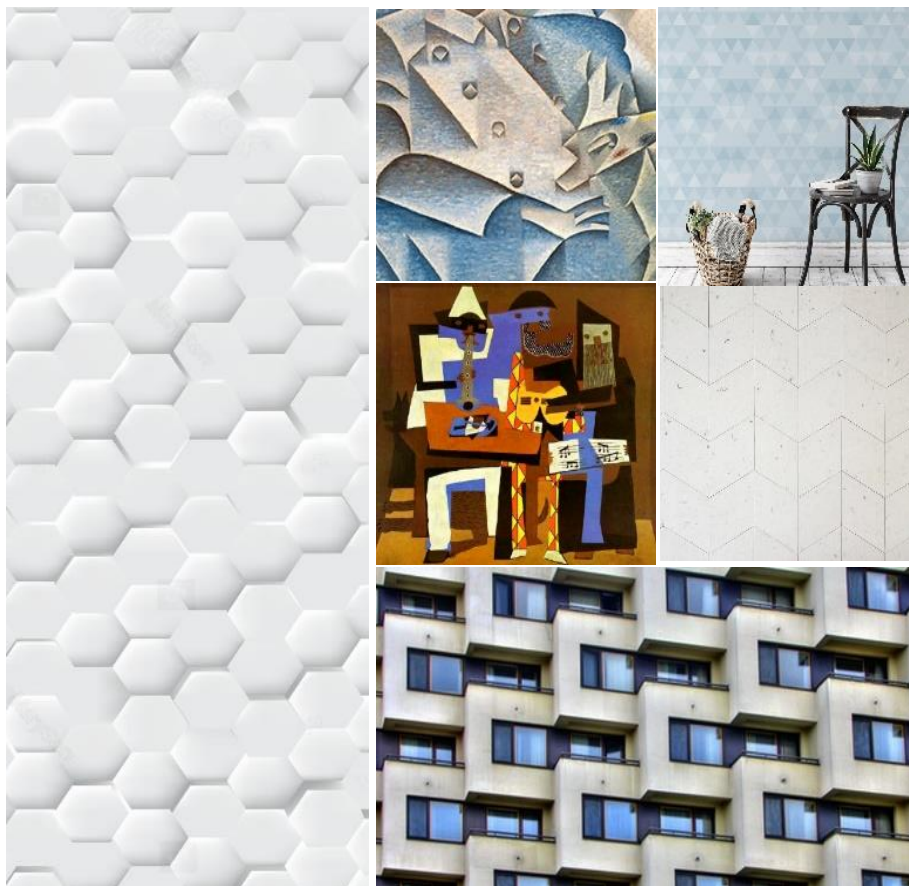


Figura 94 - Pannel de Inspiração Design Superfície
 Fonte: Autora, imagens da internet

As etapas do desenvolvimento do protótipo criado com o material DenimPMMA podem ser acompanhadas pelas imagens a seguir. A Figura 95 mostra as medidas das placas decorativas que foram cortados manualmente com tesoura.



Figura 95 - Medidas material DenimPMMA usado no protótipo
Fonte: Autora, arquivo pessoal

Na Figura 96 pode ser conferida a capacidade hidrofóbica do material e a aparência firme.



Figura 96 - Detalhe do material DenimPMMA
(quanto à maleabilidade e permeabilidade à água)
Fonte: Autora, arquivo pessoal

A partir dos módulos criados, é possível a montagem de diversos designs de superfícies fazendo uso de todas as formas ao mesmo tempo, ou de uma combinação específica entre elas, e repetição de um padrão. A cada combinação dos módulos aplicada, podem ser criados diferentes padrões e proporcionadas inúmeras padronagens. A seguir, exemplifica-se a utilização de algumas combinações

possíveis que podem ser aplicadas com as placas decorativas desenvolvidas para o protótipo (ver Figura 97).

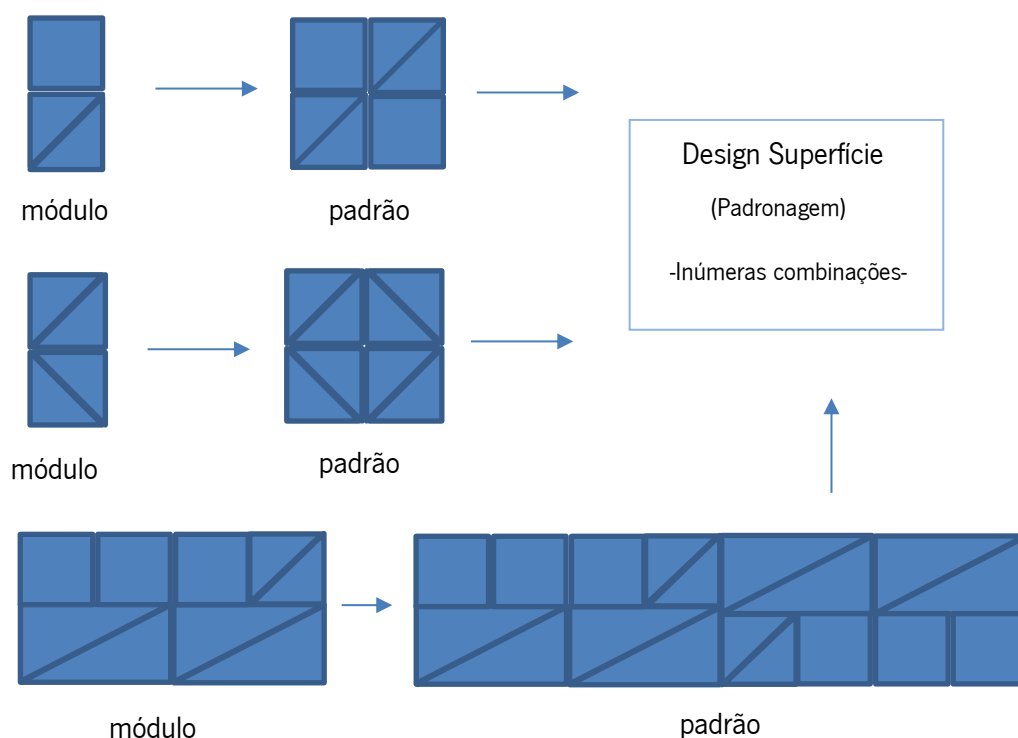


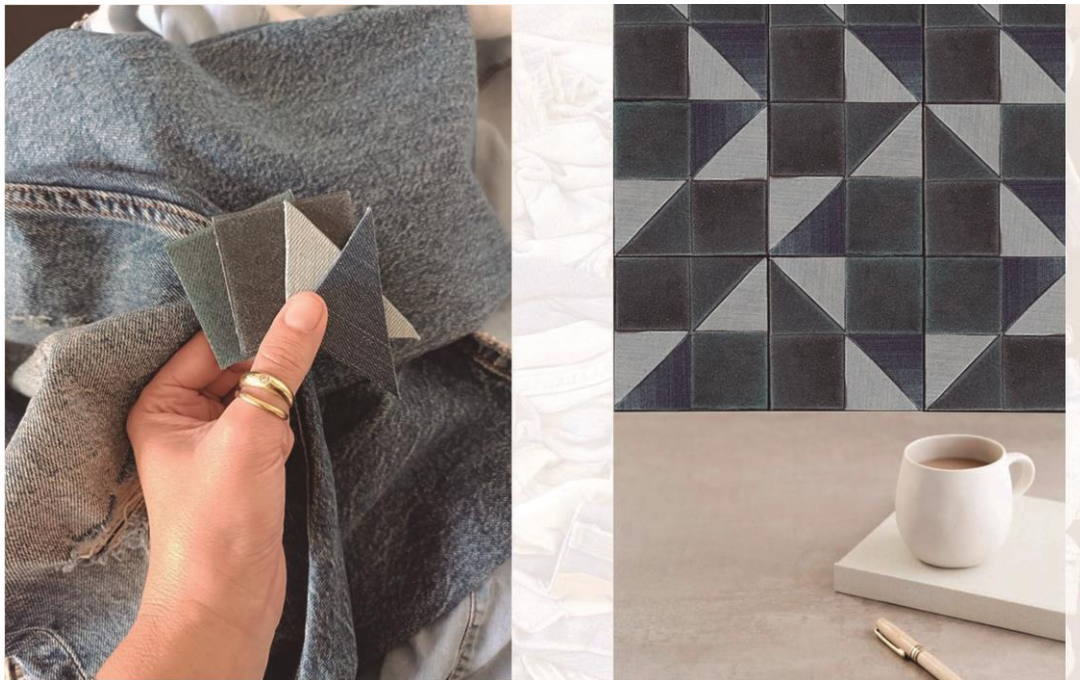
Figura 97 - Exemplos de módulos e padrões com o material de estudo
Fonte: Autora

A aplicação das placas pode ser personalizada, possibilitando a criação de diversas possibilidades de design de superfície. Nesta fase de estudos, o material é sugerido para aplicações decorativas em áreas reduzidas, pois ainda não possui tratamento para melhorar as propriedades de inflamabilidade, conforme ensaio realizado.

Como sugestão de aplicações, foram desenvolvidos os seguintes protótipos: objeto de decoração, como mostra a Figura 98, da bandeja decorativa. Revestimento decorativo de parede, nas Figura 99b e Figura 100. Revestimento de mobiliário, como mostram as Figura 101 e Figura 102b.



Figura 98 - Placas do material aplicados em superfície de bandeja decorativa
Fonte: Autora, arquivo pessoal



a)

b)

Figura 99 – a) Placas do material; b) Placas revestimento decorativo parede
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 100 - Placas utilizadas como decoração de parede
Fonte: Autora, arquivo pessoal



Figura 101 - Placas do material aplicadas como revestimento tampo de mesa
Fonte: Autora, arquivo pessoal



a) b)
 Figura 102 – a) Placas do material; b) Placas revestimento mobiliário
 Fonte: Autora, arquivo pessoal

As Figuras Figura 99b, Figura 100 e Figura 101 foram geradas com o auxílio do *Software Adobe Photoshop*, nas quais foram aplicadas as imagens reais do material desenvolvido como revestimento de parede e de mobiliário, gerando simulações de ambiente com a aplicação do material.

As Figuras Figura 98, Figura 99a e Figura 102a e b, são imagens reais do material sem qualquer intervenção de *software*.

Para os protótipos, foi sugerida a aplicação do material em placas modulares para demonstrar a sua versatilidade no ramo de Design Superfície. No entanto, o material pode ser utilizado em placas inteiras ou em uma combinação entre as duas formas.

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3.1 Análise do processo de compressão dos materiais

O primeiro passo desta investigação foi analisar o comportamento do denim sendo moldado apenas com os polímeros presentes na composição do tecido, especialmente poliéster e elastano, visto que 66% dos resíduos de denim na amostragem do centro de recolha têxtil continham esses materiais. Inicialmente, verificou-se que as temperaturas suportadas pelo algodão não eram suficientes para alcançar o ponto de fusão dos polímeros presentes no denim. O ponto de fusão para tais polímeros está

acima de 200°C, com os melhores resultados entre 260°C e 270°C. Enquanto a fibra de algodão suporta até 200°C, o processo de degradação começa a partir de 150°C. Ao testar as primeiras amostras sem adição de polímeros extras e utilizando altas temperaturas, observou-se baixa fusão dos polímeros presentes na composição, além de danos ao algodão. Também foi constatado que os polímeros presentes, mesmo após a fusão, não eram suficientes para promover uma boa adesão entre as camadas de tecido, que fosse capaz de transformá-lo em um novo material sólido e compacto. O objetivo nesta etapa foi avaliar o comportamento do denim e determinar a quantidade mínima de polímeros necessária para a adesão do material.

Uma nova etapa de testes foi iniciada: a fase de adição de polímeros entre os resíduos de denim. Nestes experimentos, utilizando polipropileno (PP), foram avaliadas principalmente a temperatura e o comportamento do material quando aplicado inteiro ou em retalho, bem como se haveria alteração quanto ao número de camadas de polímero (ou ausência) entre as camadas de denim. Observou-se que a temperatura em 170°C resultava em uma boa fusão do polímero extra, porém ainda era alta para o algodão, ocasionando alteração na coloração e odor do material. Nas amostras feitas com retalhos (ao invés de peças inteiras de denim), foi constatada a necessidade colocação de polímero entre todas as partes dos retalhos para garantir uma melhor adesão entre os materiais.

Novas amostras foram testadas submetendo-as a temperaturas mais baixas: 150°C, 155°C, 160°C e 165°C, por 10 minutos, além de compressão de 30N, 100N, 140N e 200 Newtons. Foram avaliadas amostras com diversas camadas, incluindo camadas de denim duplo e triplo sem polímero entre elas, para analisar se apenas uma camada externa (como cobertura) permitiria que o polímero penetrasse em todo o material.

Após todos estes primeiros ensaios, observou-se a necessidade de sempre haver uma camada de polímero entre as camadas de denim, inclusive entre os pedaços de tecido quando o denim está em retalhos. Nos ensaios realizados, não houve grande alteração na adesão ao utilizar camadas de polímero simples ou dupla assim, assim como não houve diferença significativa ao empregar peças inteiras de polímero ou pequenos pedaços de retalho dispostos aleatoriamente. Quanto à aparência do material, o uso de pedaços de denim ou denim inteiro apresenta algumas variações estéticas.

Não se obteve um resultado satisfatório na fusão do polímero com temperaturas menores de 160°C; esta parece ser a temperatura mínima de fusão com o denim, mas a adesão não foi considerada ideal, pois descola com facilidade. Desta forma, conclui-se que com a temperatura de 165°C proporciona melhor compactação, sendo esta a temperatura estipulada para os próximos ensaios. Observa-se que, mesmo com o ponto de fusão dos polímeros HDPE e LDPE bibliograficamente estipulado entre 115° e

135°C, durante a fase experimental deste estudo (quando moldadas juntamente com o denim) essas temperaturas não foram suficientes para a compactação e adesão entre os materiais.

Quanto à compressão com várias camadas, houve um melhor resultado quanto à compactação com 100N, sendo os 10 minutos o tempo suficiente em todos os ensaios.

Diante disso, seguem mais ensaios utilizando a temperatura de 165°C, com compressão de 100N por 10 minutos e mantendo o denim sempre intercalado com polímero.

Após serem pré-estabelecidos os valores de temperatura e compressão, foram feitos ensaios de novos materiais utilizando mais três diferentes tipos de polímeros reutilizando descarte pós-consumo de sacolas plásticas. São eles: polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno de baixa densidade (LDPE) e resíduos pré-consumo em filme de polimetilmetacrilato (PMMA), também conhecido comercialmente como acrílico e muitas vezes utilizado como substituto do vidro.

Assim como com o polímero PP, foram feitas diversas amostras, com diversas camadas de denim intercaladas pelo polímero, todas submetidas à 165°C de temperatura, por 10 minutos e compressão de 100N. Após a compressão, ambos os materiais (denim e polímero selecionado) estavam compactos e firmes, apresentando boa fusão. No entanto, a amostra com o LDPE apresentou interferência na cor do denim, assim como o material com PP. É importante ressaltar que, para este estudo, todos os resíduos recolhidos do polímero LDPE apresentavam coloração, o que acabou por interferir no resultado final do material.

As amostras feitas com diversas camadas, principalmente aquelas contendo 6, 10, 20 e 30 camadas, apresentaram bastante resistência ao serem cortadas e tiveram um melhor resultado com temperatura de 168°C. As amostras com menos camadas de denim puderam ser cortadas com materiais como tesoura e estilete, no entanto, para as amostras mais espessas foi preciso recorrer a outros recursos, detalhados no Capítulo III desta tese.

Foram testados dois tipos de corte disponíveis na Universidade do Minho: o primeiro foi uma serra fina que, por vezes, danificou o material no momento do corte, desfiando algumas partes da amostra; o segundo foi a guilhotina manual que, além de dificultar a precisão do corte, também danificou algumas amostras mais espessas, como a amostra de 20 camadas. A amostra com 30 camadas não pôde ser cortada em nenhuma das alternativas anteriores.

Tendo todos os fatores sido considerados, a etapa a seguir foi o desenvolvimento das amostras do material que seriam caracterizadas. Os materiais desenvolvidos nesta primeira fase de amostras foram a base inicial do estudo para o desenvolvimento das amostras que foram para a fase de caracterização de algumas propriedades físicas no Laboratório de Física Têxtil da Universidade do Minho

e no PIEP. As amostras desenvolvidas para os ensaios foram feitas com o mesmo material (alterando apenas o tipo de polímero), seguindo a mesma ordem de montagem e sob as mesmas condições de compressão e sem uso de costuras, a fim de criar um material com o mesmo padrão para análise. A caracterização tem o objetivo de conhecer melhor algumas características do material, que deverão ser melhor analisadas futuramente, conforme o tipo de aplicação pretendida.

Para uma melhor análise relacionada ao tipo de material, foram feitas amostras com separação de denim por composição. Foram selecionadas três diferentes composições de denim mais encontradas na amostragem feita no centro de recolha têxtil. Estes dados podem ser conferidos no Anexo II). Esta seleção teve como objetivo simular o uso aleatório e mais provável do denim, considerando os resíduos mais comuns. Em produções futuras de maior escala, os resíduos têxteis pós-consumo serão utilizados aleatoriamente, e muitas vezes poderão não apresentar identificação.

Uma vez definido material e as condições de temperatura e compressão para o desenvolvimento de um material compacto e sólido, a próxima etapa foi fazer amostras para os ensaios. Foram separadas amostras com 3 camadas de denim cada e submetidas à 165°C e 100N de compressão por 10 minutos. Optou-se por utilizar 3 camadas de denim para manter a mesma proporção de denim (quanto à composição) sem prejudicar a etapa de corte do material. As amostras foram feitas utilizando os 3 tipos de denim diferentes e os 4 tipos de polímeros: polipropileno, polietileno de baixa densidade, polietileno de alta densidade e polimetilmetacrilato. No entanto, as amostras feitas com PP e LDPE foram excluídas da próxima fase de ensaios devido à alteração na coloração final do material, o que descaracterizou o aspecto estético do denim. Desde o início deste estudo, um dos objetivos principais foi desenvolver um material sólido, sem processo de desfibragem, que mantivesse a dimensão estética. As sutis alterações de cor observadas ao utilizar PP e LDPE com os resíduos de jeans (que possuem coloração azul) poderiam ser mais pronunciadas se utilizados com resíduos de denim em outras cores, comprometendo significativamente o resultado final desejado nesta investigação. Por esta razão, apenas os polímeros que não interferiram na coloração foram para a próxima fase, sendo submetidos à caracterização apenas as amostras de DenimHDPE, que utiliza 3 camadas de denim com 3 composições diferentes (A1 98%CO+2%E, A2 100%CO e A3 80%CO+15%PES+5%E) intercalado com polietileno de alta densidade, e a amostra DenimPMMA, com as mesmas camadas de denim prensadas com polimetilmetacrilato filme. Quanto à aparência e compactação, os resultados destas amostras foram satisfatórios, passando diretamente para a etapa de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e caracterização do material no Laboratório de Física Têxtil da Universidade do Minho e no PIEP para verificar algumas propriedades.

4.3.2 Análise dos Resultados dos ensaios

Os ensaios feitos no laboratório da UM tiveram o objetivo de avaliar propriedades relacionada à permeabilidade à chuva (capacidade hidrofóbica). No PIEP, foram realizados os ensaios de resistência e flamabilidade, assim como o estudo da Análise do Ciclo de Vida do material.

Quanto ao resultado da permeabilidade à chuva, os dois materiais apresentaram capacidade hidrofóbica. No entanto, o material que utiliza o polímero PMMA apresenta uma melhor capacidade de resistência à respingos quando comparado ao material com polímero HDPE. Ambos os materiais podem ser higienizados com um pano umedecido e/ou expostos à água; a diferença está na capacidade maior de repelir a água da amostra DenimPMMA, que possui um acabamento mais liso e brilhante devido ao uso deste polímero.

Ao serem avaliadas as amostras quanto à resistência, observa-se que as propriedades de resistência em tração do material DenimPMMA são superiores quando testadas na direção longitudinal e, quase não há diferença, em relação ao material DenimHDPE, quando testadas na direção transversal. Com base na norma ISO 527-1/-2, conforme mostra o gráfico da Figura 103, o material DenimPMMA suporta a máxima tração mecânica de 35,7 Mpa, enquanto o DenimHDPE suporta a máxima tração mecânica de 23,7 Mpa no sentido longitudinal.

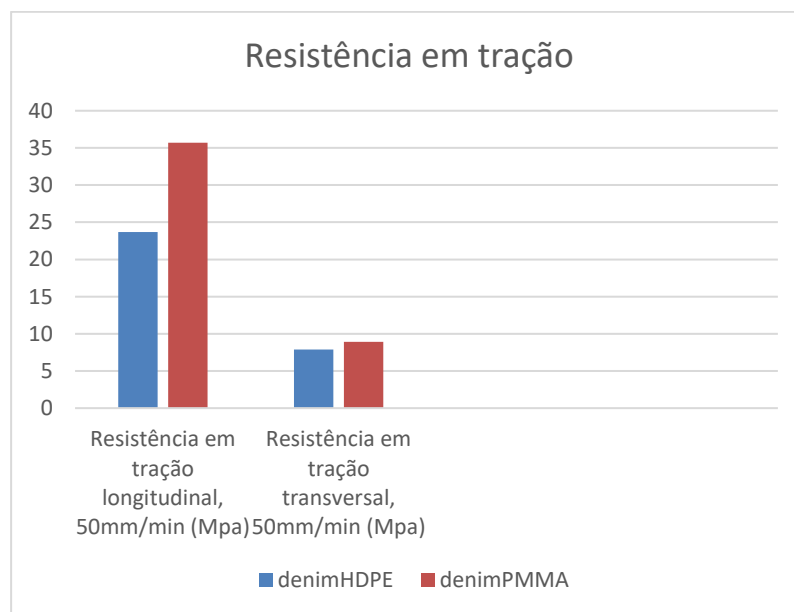


Figura 103 - Gráfico comparação resistência em tração
Fonte: Autora

Em relação à deformação na rotura, o material DenimPMMA apresenta menor capacidade de deformação. Conforme mostrado no gráfico da Figura 104, o DenimPMMA apresenta uma deformação de 24,1% no sentido longitudinal, enquanto o DenimHDPE apresenta 47,8%. Na direção transversal, o DenimPMMA apresenta 11,3% de deformação, enquanto o DenimHDPE apresenta 24,8%. Os resultados completos estão no Anexo V (A5.1 Resultados ensaios tração e flamabilidade).

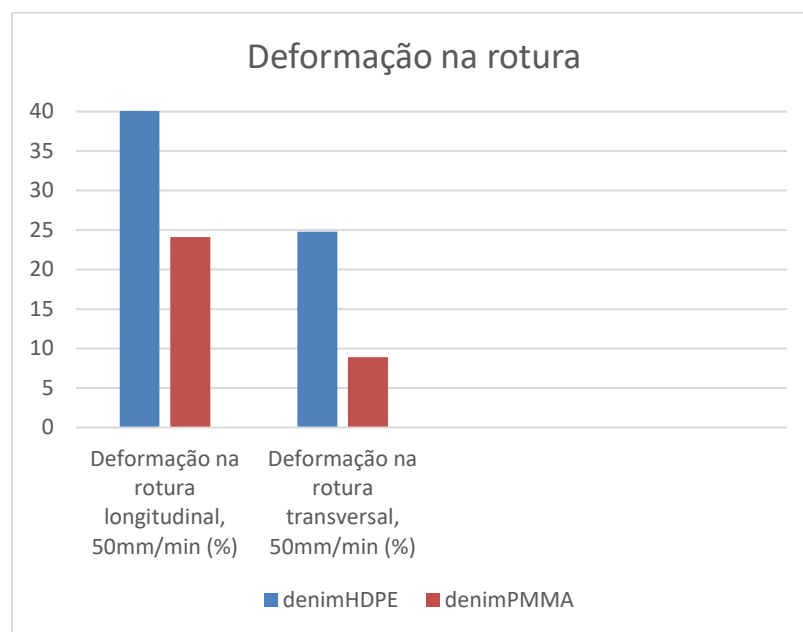


Figura 104 - Gráfico comparação deformação rotura
Fonte: Autora

Quanto ao ensaio de comportamento à chama, de acordo com a norma UL94, ambos os materiais foram classificados como HB, obtendo velocidade de combustão < 40 mm/min, o que indica que os materiais apresentam uma queima lenta, mas não resistem à chama. A classificação HB é atribuída quando o material apresenta a velocidade de combustão menor do que 38 mm/min em provetes com espessuras entre 3 e 12,7 mm, que é o caso dos materiais colocados em teste, que apresentavam 3mm de espessura. Além disso, a combustão deve auto extinguir-se antes de serem atingidos 100 mm do provete.

Na Tabela 19, é apresentado o resumo dos resultados dos dois materiais desenvolvidos, tendo como base as normas citadas.

Tabela 19 - Propriedades dos materiais com base nos ensaios realizados

Propriedade	Norma	Resultado				unidade
		DenimHDPE		DenimPMMA		
Espessura		1,5				mm
Massa específica		0,81		1,12		g/m ³
Resistência em tração	ISO 527-1/-2	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Mpa
		23,7	7,9	35,7	8,9	
Deformação na rotura	ISO 527-1/-2	47,8	24,8	24,1	11,3	%
Comportamento à chama¹	UL94	HB				
Repelência à água	NP EN29865	3 a 4		5		Grau 1 a 5

¹ Espessura do material testado de 3mm; Amostra cumpre com o critério para a classificação HB da norma UL94 (Velocidade de combustão < 40 mm/min)

Com o objetivo de apresentar aqui uma visão mais prática sobre os resultados, fez-se um comparativo entre o material desta investigação e um material já comercializado, o *Rezign Veneer*, da marca *Planq* (Planq, n.d.). Este material já é comercializado no mercado para utilização em revestimento e/ou mobiliário e utiliza materiais reciclados, entre eles a fibra do denim. Diante da ficha técnica do produto, pôde-se verificar que o material comercializado apresenta, em suas informações técnicas, uma resistência à tração de 35 Mpa, a qual foi considerada como um nível de rigidez alto e que a informação referente à capacidade de resistência ao fogo consta como desconhecida.

Diante dos resultados verificados até esta etapa e da aparência do material, foram desenvolvidos protótipos sugerindo o uso do DenimHDPE para acessórios de moda e luminárias decorativas, devido à sua maior flexibilidade e superfície menos lisa; e do DenimPMMA, mais firme e com superfície mais lisa, brilhante e com maior capacidade hidrofóbica, para utilização em Design de Interiores. No entanto, sugere-se que o DenimPMMA seja preferencialmente utilizado em áreas de pequena superfície, devido à ausência de tratamento antichamas, o que compromete o desempenho do material em relação ao fogo; e o uso de lâmpada LED para a luminária decorativa.

Em resumo, foi conferido aos materiais a seguinte ficha para indicação das propriedades (Tabela 20).

Tabela 20 - Propriedades material desenvolvido

Propriedades	Denim HDPE	Denim PMMA
Brilho	fosco	semibrilho
Translucidez	0%	0%
Textura	suave	liso
Rigidez	flexível	média
Resistência à chama	baixa	baixa
Densidade	leve	leve

Dessa forma, foi desenvolvido um novo material capaz de fechar o ciclo e contribuir para a valorização dos resíduos de denim, como ilustrado na Figura 105. O processo engloba a matéria-prima extraída da natureza e utilizada pela indústria da moda. Ao ser descartada após o uso do consumidor, essa matéria não chega ao fim de sua vida, mas inicia um novo ciclo pela utilização desses resíduos na criação de novos materiais e produtos para diferentes setores, que voltam ao uso.

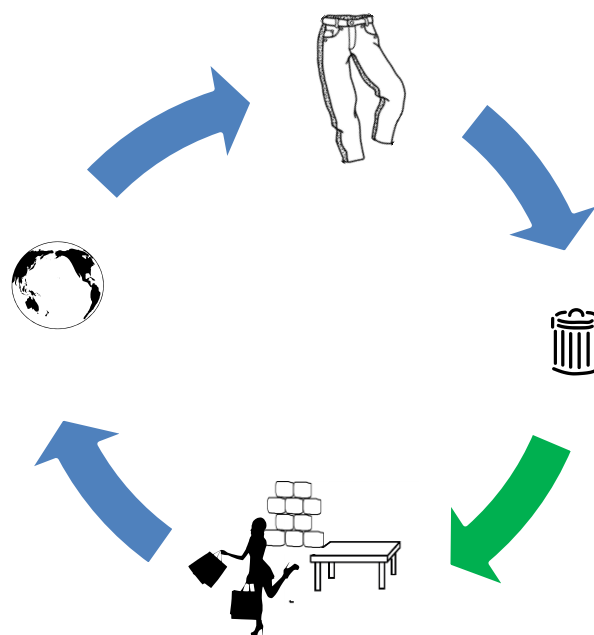


Figura 105 - Esquema circularidade dos resíduos
Fonte: Autora

A produção do novo material, com espessura de 1,5mm, é capaz de reutilizar cerca de 4 calças jeans para o desenvolvimento de cada metro quadrado de laminado pronto para uso na fabricação de novos produtos. Podem ser recolocados no ciclo produtivo mais de 2kg de resíduos têxteis e

aproximadamente de 36 sacolas plásticas para a produção de cada metro quadrado do material final, equivalente a mais de 4m² de descarte polimérico (ver Figura 106).

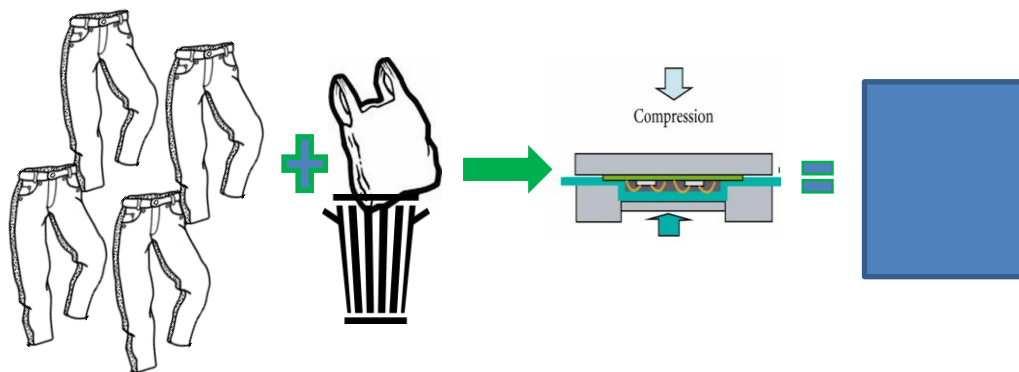


Figura 106 – Esquema valorização de resíduos a cada m²
Fonte: Autora

4.3.3 ACV - Oportunidades de melhoria dos resultados

Quanto à ACV realizada nos materiais e apresentada anteriormente, no subcapítulo 4.2.3 Análise do Ciclo de Vida, foi possível obter uma compreensão mais ampla dos impactos ambientais gerados durante os três estágios do ciclo de vida da produção do material em investigação. Isso permitiu identificar os pontos críticos na cadeia de valor onde oportunidades de melhoria podem ser estudadas. O escopo abrange informações ecológicas divididas nas fases de recepção da matéria-prima, desenvolvimento do material e acabamento, que fazem parte da etapa de desenvolvimento do material.

As soluções que podem ser consideradas como oportunidades de melhoria na etapa de desenvolvimento dos materiais quanto ao consumo energético incluem a utilização de um mix energético com uma porcentagem de energia proveniente de fontes renováveis. Outro ponto importante a considerar é que, ao desenvolver os materiais em maior escala (e não apenas em escala de protótipo, como foi calculado) é possível processar uma quantidade maior de material, o que pode resultar em uma melhor eficiência no consumo energético.

Quanto aos descartes de denim gerados no processo de corte para desenvolvimento do material, já estão sendo estudados e testados materiais que utilizem 100% da matéria-prima, conforme demonstrado nas amostras com costuras apresentadas no Capítulo III, subcapítulo 3.3.4 Desenvolvimento de material utilizando costuras. Na prática, é importante considerar o envio dos resíduos de denim para reciclagem a fim de reutilizar as fibras, o que não foi contemplado nesta ACV e

teve um grande impacto nesta etapa por essa razão. Observa-se que mais de 60% do impacto gerado no desenvolvimento decorre da não reciclagem dos têxteis descartados, sendo consideradas pelo sistema como material destinado à incineração. O fluxo gerado consta no Anexo VI (A6.3 ACV - Fluxo etapa de desenvolvimento geradas pelo *Software Simapro*).

Quanto a etapa de recepção, o transporte foi calculado com consumo de combustível fóssil não renovável. Como alternativa de melhoria, sugere-se o uso de transporte com consumo elétrico.

4.3.4 ACV – Análise do comparativo com outros materiais

Com a aplicação das melhorias mencionadas acima e o desenvolvimento dos materiais em uma escala maior, ao invés de apenas em escala de protótipo como realizado neste estudo, acredita-se que seja possível reduzir significativamente os impactos gerados e, conseqüentemente, as discrepâncias nos resultados entre o material desenvolvido nesta pesquisa (em escala de protótipo) e os materiais considerados no comparativo (já comercializados). Ao realizar a ACV de um material em escala de protótipo, já se esperava um desempenho não totalmente satisfatório; portanto, o objetivo foi identificar os pontos críticos que devem ser considerados para um futuro desenvolvimento em escala maior.

Mesmo considerando o estudo atual feito em escala de protótipo, o material com denim e HDPE apresenta menor impacto em duas categorias quando comparado à mesma fase de desenvolvimento do couro: potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais, que avalia o uso destes recursos e seu potencial de contribuição ao esgotamento, e depleção da camada de ozônio, que se refere a emissão de substâncias capazes de destruir a camada de ozônio.

O material com denim e PMMA apresenta menor impacto em três categorias quando comparado a um dos laminado escolhidos para comparativo (considerando aplicabilidade e espessura): oxidação fotoquímica, que corresponde a formação do ozônio na atmosfera; potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais e fósseis, que avaliam o uso destes recursos e potencial de contribuição ao esgotamento; e seis categorias de menor impacto quando comparado à outro tipo de laminado (considerando usabilidade, espessura e mesma etapa de desenvolvimento): aquecimento global, que afeta diretamente as mudanças climáticas; oxidação fotoquímica; potencial de esgotamento abiótico de recursos minerais e fósseis; depleção da água, que avalia o uso de água; e depleção da camada de ozônio, referente a emissão de substâncias capazes de destruir a camada de ozônio.

4.3.5 VISITA DE ESTUDOS

Durante esta investigação, foi realizada uma visita de estudos em uma das empresas citadas no Capítulo II – Fundamentos Teóricos e Estado da Arte. A empresa DenimX, localizada na cidade de Maastricht, nos Países Baixos, desenvolve pesquisa e produtos por meio do *upcycling* de denim. A empresa utiliza as fibras de denim como matéria-prima para desenvolver uma variedade de produtos. Essas fibras são reaproveitadas para criar materiais com diferentes texturas e propriedades, utilizados desde acessórios de moda até aplicações em decoração e design de interiores.

Durante a visita, foi possível conhecer os materiais, processos e tecnologias empregados pela empresa. A DenimX reutiliza fibras têxteis pré e pós-consumo, além de bioresina, e emprega técnicas como *thermoforming* (termoformagem) e HPL - *high-pressure laminate*. O ácido polilático (PLA - *poly lact acid*), um termoplástico biodegradável proveniente de fontes renováveis, é utilizado juntamente com a base feita das fibras de denim trituradas. O feltro é processado de diversas maneiras para criar novos materiais com propriedades e texturas distintas. Entre as tecnologias aplicadas, destaca-se o HPL, um processo de laminação de alta pressão produzida por impregnação de camadas de papel *Kraft* e resina, sendo um processo comumente utilizado para produção de laminados; e o *thermoforming*, processo geralmente usado para moldar peças e embalagens por meio de aquecimento e modelagem dos materiais.

Assim como neste estudo, o objetivo principal da DenimX é o reaproveitamento de resíduos de denim para desenvolver novos materiais aplicáveis em diversos setores. A empresa valoriza a alta qualidade e estética dos produtos desenvolvidos, ou seja, criar um material com bom apelo estético e útil, mantendo sempre a mesma qualidade. Atualmente, são desenvolvidos três tipos de materiais que podem ser aplicados em acessórios de moda, como bolsas e braceletes, e em arquitetura e decoração de interiores, incluindo painéis acústicos, mobiliário, revestimentos, entre outros.

A empresa está focada em comunicar a qualidade e potencial de aplicação de seus materiais em diferentes setores. Seu objetivo é promover e destacar a estética e qualidade do material desenvolvido, incentivando outras empresas, designers e arquitetos a explorarem o material em novos projetos e aplicações. O foco está no desenvolvimento sustentável e na criação de materiais diferenciados e de alta qualidade e, posteriormente, fazer menção aos materiais utilizados. A empresa não tem como principal objetivo destacar a problemática dos resíduos, mas sim enfatizar a qualidade, aplicabilidade e sustentabilidade dos seus produtos.

A questão dos acabamentos também é crucial, pois cada aplicação demanda diferentes tipos, frequentemente envolvendo o uso de produtos químicos, o que pode reduzir a sustentabilidade do material. Os acabamentos são aplicados apenas quando necessários para garantir as propriedades desejadas. Assim, são realizadas análises e avaliações para determinar quais propriedades e acabamentos são realmente necessários, evitando o uso de processos químicos desnecessários.

Para o desenvolvimento dos materiais, esta investigação concentrou-se no uso de resíduo de denim pós-consumo, sem trituração, resíduos termoplásticos e a técnica de moldagem por compressão. Este estudo e a empresa visitada abordam diferentes tipos de materiais e técnicas, mas mantêm o mesmo foco no desenvolvimento de novos materiais com reuso de denim para diversas aplicações.

Em futuros estudos, o desafio será manter a mesma qualidade dos materiais, seguindo o exemplo da Denimx, que foca na qualidade e estética dos materiais para diferentes aplicações. Reconhece-se a importância dos acabamentos e propriedades específicas, mas não de uma forma generalizada, evitando o uso desnecessário de processos químicos.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

CONCLUSÕES

Ao final desta etapa de estudo, considera-se ter alcançado os principais objetivos, que são, reutilização de resíduos de denim (e resíduos de polímeros) para desenvolvimento de um novo material sólido que mantivesse a identidade estética do tecido denim, sem nenhum processamento das fibras. Evitar o processo de reprocessamento dos materiais foi um dos principais pontos de partida desta investigação, tanto pelo interesse em buscar processos inovadores - uma vez que a maioria dos estudos encontrados faz uso da fibra e não do tecido inteiro - quanto pela intenção de minimizar o gasto energético necessário para o processo de desfibramento do tecido denim.

A intenção de preservar a aparência do denim também surge com o objetivo de demonstrar a origem do material e explorar suas possibilidades em aplicações não convencionais. Isso visa mostrar que o denim possui potencial para diversas aplicações antes de chegar ao fim de sua vida útil, indo além das reutilizações conhecidas, como transformar uma velha calça jeans em outra peça de roupa.

O processo de moldagem do tecido denim com polímeros termoplásticos possibilita a reutilização dos resíduos e o desenvolvimento de um material com uma nova consistência e novas características, como rigidez e capacidade hidrofóbica que permitem a sua utilização em uma variedade mais ampla de aplicações.

A investigação foi sendo conduzida em meio há muitas possibilidades de reaproveitamento, o que não significa falta de percepção dessas oportunidades, mas sim uma forma de delimitar os objetos de estudo. Entre os resíduos de denim, foram selecionados os provenientes de calças jeans, que têm uma produção ainda mais poluente. Dentre os tipos de resíduos, foi escolhido o pós-consumo. A opção pelo termoplástico em vez do biopolímero também se deu devido a gravidade da poluição gerada por este tipo de descarte. Entre os vários tipos de resíduos termoplástico, foram delimitados quatro e, posteriormente, dois foram escolhidos para dar continuidade aos estudos, em razão da dimensão estética desejada. A escolha do tipo de polímero baseou-se nos resíduos disponíveis para esta investigação, sendo conhecidos resíduos de LDPE transparentes e HDPE coloridos.

Durante a realização deste estudo, não foi encontrado na literatura nem disponível comercialmente um material semelhante que permitisse comparações diretas, tanto nos ensaios quanto na Análise do Ciclo de Vida (ACV). O material desenvolvido não se enquadra estritamente como têxtil nem como plástico, e, portanto, normas foram utilizadas apenas como base para as avaliações dos ensaios de caracterização.

Este estudo tem como objetivo valorizar resíduos transformando-os em um novo material aplicável em diversos produtos e setores, com foco no design. Foram conduzidos alguns ensaios para estabelecer uma base do tipo de material desenvolvido. Em futuros estudos, serão necessárias avaliações mais específicas de ensaios e acabamentos para cada aplicação.

Os ensaios realizados permitiram analisar as características do material, destacando sua rigidez, o que possibilita sua aplicação em produtos onde normalmente resíduos têxteis não seriam utilizados. Além disso, o material demonstrou resistência a respingos e uma capacidade de higienização diferente dos tecidos tradicionais. No entanto, é perceptível a necessidade de melhorar sua resistência à chama para ampliar com segurança sua aplicação em uma gama ainda maior de produtos além daquelas sugeridas nesta investigação.

Como o material desenvolvido não foi submetido a nenhum tipo de tratamento adicional e considerando os materiais utilizados, já era esperado que algumas características precisassem de reavaliação e estudo de tratamento posterior. No geral, considera-se ter desenvolvido um bom material com múltiplas aplicabilidades e potencial para continuar sendo investigado e aprimorado no futuro.

Como sugestões de utilização, foram consideradas as características e propriedades do material caracterizado, resultando no desenvolvimento de protótipos voltados para aplicações como acessórios de moda e revestimento decorativo em pequenas áreas.

Como um complemento deste estudo, foi feita a Análise do Ciclo de Vida do material investigado assim como a comparação com outros materiais de aplicabilidade semelhante já comercializados. O material está atualmente em fase de estudo, portanto, a ACV foi conduzida a nível de protótipo, considerando os dados e desenvolvimento durante a fase experimental desta investigação. Na etapa de comparação, escolheram-se materiais com base na aplicabilidade, uma vez que não havia dados de Declaração Ambiental de Produtos (EPD) disponíveis para materiais similares ao investigado.

Ambos os materiais, DenimHDPE e DenimPMMA, apresentaram alguns impactos negativos na ACV, o que era esperado devido aos dados de protótipo e não de produção em maior escala. Outro fator que contribuiu para esses impactos foi o *software* considerar os resíduos gerados para incineração, sem possibilidade de reaproveitamento. O *software* assumiu que os resíduos de denim resultantes seriam destinados à incineração, incluindo os descartes das partes de denim não utilizados nas amostras feitas para protótipo. A ACV considerou as fases de recebimento da matéria-prima, desenvolvimento do material e acabamento.

Conclui-se com esta ACV que, ao ser produzido em maior escala, o material necessitará atenção ao consumo de energia no processo de compressão e ao tipo de combustível utilizado no transporte.

Ao término deste estudo, reconhecemos que há diversas vertentes a explorar neste tema e muitas melhorias que podem ser aplicadas ao que foi desenvolvido até aqui. No entanto, o objetivo geral foi alcançado. Este estudo pode ser considerado uma forma de contribuir para valorizar e reintegrar os resíduos de denim ao ciclo produtivo, aumentando o ciclo de vida desses desperdícios. Ao reinserir os resíduos de denim pós-consumo na cadeia produtiva, conseguimos desenvolver novos produtos reutilizando esses resíduos como matéria-prima. Dessa forma, contribuimos para a redução de gastos na produção de novas matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos. Prolongar o ciclo de vida do denim também colabora para reduzir os danos já causados pela produção deste tecido. Esperamos que este estudo incentive a indústria a atuar de maneira mais proativa na busca pela reutilização de resíduos.

Em resumo, consideramos que esta pesquisa apresenta uma forma de valorização e reintegração de resíduos que pode responder à pergunta inicial: Como o Design Sustentável pode contribuir para aumentar o ciclo de vida de resíduos de denim, através dos paradigmas da sustentabilidade e Economia Circular, para o desenvolvimento de novos produtos?

5.1 ESTUDOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Com base na aparência do material desenvolvido, nos dados gerados após a ACV, nos resultados dos ensaios, bem como nas observações e aprendizados obtidos durante a visita de estudos, foram feitas algumas análises sobre o que deve ser melhorado e/ou investigado nas novas fases de estudos futuros.

Para dar continuidade ao desenvolvimento deste material, é crucial manter sua qualidade e avaliar aprimoramentos no acabamento, como a adição de tratamentos de superfície, por exemplo, para torná-lo seguro em grandes superfícies interiores. A realização de ensaios adicionais, como a capacidade de isolamento acústico, pode complementar a investigação do material, sendo particularmente vantajosa para sua aplicação em painéis acústicos. Da mesma forma, avaliar o comportamento e a solidez da cor quando exposto aos raios UV é crucial para determinar sua aplicabilidade em áreas externas.

O material desenvolvido demonstra potencial para pesquisa e aplicação em diversos produtos e setores, e acredita-se que para cada aplicação devem ser avaliadas as propriedades fundamentais necessárias.

Esta investigação teve como prioridade desenvolver um material para a valorização de resíduos e sugerir seu potencial de aplicabilidade através do design. A análise de algumas propriedades foi feita apenas para estabelecer uma base do tipo de material desenvolvido. A literatura indica que propriedades

como baixa absorção de umidade, bom isolamento elétrico e resistência UV dos polímeros podem ser fatores positivos para o desenvolvimento do novo material, que tem como base principal o algodão. O denim (algodão), por sua vez, possui características opostas a essas mencionadas, mas é um bom condutor térmico e isolante acústico. A combinação dessas propriedades diversas deve ser explorada ao máximo em estudos futuros.

Além disso, explorar o desenvolvimento do material com denim pré-consumo e/ou em outras colorações, e trabalhar uma variedade de designs de superfície criando diferentes layouts com mistura de cores e costuras, aproveitando todas as partes das calças, é essencial. Continuar mantendo o aspecto estético do denim, inclusive mostrando as imperfeições dos resíduos utilizados, permite contar a história deste material transformado de resíduo em um novo produto. A Figura 58, no Capítulo III, subcapítulo 3.3.4 - Desenvolvimento de material utilizando costuras, exemplifica um material que preservou as costuras e o desgaste da calça usada, demonstrando sua origem.

Por último, mas não menos importante, é fundamental desenvolver formas de reciclagem deste material no fim de vida. Durante todo o processo de investigação, tem sido analisada a possibilidade de triturar e utilizar o material em seu fim de vida como componente em pisos e na engenharia civil de maneira geral, questões que deverão ser exploradas em maior profundidade nos estudos futuros.

Parte deste capítulo consta nos seguintes artigos:

Azambuja & Marques (2024). Solid Denim: research on new hydrophobic material obtained from post-consumer denim for product development. CIMODE 2024 – 7º Congresso Internacional de Moda e Design, Itália 2024.

Azambuja & Marques (2025). New Products from Upcycling Denim: Circular Economy and New Materials. Autex 2025 World Conference – Association of Universities for Textiles, Alemanha 2025.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT. (2009). ABNT NBR ISO 14040 : *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípio e estrutura*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABRAPA. (2023, outubro 4). *Abrapa elevou a estimativa de produção da safra de algodão 2022/2023*. Associação Brasileira Dos Produtores de Algodão. <https://abrapa.com.br/2023/10/04/abrapa-elevou-a-estimativa-de-producao-da-safra-de-algodao-2022-2023/>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (n.d.). *Têxteis / Agência Portuguesa do Ambiente*. Recuperado em 17 de dezembro, 2023, de <https://apambiente.pt/residuos/texteis>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2022). *Relatório anual de resíduos urbanos 2022 - Dados sobre resíduos urbanos*. APA. <https://apambiente.pt/residuos/dados-sobre-residuos-urbanos>
- Aiken, K. (2016, setembro 9). *Mosevic Eyewear makes the raddest sunglasses out of unwanted jeans*. HuffPost Life. https://www.huffpost.com/entry/mosevic-denim-sunglasses_n_57c47693e4b09cd22d91cdb0
- Amed, I., Berg, A., Balchandani, A., Hedrich, S., Rölkens, F., Young, R., Jensen, J.E. & Peng, A. (2021). *The State of Fashion 2021*. BoF; McKinsey&Company.
- A Moda pela Água. (2019). *Pegada hídrica Vicunha – A Moda pela Água*. <https://www.modefica.com.br/a-moda-pela-agua-conheca-a-pegada-hidrica-de-uma-calca-jeans/>
- Atualidade Parlamento Europeu. (2018). *PE aprova regras para aumentar reciclagem e reduzir deposição em aterros na UE*. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20180411IPR01518/>
- Audaces. (n.d.). *Como encolher jeans? Entenda os gargalos de desenvolvimento*. Recuperado em 20 dezembro, 2023, de <https://audaces.com/pt-br/blog/como-encolher-jeans>
- Ávila, R. (2021, abril 5). *Repense seus hábitos com os 7 Rs da Sustentabilidade*. Sustentabilidade Agora. <https://sustentabilidadeagora.com.br/os-7-rs-da-sustentabilidade/>
- Azambuja, P. (2018). *Valorização de resíduos têxteis através do Design de Superfície aplicado à Decoração de Interiores* [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Minho.

- Azambuja, P., & Marques, A. (2023, agosto 14). Upcycling of denim discard for development of new material. In *WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities IV*. CRC Press. <http://doi.org/10.1201/9781003345084-62>
- Azambuja, P. de Paula, & Marques, A. (2023). Rethinking Textile Disposal: Reuse of Denim for New Product Development. In A. C. Broega, J. Cunha, H. Carvalho, & B. Providência (Eds.), *Advances in Fashion and Design Research*. CIMODE 2022 (pp. 1-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16773-7_53
- Barbosa, F. L. S., Marinho, L. F. de L., & Moreira, R. N. (n.d.). *O Modelo de Produção Sustentável Upcycling, o Caso da Empresa TerraCycle*. Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 12.
- BCSD Portugal. (n.d.). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o BCSD Portugal. Conselho Empresarial Para o Desenvolvimento Sustentável. Recuperado em 9 novembro, 2021, de <https://www.ods.pt/>
- Brazil Artes. (2024, abril 24). *Pablo Picasso: Cubismo e a Revolução na Arte do Século XX*. Brazil Artes. Recuperado em 29 maio, 2024, de <https://brazilartes.com/pablo-picasso-cubismo-e-a-revolucao-na-arte-do-seculo-xx/>
- BSI Standards Publication Plastics. (2012). *ISO 527-2 Determination of tensile properties Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*.
- BoF. (2021). *The Sustainability Gap - How Fashion Measures Up*. The Business of Fashion Ltda. <https://www.businessoffashion.com/reports/sustainability/measuring-fashions-sustainability-gap-download-the-report-now/>
- Boff, L. (2017). *Sustentabilidade: o que é - o que não é*. Editora Vozes Limitada.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., & Eiger, S. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental - O desafio do desenvolvimento sustentável* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Caetano, M. (n.d.). *Flamabilidade: Ensaios de Resistência à Chama. Ciência e Tecnologia Da Borracha*. Recuperado 23 abril, 2024, de <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-termicas/flamabilidade/ensaios-de-resistencia-a-chama/>
- Campana. (n.d.). *Estudio Campana*. Recuperado 11 junho, 2024, de <http://campanas.com.br/>
- Capgemini Research Institute. (2020). *Consumer Products and Retail: How sustainability is fundamentally changing consumer preferences*.

- Capgemini Research Institute. (2022). *Rethink: Why sustainable product design is the need of the hour*.
- Capgemini Research Institute. (2023). *What matters to: Today's consumer*.
- Capucho, J. (2019, abril 8). *Portugueses deitam fora 200 mil toneladas de roupa por ano*. *Diário de Notícias*. <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/08-abr-2019/portugueses-deitam-fora-200-mil-toneladas-de-roupa-por-ano-10764484.html>
- Cassidy, T., & Han, S. L. C. (2013). Upcycling fashion for mass production. In M. A. Gardetti & A. L. Torres (Eds.), *Sustainability in Fashion and Textiles: Values, Design, Production and Consumption* (pp. 148–163). Routledge, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781351277600>
- CCDR-N. (2020). Economia Circular - Têxtil, agenda regional norte. In *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte*.
- CGD. (2021, outubro 27). *O que vai acontecer aos plásticos de uso único?* Saldo Positivo - Caixa Geral de Depósitos. <https://www.cgd.pt/Site/Saldo-Positivo/Sustentabilidade/Pages/plasticos-de-uso-unico.aspx>
- Chataignier, G. (2007). Fio a fio: tecidos, moda e linguagem (E. das Letras, Ed.). Estação das Letras.
- Christie's. (2023, outubro 23). *The magic of Picasso: the artist's radiant 1934 portrait of Marie-Thérèse Walter*. <https://www.christies.com/en/stories/picassos-portrait-of-muse-marie-therese-walter-reitman-collection-d829c4b4ec324a0ab8846e716b7cb360>
- Clemente, V., Tschimmel, K., & Vieira, R. (2016). Pensamento criativo e crítico no Desenvolvimento de Produto: uma intervenção didática baseada no Design Thinking. *Revista Lusófona de Educação*, 32(32), 75–93.
- Correa, J. S., Primo, J. D. O., Santos, R. R., & Anaissi, F. J. (2018). Resina Poliéster Modificada com Colofônia e Emulsionada por Inversão de Fase. *Revista Processos Químicos*.
- Costa, C. M. da. (2016). *O papel do design na transformação de desperdícios têxteis em matéria-prima* [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Porto.
- CT4 Citeve. (1996). *Norma Portuguesa - EN 29865 (1995) Hidrofobicidade de tecidos*.
- Cuccato, F. C. (2016). *Manual Técnico Têxtil e Vestuário - tecelagem (Vol. 4)*. Senai.
- Cullin, M. (n.d.). *Studio Mia Cullin*. Recuperado 11 junho, 2024, de <https://www.miacullin.com>
- DenimX (n.d.). *DenimX - Smart Upcycling*. Recuperado em 20 junho, 2024, de <https://denimx.nl/>
- Ecoeficientes. (2021). *Nem todos são biodegradáveis! Conheça os diferentes tipos de Bioplástico*. Recuperado em 20 junho, 2024, de <http://www.ecoeficientes.com.br/biopolimeros/>

- Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *Plastics and a circular economy*. Recuperado em 10 abril, 2022, de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/plastics/overview>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future*. Ellen MacArthur Foundation Publications.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completando a figura: Como a Economia Circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas* (Publicação n° 3, pp. 1–62). Ellen Macarthur Foundation Publications.
- Ellen Macarthur Foundation. (2020). *Vision of a circular economy for fashion* (Publicação n° 1, pp. 1–11). Ellen Macarthur Foundation Publications.
- EPD. (2023). *Environmental Product Declaration HPL Alu décor 1mm Homapal By Nemho*. Recuperado em 20 junho, 2024, de www.environdec.com
- EPD System. (2023). *Environmental Product Declaration - Aniline/Finished leather*. Recuperado em 20 junho, 2024, de www.environdec.com
- Equipe eCycle. (n.d.). *Bioplástico: conheça tipos e aplicações*. Recuperado em 20 junho, 2024, de <https://www.ecycle.com.br/bioplastico/>
- EquipeONB. (2015). *Saiba mais quem são alguns dos inovadores sustentáveis*. Organics News Brasil. Recuperado em 20 junho, 2021, de <https://organicsnewsbrasil.com.br/atitudes-sustentaveis/inovacao-tecnologia/web-sustentavel/>
- European Commission. (n.d.). *EU strategy for sustainable and circular textiles*. Textiles Strategy. Recuperado em 17 dezembro, 2023, de https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en?prefLang=pt
- Farias, S. S., Siqueira, S. M. C., Cristino, J. H. S., & Rocha, J. M. (2016). Biopolímeros: Uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. *Revista Geonorte*, 7(26), 61–77.
- Filho, A. J. S., & Sanfelice, R. C. (2018). Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. *Revista Brasileira de Ciencia, Tecnologia e Inovação - RBCTI*, 3(2), 131–148.
- Frazão, D. (n.d.). *Biografia de Pablo Picasso*. EBiografia. Recuperado em 12 junho, 2024, de https://www.ebiografia.com/pablo_picasso/
- Good.Must.Grow. (2020). *Conscious Consumer Spending Index*. <https://goodmustgrow.com/ccsi>
- Guia JeansWear. (2022, fevereiro 28). *Denim segue em ascensão até 2026, diz estudo* - Guia JeansWear. <https://guiajeanswear.com.br/noticias/denim-segue-em-ascensao-ate-2026-diz-estudo/>
- Hasso Plattner Institute of Design. (2024). *An Introduction to Design Thinking - Process Guide*.

- Henninger, C. E., Alevizou, P. J., Goworek, H., & Ryding, D. (2017). Sustainability in Fashion - A Cradle to Upcycle Approach. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51253-2>
- Hitti, N. (2019, março 1). *Sophie Rowley designs marble-like furniture from Bahia Denim*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/03/01/bahia-denim-sophie-rowley-furniture-design/>
- IAPMEI. (2024, março 18). *Novas regras para redução de resíduos alimentares e têxteis na UE*. Agência Para a Competitividade e Inovação. <https://www.iapmei.pt/NOTICIAS/Novas-regras-para-reducao-de-residuos-alimentares.aspx>
- Instituto Akatu. (2020). *Akatu - por um consumo consciente*. <https://www.akatu.org.br/sobre-o-akatu/>
- Instituto Akatu. (2022, abril 11). *Poupe água ao deixar de comprar uma calça jeans*. Akatu. <https://akatu.org.br/dica/poupe-agua-ao-deixar-de-comprar-uma-calca-jeans/>
- Islam, S., El Messiry, M., Sikdar, P. P., Seylar, J., & Bhat, G. (2022). Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from post-consumer recycled denim fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 51(4), 6001S-6027S. <https://doi.org/10.1177/1528083720940746>
- Kent, S. (2022, julho 20). *2nd Edition of Business of Fashion's Sustainability Index – What's New?* China Water Risk. <https://chinawaterrisk.org/interviews/2nd-edition-of-business-of-fashions-sustainability-index-whats-new/>
- Kronka, E. (2023, novembro 7). *Cinco anos de êxito nas exportações brasileiras de índigo e brins*. Dados: IEMI - Inteligência de Mercado. https://pt.linkedin.com/pulse/cinco-anos-de-%C3%AAxito-nas-exporta%C3%A7%C3%B5es-brasileiras-%C3%ADndigo-f8sxf?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card
- Levi Strauss & Co. (2021). *Levis History - Levi Strauss & Co*. Recuperado em 20 junho, 2024, de <https://www.levistrauss.com/levis-history/>
- Luiz, S., & Valentim, A. F. (2021). Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em moda: comparativo entre processos tradicionais e ecológicos. *Projetica*, 12(1), 297–326. <https://doi.org/10.5433/2236-2207.2021v12n1p297>
- Macedo, F. (2023, novembro 10). *Algodão faz tributo ao jeans na São Paulo Fashion Week - Forbes*. Forbes Agro. <https://forbes.com.br/forbesagro/2023/11/algodao-faz-tributo-ao-jeans-na-sao-paulo-fashion-week/>

- Machado, F. (2020, junho 15). *Ciências dos Materiais - Polímeros*. SlideShare. <https://pt.slideshare.net/FelipeMachado33/ciencias-dos-materiais-aula-10-materiais-polimricos-e-suas-aplicaes>
- Mano, B. E., & Mendes, L. C. (1999). *Introdução à polímeros* (2nd ed.). Editora Edgard Blücher Ltda.
- Manzini, E. (2008). *Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais*. E-Papers.
- Manzini, E. (2015). *Cuando todos disenar, una introducción al diseno para la innovación social*. E. Editorial.
- Manzini, E., & Vezzoli, C. (2008). *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. Edusp.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the Way We Make Things* (1st ed.). North point Press.
- McKinsey&Company. (2020). *McKinsey 2020 Global Consumer Sentiment Survey: A tale of two segments*. Consumer Packaged Goods Practice.
- Mendonça, C., Rodrigues, C., Moutinho, V., & Rosa, R. R. (2019, novembro 29). *A pegada da nossa roupa - Moda sustentável*. Público. <https://www.publico.pt/2019/11/29/infografia/pegada-roupa-391>
- Menegucci, F., Marteli, L., Camargo, M., & Vito, M. (2015, agosto 13-14). *Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção*. XI Congresso Nacional de Excelência Em Gestão.
- Menezes, M. dos S., & Silva, M. L. F. da. (2023). *Design Superfície: da teoria à práxis*. Canal 6 Editora. <https://doi.org/10.52050/9788579176173>
- Mertens, K. G., Rennpferdt, C., Greve, E., Krause, D., & Meyer, M. (2022). Reviewing the intellectual structure of product modularization: Toward a common view and future research agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 40(1), 86–119. <https://doi.org/10.1111/jpim.12642>.
- Monteiro, P. A. (2018). *Diagnóstico do consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no Polo Confeccionista de Divinópolis/MG* [Dissertação de Mestrado]. Universidade de Ribeirão Preto.
- Morais, C. C. da C. P. (2013). *A Sustentabilidade no Design de Vestuário* [Tese de Doutorado]. Universidade Técnica de Lisboa.

- Morita, A. M. (2013). *Avaliação de Impactos Ambientais do setor têxtil por meio da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) Estudo de caso: Calça Jeans* [Tese de Doutorado]. Universidade Estadual de Maringá.
- Munari, B. (1981). *Das coisas nascem coisas*. Edições 70.
- Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: why we love (or hate) everyday things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things*. Basic Books Group.
- Nudie Jeans Co. (2023). *Nudie Jeans Sustainability Report 2022*.
- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4th ed.). Eurostat. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- OECD.Org. (2022, fevereiro 22). *Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD*. Organisation for Economic Co-Operation and Development. <https://www.oecd.org/newsroom/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Oliveira, E. A. G. de, Wanderley, R. G., Menezes, M. dos S., & Landim, P. da C. (2013, setembro 9-12). *Reuso de Resíduos Têxteis em Comunidades Artesanais do Agreste Pernambucano*. 9º Colóquio de Moda.
- Oslo, M. de. (2006). *Manual de Oslo - Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação* (3rd ed., p. 184).
- Panucci-Filho, L., Rossato, I. de F., & Henkes, J. A. (2018). O comportamento do consumidor ecologicamente consciente ainda persiste? Proposição a partir de uma escala validada. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(2), 586–612. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018586-612>
- Parlamento Europeu. (2020, dezembro 29). *O impacto da produção e dos resíduos têxteis no ambiente*. Recuperado em 21 dezembro, 2023, de <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20201208ST093327/o-impacto-da-producao-e-dos-residuos-texteis-no-ambiente>
- Parlamento Europeu. (2021, fevereiro 5). *Como alcançar a Economia Circular na UE até 2050?* Recuperado em 19 dezembro, 2023, de <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20210128ST096607/como-alcançar-a-economia-circular-na-ue-ate-2050>

- Parlamento Europeu. (2023). *Economia Circular: Definição, importância e benefícios*. Recuperado em 25 de setembro, 2024, de <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20151201STO05603/>
- Pezzolo, D. B. (2019). *Tecidos: história, tramas, tipos e usos* (5th ed.). Senac São Paulo.
- Pinheiro, B. de P. (2015). *LEVI'S 501: de peça de trabalho a símbolo de comportamento* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Pinsky, V. C., Moretti, Sérgio Luiz do Amaral Kruglianskas, I., & Plonski, G. A. (2015). Inovação sustentável: uma perspectiva comparada da literatura internacional e nacional. *RAI – Revista de Administração e Inovação*, 12(3), 226–250. <https://doi.org/10.11606/rai.v12i3.101486>
- PINTEC. (2013). *Pesquisa em Inovação 2011*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Planq. (n.d.). *Technical Sheet Rezin Veneer*. <https://www.planq.nl/rezin-recycled-veneer?srsId=AfmBOopVDkeZGEUstdnVDf51ogqrk5LuEZYSIbC2TuvyqXBV15hkl8t>
- Rüthschilling, A. A. (2012). *Colagens têxteis: em busca de um Design Sustentável* [Tese de Doutorado]. Universidade de Aveiro.
- Rüthschilling, E. A. (2008). *Design de Superfície*. Porto Alegre.
- Schumpeter, J. (2003). *Capitalism, Socialism & Democracy*. Taylor & Francis e-library. Routledge.
- Sezgin, H., Kucukali-Ozturk, M., Berkalp, O. B., & Yalcin-Enis, I. (2021). Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes. *Journal of Cleaner Production*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127132>
- Silva, Â., & Souto, A. P. (2014). Estudo da substituição do couro pela pele de cortiça para aplicação em calçado/vestuário. *Revista Nova Têxtil*. <https://hdl.handle.net/1822/37039>
- Silva, J. C. R. P., Silva, D. C., Silva, J. C. P., & Paschoarelli, L. C. (2012). *O futuro do design no Brasil* (C. Acadêmica, Ed.).
- Sintex. (n.d.). *A física por trás dos tecidos*. Recuperado em fevereiro 12, 2024, de <https://www.sintex.eco.br/copia-moscas-4>
- Soares, B. de O. (2015). *Da Moda ao Resíduo e do Resíduo à Moda - Um contributo sustentável no uso da pele residual na Indústria do calçado* [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Minho.
- Santos, L. (2005). Técnicas laboratoriais de tinturaria. In *Prodep - Programa de Desenvolvimento Educativo para Portugal: Vol. III*. Ministério da Educação.

- Santos, M. O. (2015). *Sustentabilidade no Design: Uma abordagem aos resíduos limpos das indústrias do calçado* [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Minho.
- Temminck, R., Baghaei, B., & Skrifvars, M. (2018, março). Development of biocomposites from denim waste and thermoset bio-resins for structural applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 106, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.12.011>
- The EPD System. (2023). *Environmental Product Declaration-Thin Laminates (Thin High Pressure Laminates-Less than 2.0mm)*. www.greenlamindustries.com
- Tschimmel, K. (2011). *Processos Criativos - A emergência de ideias na perspectiva sistêmica da criatividade*. Edições ESAD.
- Ulrich, K. T. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419-440. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)00775-3](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)00775-3).
- UL Standards. (2001). *UL 94 - Standard for tests for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances* (5th ed.). Underwriters' Laboratories.
- UNFCCC. (2018, setembro 6). *UN Helps Fashion Industry Shift to Low Carbon*. United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/news/un-helps-fashion-industry-shift-to-low-carbon>
- United Nations. (2015). *A/69/L.85 - Draft outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 development agenda*. <https://sdgs.un.org/documents/a69l85-draft-outcome-document-united-n-21188>
- United Nations. (2021). *Sustainable Development Goals*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- Velicko, A. J., Amrginski, R. L., & Hemkemeier, M. (2020). Alternativas de reutilização de resíduos têxteis. *Research, Society and Development*, 9(11), 1–28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10613>
- Viana, M. A., Lira, E. B. de S., Coelho, C. de P. G., Bezerra, A. P. X. de G., Lorena, E. M. G., & Holanda, R. M. de. (2018, janeiro). Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 3(1), 061–068. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1723.061-068>
- Wang, S., Zhang, T., Zhang, X., Ge, S., & Fan, W. (2022, janeiro). Development of 3D needled composite from denim waste and polypropylene fibers for structural applications. *Construction and Building Materials* 314(7):125583. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125583

Anexos

Anexo I – Pesquisa base de dados SCOPUS

(Estado da Arte)

A1.1 Incidência artigos

Tabela 21 – Incidência de artigos nos termos pesquisados

TERMO: "denim" OR "jeans" AND "recycling" OR "recycled" OR "recycle" OR "reuse" OR "upcycling" OR "upcycled" OR "reciclagem" OR "reciclado"	
Ano	Incidência
2023	10
2022	27
2021	22
2020	18
2019	11

A1.2 Abstracts considerados relevantes

Tabela 22 - Abstract Artigo de estudo 1

Jornal/Revista	Textile Research Journal
Língua	Inglês
Ano	2022 / V 92
Autor(es)	Milda Juciene, Vaida Dobilaite, Darius Albrektas and Raimondas Bliudzius
Título	Investigation and evaluation of the performance of interior finishing panels made from denim textile waste.
Resumo	The problem of textile waste is obvious and relevant, and detailed research into the problem is still lacking. In particular, there is a lack of research on the recycling and reuse of textile waste in such areas as the construction industry. The aim of this research is to develop an interior finishing panel by combining denim textile waste with an eco-friendly binder, to investigate, analyze and evaluate the main physical-mechanical properties of this panel. The investigated panels were made from denim textile waste with different structures for interior decoration. The results have shown that different manufacturing methods provide different sound insulation, and better sound insulation properties were distinguished by a panel made from fabric threads. When assessing the surface hardness of the panels, it was found that a panel made from threads has a higher hardness than a panel made from fabric scraps. Thus, evaluating the results of the performed research, it can be seen that the use of textile waste in acoustic panels is possible, with textile waste as the main component. Scanning electron microscopy analysis confirmed that the strength properties of the panel are closely related to the technology and structure of the panel, and that panels made from scraps have poorer strength and acoustic properties than panels made from threads.
Palavras chaves	Textile waste, acoustic panels, recycling

Tabela 23 - Abstract Artigo de estudo 2

Jornal/Revista	Journal of industrial Textiles
Língua	Inglês
Ano	2022 / V 51
Autor(es)	Shafiqul Islam, Magdy El Messiry, Partha Pratim Sikdar, Joshua Seylar and Gajanan Bhat
Título	Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from postconsumer recycled denim fabrics.
Resumo	One of the key issues of the 21st century is to reduce the rate of continuously increasing environmental pollution from waste generated by human beings. Use of recycled materials and environmentally friendly approaches to manufacturing can be a good way to deal with these challenges. Similarly, sound pollution has been increasing at an alarming rate due to industrialization and modernization. Use of acoustic insulation materials produced from recycled textile waste can play a vital role in reduction of sound pollution while simultaneously helping reduce municipal solid waste. The goal of this study was to evaluate the recycling of used apparels to produce commercially feasible sustainable products using nonwoven fabrication techniques with a biodegradable thermoplastic binder fiber for possible use as acoustic insulation panels. Recycled denim fibers were used with Sorona or a PLA binder fiber to successfully produce sound insulation with good performance properties. Maximum transmission loss of about 24 dB and transmission coefficient close to zero at around 1000 Hz were observed. The data indicated that there is a direct correlation between loss of sound transmission with increase in thickness, areal density and decrease in air permeability. When compared with commercially available acoustic insulation material (gypsum board), these products had better insulation properties, indicating that recycled textile products can be used to produce such value-added materials, giving them another useful life before safely disposing in composting environments.
Palavras chaves	textile recycling, acoustic materials, composites, nonwovens, sound transmission loss

Tabela 24 - Abstract Artigo de estudo 3

Jornal/Revista	Elsevier - Construction and Building Materials
Língua	Inglês
Ano	2022
Autor(es)	Shujuan Wang, Tao Zhang, Xiaolin Zhang, Shengbo Ge and Wei Fan
Título	Development of 3D needled composite from denim waste and polypropylene fibers for structural applications
Resumo	The current study presents a facile yet efficient strategy to the recycling of waste textiles into cost-effective products to reduce environmental pollution. Specifically, the composites were prepared by the denim fibers extracted from the waste denim fabrics and polypropylene fibers through three dimensional needle-punching process and compression moulding. The mechanical properties, 24 h thickness swelling rate and formaldehyde concentration of the developed composites were noted to be better than those of the ordinary high density fibreboard. Overall, the findings from this study demonstrate the successful development of high-performance and low-cost composites as ideal furniture material.
Palavras chaves	Denim waste, recycling, interface performance, mechanical properties

Tabela 25 - Abstract Artigo de estudo 4

Jornal/Revista	Elsevier - Materials Today: Proceedings
Língua	Inglês
Ano	2022
Autor(es)	Aman, Divay Tonk, Kamal Shokeen, D.K. Singh
Título	Development of fire retarding composite board for fire compartmentation application using waste denim: A review
Resumo	This paper represents a comprehensive review work to understand the utter need to recycle denim waste and its use as a structural member with good mechanical and fire retardant properties for compartmentation under Passive Fire Protection systems. At present the amount of denim waste recycled is very small as compared to what is landfilled and studying the rate of denim waste generation and its associated problems there is certainly a scope for new effective denim waste recycling methods. This paper includes an intensive review on the best present fire retardant and mechanical properties improving methodologies for denim fabrics. Despite the fact that denim fabric is virtually entirely made of cotton (99%), the spinning process increases the LOI value from 18.5 percent (cotton) to 20.1 percent (denim). Various compositions, formulations, and application tactics of various fire retardants, such as boron-based, phosphorus-based fire retardants, and so on, were investigated to improve the composite's fire retardancy upto 89 percent. To considerably improve the physical and mechanical characteristics of the composite, different composite manufacturing processes such as film stacking, compression molding, resin transfer molding, vacuum infusion, hand lay-up, and hot pressing method were investigated. According to the findings, denim based composite boards have huge potential for fire compartmentation application. This paper provides the direction towards development of such boards which will not just help in denim waste management but also provide important component of passive fire protection for much needed building fire safety.
Palavras chaves	Waste denim, fire retardancy, mechanical strength, fire compartmentation

Tabela 26 - Abstract Artigo de estudo 5

Jornal/Revista	Elsevier – Cleaner Production
Língua	Inglês
Ano	2021
Autor(es)	Hande Sezgin, Merve Kucukali-Ozturk, Omer Berk Berkalp, Ipek Yalcin-Enis
Título	Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes
Resumo	The aim of this study is to produce high value-added composite materials by combining textile and packaging waste from two different sectors. Waste denim fabric was used as the reinforcement material, while polypropylene and polyethylene bottle caps, food, and cleaning containers were used as the matrix material for the production of composite panels. These composite panels were investigated in terms of air permeability and thermal and acoustic insulation behavior. The results indicate that the developed textile-based composite panels are applicable as commercial support materials and offer improved thermal and acoustic insulation properties. The developed composite material provides sound transmission loss up to 8 dB, and improves the thermal resistance value up to 0.11 m²oC/W. On the other hand, the flame retardant property of this composite material should be tested and developed at the point of applicability as an insulation material.
Palavras chaves	Denim waste, Recycling, Packaging waste, Composite, Thermal resistance, Acoustic performance

Anexo II – Materiais, composição e especificações

A2.1 - Amostragem de calças do centro de recolha de resíduos têxteis

Tabela 27 - Composição da amostragem de calças recolhidas
Amostragem: 15 calças jeans

Composição	Gramagem (g/m ²)	Quantidade de calças	% na amostragem
99%CO 1% E	336 / 360	2	13%
100% CO	389/367/380/393/400	5	33%
98%CO 2%E	408/329/373	3	20%
80%CO 15%PES 5% E	305/426/510	3	20%
82%CO 16% PES 2% E	305/298	2	13%

66% denim descartado contém E e/ou PES

(CO) algodão / (E) elastane / (PES) poliéster

A2.2 – Especificações dos materiais das amostras

Tabela 28 - Especificação dos materiais utilizados para desenvolvimento amostras

Material	Composição	Gramagem (g/m ²)	Espessura (h)
Denim A1	98% algodão 2% elastano	408	0,94
Denim A2	100% algodão	389	0,95
Denim A3	80% algodão 15%poliéster 5% elastano	426	0,92
HDPE	Polietileno de alta densidade filme	7,3	0,07
PMMA	Polimetilmetacrilato filme	91,9	0,11

Anexo III – Amostras

A3.1 – Composição das amostras iniciais com polímero extra (PP)

Tabela 29 - Variações iniciais temperatura amostras (PP)

Amostra polímero extra	Composição (Denim e Polipropileno)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
1.2	3 camadas de denim intercaladas com camada simples de polipropileno	3 CO + 2 PP	170	30	Fusão/algodão alterado
1.3	3 camadas de denim intercaladas com camada dupla de polipropileno	3 CO + 4 PP	170	30	Fusão/algodão alterado
1.4	3 camadas de retalhos de denim intercalados com camada simples de polipropileno	3 ReCO + 2 PP	170	30	Fusão/algodão alterado
1.5	3 camadas de denim intercalados com camada simples de retalhos de polipropileno	3 CO + 2 RePP	170	30	Fusão/algodão alterado
1.6	2 camadas de denim duplo intercaladas com 1 camada simples polipropileno	2CO+PP+2CO	150	30	Sem fusão
1.7	3 camadas de denim e uma camada de polipropileno sobre o denim	3CO+PP	150	30	Sem fusão
1.8	2 camadas de retalhos de denim intercalados com 1 camada simples polipropileno e mais 1 camada de PP sobre o denim	ReCO +PP ReCO + PP	150	30	Sem fusão
1.9	2 camadas de denim intercalados com camada dupla de PP e camada dupla em retalhos de polipropileno sobre o denim	CO+2PP+CO+2PP	150	30	Sem fusão
1.10	denim intercalados com PP	CO+PP+CO	160	30	Fusão mas descola
1.6.1	Idem amostras 1.6, 1.7, 1.8, 1.9		165	30	Boa fusão se polímero entre camadas de denim. Boa cobertura mas alteração cor
1.7.1					
1.8.1					
1.9.1					
1.6.2 1.7.2 1.8.2 1.9.2	Idem amostras 1.6, 1.7, 1.8, 1.9		160	30	Fusão mas descola facilmente
1.11	3 camadas retalhos de denim intercaladas PP e finalizado PP duplo	ReCO+PP ReCO+PP ReCO+2PP	160	30	Fusão mas descola facilmente
1.12	Idem 1.9, finalizando com retalhos de PP	CO+2PP+CO+2RePP	155	30	Sem fusão completa

Denim_ algodão (CO)/ Polipropileno (PP)/ Retalhos de denim (ReCO)/ Retalhos de polipropileno (RePP)

Tabela 30 - Variações iniciais compressão amostras PP

Amostra Polímero extra	Composição (Denim e Polipropileno)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
1.13	12 camadas denim, intercaladas com PP e mais 1 camada de polímero sobre o denim	12 CO+ 12PP	160	100	Sem fusão 100% bordas descolando facilmente mesmo com maior compressão
1.13.1	Idem 1.13	12 CO+ 12PP	165	200	Boa fusão mas marcas de compressão em excesso
1.14	3 camadas denim intercaladas polímero e polímero antes e depois do denim	3CO+ 4PP	165	100	Boa adesão e boa cobertura, alteração cor
1.15	7 camadas de retalhos de denim intercalados com PP	7ReCO+7PP	165	150	Boa fusão marca no material
1.16	20 camadas de denim intercaladas com PP mais 1 camada de polímero sobre o denim	20 CO+20PP	165	140	Fusão ruim e pouca adesão
1.16.1	Idem 1.16	20 CO+20PP	168	140	Boa fusão
1.17	Idem 1.14		165	30	Boa fusão, adesão menor que com 100N
1.18	6 camadas de denim intercaladas com PP mais 2 camadas de polímero sobre o denim	6 CO+8PP	165	100	Boa fusão camada dupla PP não altera fusão nem cobertura, alteração cor
1.19	10 camadas de denim intercaladas com PP mais 2 camadas de polímero sobre o denim	10 CO+ 12PP	165	100	Boa fusão camada dupla PP não altera fusão nem cobertura, alteração cor
1.30	30 camadas de denim intercaladas com PP mais 1 camada de polímero sobre o denim	30 CO+30PP	168	140	Boa fusão, boa cobertura, alteração cor

Denim_algodão (CO)/ Polipropileno (PP)/ Retalhos de denim (ReCO)

A3.2 – Composição das amostras iniciais com polímero extra – HDPE/LDPE

Tabela 31 - Variações iniciais amostras HDPE e LDPE

Amostra Polímero extra	Composição (Denim e polietileno)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
2.1	10 camadas denim intercaladas com HDPE mais 1 camada de polímero sobre o denim	10 CO+ 11HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura (cor inalterada)
2.2	10 camadas denim intercaladas com LDPE mais 1 camada de polímero sobre o denim	10 CO+ 11 LDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura (alteração de cor)
2.3	Costuras das calças dispostas em espiral entre camadas de LDPE	Disposição aleatória	168	120	Compacto, boa fusão e estética mas altera aparência do denim
2.4	Idem 2.1		135	100	Pouca aderência
2.5	Idem 2.2		140	100	Fusão, pouca aderência
2.6	3 camadas de denim intercalados com camada simples de retalhos de LDPE	3 CO + 2 ReLDPE	160	100	Fusão, pouca cobertura (alteração de cor)

Denim_algodão (CO)/ Polietileno de alta densidade (HDPE) polietileno de baixa densidade (LDPE) /Retalhos de LDPE(ReLDPE)

A3.3 – Composição das amostras iniciais com polímero extra – PMMA

Tabela 32 - Variações iniciais amostras PMMA

Amostra Polímero extra	Composição (Denim e polimetilmetacrilato)	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
3.1	6 camadas denim intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	6 CO+ 7 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
3.2	3 camadas denim intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	3 CO+ 4 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
3.3	2 camadas denim com costuras intercaladas com PMMA mais 1 camada de polímero sobre o denim	2CO+3 PMMA	165	100	Firme, boa fusão e boa estética Superfície plana, boa cobertura
3.4	Idem 3.2		160	100	Fusão, pouca aderência

Denim_algodão (CO)/ Polimetilmetacrilato (PMMA)

A3.4 – Amostras para ensaios

Tabela 33 - Amostras para ensaios e protótipo

Amostras	Composição	Camadas	Temperatura °C	Compressão (N)	Resultado após 10 min
Amostras com 3 camadas – ensaios e protótipos					
DenimHDPE	3 camadas denim intercaladas com HDPE entre camadas de HDPE	3 CO+ 4 HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura
DenimPMMA	3 camadas denim intercaladas com PMMA entre camadas de PMMA	3 CO+ 4 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura
Amostras com 6 camadas - ensaios de flamabilidade					
DenimHDPE	6 camadas denim intercaladas com HDPE entre camadas de HDPE	6 CO+ 5 HDPE	165	100	Boa fusão, boa cobertura
DenimPMMA	6 camadas denim intercaladas com PMMA entre camadas de PMMA	6 CO+ 5 PMMA	165	100	Boa fusão, boa cobertura

Denim algodão (CO)/ Polietileno de alta densidade (HDPE) /Polimetilmetacrilato (PMMA)

Anexo IV – Dimensões corpos de prova, Norma ISO 527-2

A 4.1 - Dimensões corpos de prova tipo 1A e 1B

Tabela 34 – Dimensões 1A e 1B corpos prova

Dimensions in millimetres

	Specimen type	1A	1B
l_3	Overall length ^a	170	≥150
l_1	Length of narrow parallel-sided portion	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	Radius	24 ± 1	$60 \pm 0,5$
l_2	Distance between broad parallel-sided portions ^b	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
b_2	Width at ends	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Width at narrow portion	$10,0 \pm 0,2$	
h	Preferred thickness	$4,0 \pm 0,2$	
L_0	Gauge length (preferred)	$75,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
	Gauge length (acceptable if required for quality control or when specified)	$50,0 \pm 0,5$	
L	Initial distance between grips	115 ± 1	115 ± 1

^a The recommended overall length of 170 mm of the type 1A is consistent with ISO 294-1 and ISO 10724-1. For some materials, the length of the tabs may need to be extended (e.g. $l_3 = 200$ mm) to prevent breakage or slippage in the jaws of the testing machine.

^b $l_2 = l_1 + [4r(b_2 - b_1) - (b_2 - b_1)^2]^{1/2}$, resulting from l_1 , r , b_1 and b_2 , but within the indicated tolerances.

Anexo V – Ensaios PIEP

A5.1 Resultados ensaios tração e flamabilidade

PIEP
Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros
Universidade do Minho, Campus de Fouzê, 4800-058 Guimarães
t: (+351) 253 510 096; f: (+351) 253 510 099
e-mail: geral@piep.pt
www.piep.pt

Descrição das amostras recebidas:

1. Laminado Denin + HDPE;
2. Laminado Denin + PMMA.

O presente relatório refere-se aos resultados dos ensaios de tração, de acordo com a norma ISO 527-1/-2, e de comportamento à chama, de acordo com a norma UL94.

Devido à tipologia de amostra não foi possível realizar os ensaios de flexão e determinar o módulo de elasticidade em tração.

Tabela 1 – Resultados obtidos com as amostras disponibilizadas

Propriedades	Laminado Denin + HDPE		Laminado Denin + PMMA	
	Direção longitudinal	Direção transversal	Direção longitudinal	Direção transversal
Propriedades em tração (ISO 527-1/-2) ⁽¹⁾				
Resistência em tração, 50 mm/min (MPa)	23,7 (1,5)	7,9 (1,5)	35,7 (1,2)	8,9 (0,7)
Deformação na rotura, 50 mm/min (%)	47,8 (2,4)	24,8 (0,8)	24,1 (2,4)	11,3 (1,6)
Comportamento à chama (UL94) ⁽²⁾	HB		HB	

⁽¹⁾ Devido à tipologia de amostra não foi possível determinar o módulo de elasticidade em tração

⁽²⁾ Amostra cumpre com o critério para a classificação HB de norma UL94 (Velocidade de combustão < 40 mm/min)



Os resultados apresentados referem-se exclusivamente aos itens ensaiados. Os resultados aplicam-se à amostra conforme rececionada. A amostragem e a incerteza associada são da responsabilidade do cliente.
É expressamente proibida a reprodução parcial deste relatório sem expressa autorização do PIEP.

Pág. 1 de 2
PIEP Mod. 070.2

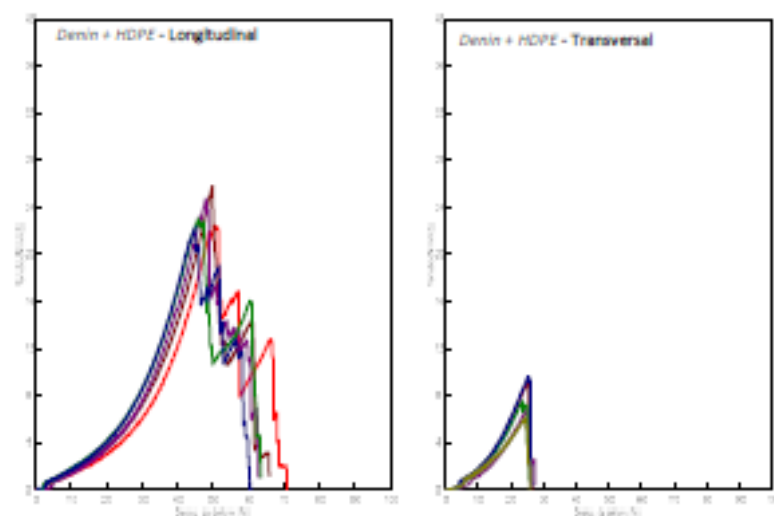


Figure 1 – Curvas tensão versus deformação obtidas com os ensaios de tração amostra Laminado Denim + HDPE.

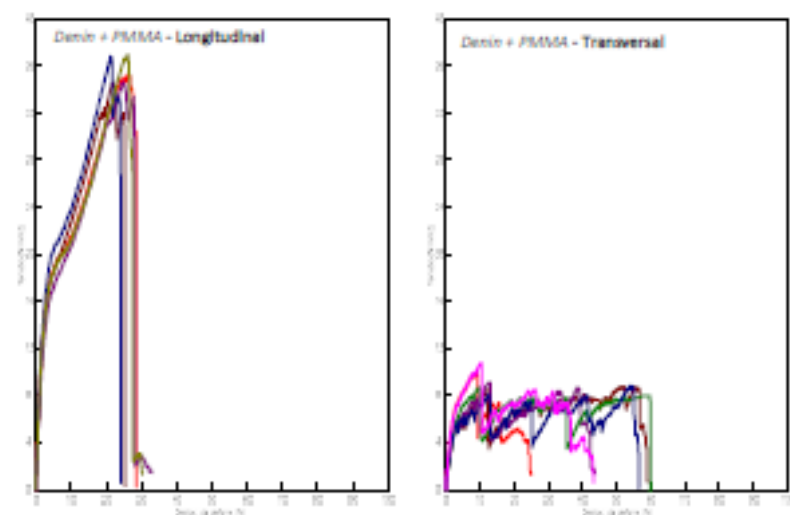


Figure 2 – Curvas tensão versus deformação obtidas com os ensaios de tração amostra Laminado Denim + PMMA.

Anexo VI – ACV, entradas e saídas *Software SimaPro*

A6.1 Entradas utilizadas no *Software SimaPro*, material DenimHDPE

Tabela 35 - Entradas e Saídas utilizadas no *Software SimaPro* - Material DenimHDPE

INPUTS	Quantidade	Unidade
Transporte matéria-prima: Transport, freight, light commercial vehicle {Europe without Switzerland} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	65,01	KgKm
Matéria-prima Denim recuperado Fibre and fabric waste, polyester {GLO} fibre and fabric waste, polyester, Recycled Content cut-off Cut-off, U	5832	g
Matéria-prima HDPE recuperado Waste polyethylene, for recycling, sorted {Europe without Switzerland} market for waste polyethylene, for recycling, sorted Cut-off, U	15,08	g
Consumo energético Electricity, medium voltage {PT} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	6,81	kWh
OUTPUTS	Quantidade	Unidade
Resíduos denim: Waste textile, soiled {RoW} treatment of waste textile, soiled, municipal incineration Cut-off, U	4608,3	g
Resíduos HDPE PE (waste treatment) {GLO} recycling of PE Cut-off, U	7,78	g

A6.2 Entradas utilizadas no *Software SimaPro*, material DenimPMMA

Tabela 36- Entradas e Saídas utilizadas no *Software SimaPro*- Material DenimPMMA

INPUTS	Quantidade	Unidade
Transporte matéria-prima: Transport, freight, light commercial vehicle {Europe without Switzerland} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, U	64,152	KgKm
Matéria-prima Denim recuperado Fibre and fabric waste, polyester {GLO} fibre and fabric waste, polyester, Recycled Content cut-off Cut-off, U	5832	g
Matéria-prima PMMA recuperado Plastic granulate, unspecified, recycled {IN} market for plastic granulate, unspecified, recycled Cut-off, U	172,57	g
Consumo energético Electricity, medium voltage {PT} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	6,81	kWh
OUTPUTS	Quantidade	Unidade
Resíduos denim: Waste textile, soiled {RoW} treatment of waste textile, soiled, municipal incineration Cut-off, U	4608,3	g
Resíduos PMMA PMMA (waste treatment) {GLO} recycling of PE Cut-off, U Patricia	80,67	g

A6.3 ACV - Fluxo etapa de desenvolvimento geradas pelo *Software Simapro*

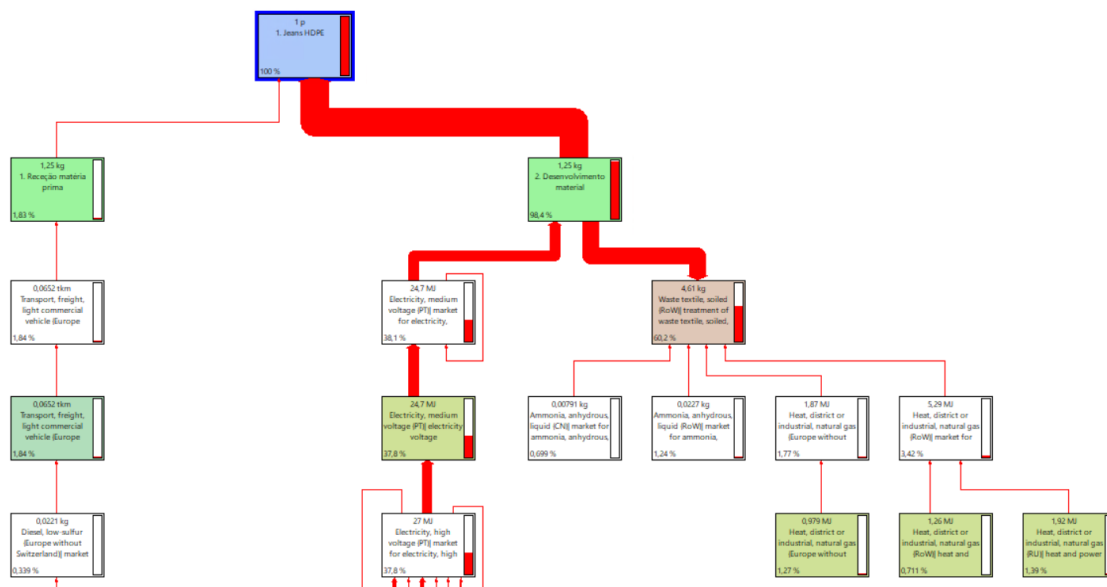


Figura 107 - fluxo etapa desenvolvimento material DenimHDPE

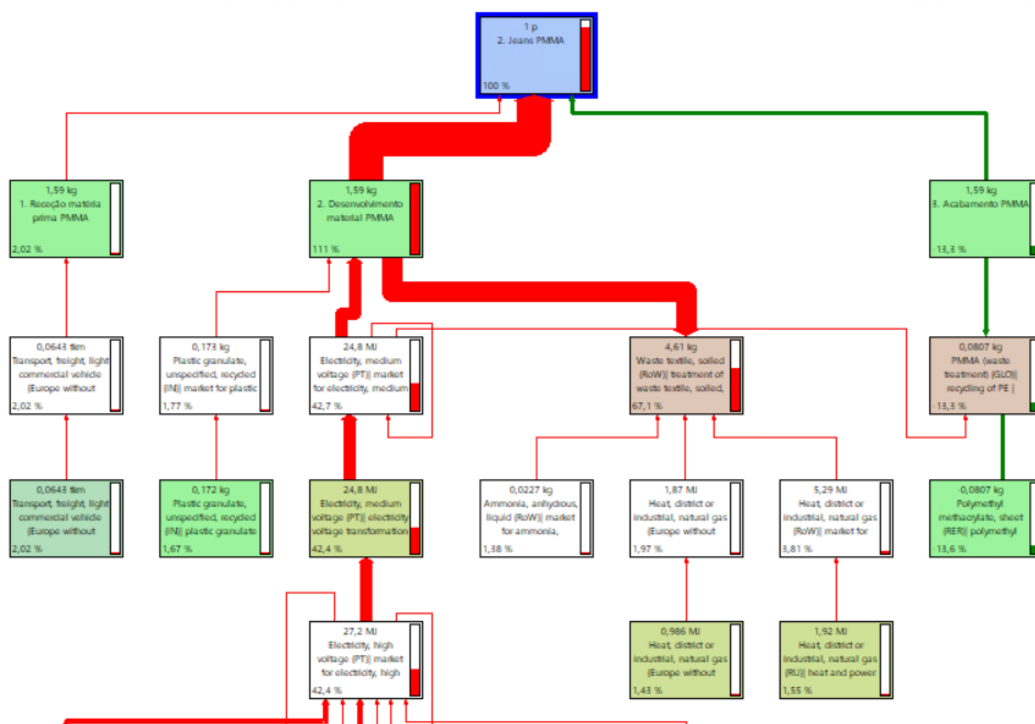


Figura 108 - fluxo etapa desenvolvimento material DenimPMMA

Anexo VII – Artigos publicados

A7.1 Artigo: “Project Design Methods and Upcycling of Fashion Products in bachelor curricula of Fashion Design Courses”

15th Annual International Technology, Education and Development Conference – INTED 2021-
Proceedings, pp 9056 – 9061. – ISBN 978-84-09-27666-0. doi:10.21125/inted.2021.1896
<https://library.iated.org/view/MARQUES2021PRO>

PROJECT DESIGN METHODS AND UPCYCLING OF FASHION PRODUCTS IN BACHELOR CURRICULA OF FASHION DESIGN COURSES

António Dinis Marques, Patricia Azambuja

University of Minho (PORTUGAL)

Abstract

There is a discussion about the impact of the fashion industry in the environment and how the relevant players can act to mitigate its impacts. Universities can have an important role to prepare future designers and engineers to the Fashion Industry according new principles focused in sustainable design, circular economy, clean production processes and recycling (upcycling and downcycling) of final products before go to landfill. Cradle to Cradle, written by William McDonough and Michael Braungart, discussed many concepts and approaches to deal with these tasks. Also, the Ellen MacArthur Foundation wants to inspire a generation to re-think, re-design and build a positive future circular economy. The circular economy of fashion products requires a new consumer, a citizen “Homo Sustentabilis”, that think in all his actions to preserve the maximum as possible the environment to the future generations.

The curricula of the different courses in Fashion Design needs to be upgraded continuously to tackle with these new challenges. Project design methods can be defined to the Curricular Units of bachelor students in fashion degrees, including approaches to sustainability and circular economy as possible outcomes. Upcycling and downcycling are the topics that this paper will discuss. The experimental process developed by the authors includes the design process of fashion denim disposed by the consumers at the end-of-life. This textile material (denim) has many possibilities to the designers and can be used as raw material to other industries and fields.

At different levels, this research can incorporate knowledge in recycling process of this material to the textile and clothing industry, can promote the use of this textile products in other fields (new modern urban architecture incorporating denim fabrics and accessories) and can develop other categories of products by moulding polymers with denim fabric inside the polymeric matrix.

The linkage between the project design process and the industry will be highlighted by the future collaboration in the training of new designers in a learning-by-doing process with the university labs and textile factories. Innovation processes in this particular fields can benefit from a close action and cooperation between the main players of the Portuguese textile and clothing cluster. New fashion designers will be ready to face this demanding from the “green consumers” in a better way if they can apply and test their creativity and design process in action.

Keywords: Project design, upcycling, fashion industry, bachelor degree, circular economy, curricula university.

1 INTRODUCTION

The concern with sustainability is growing, many claim that the concept of sustainability arose in the 70s, in meetings organized by the ONU. The term is related to the act of preserving or conserving and has been increasingly used in relation to the actions of human and the environment.

According to Boff [1], “Sustainability represents the procedures we take to allow the Earth and its biomes to remain alive, protected, fed with nutrients to the point that they are always well preserved and up to the risks that may arise”.

In general, it is possible to affirm that the central idea of sustainability is the preservation of the most varied resources existing on the planet in order to make it possible to continue, which also includes social, environmental and economic issues [2]. Although the concept of sustainable development emerged in the 1970s, the greater concern with regard to more sustainable means of production and the number of discussions on this topic has gained a greater proportion recently due to the climate changes that are being caused by global warming. The fashion industry is one of the most responsible for the negative impacts on the environment, they are polluting products generated by the textile and

A7.2 Artigo: “Rethinking Textile Disposal: Reuse of Denim for New Product Development”

Artigo de Conferência: CIMODE 2022, capítulo publicado em “Advances in Fashion and Design Research”. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16773-7_53



Rethinking Textile Disposal: Reuse of Denim for New Product Development

Patricia de Paula Azambuja^(✉) and António Marques

University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal
pati_azambuja@hotmail.com

Abstract. This research proposes to incorporate the process of upcycling textile discards by molding polymers with denim fabric within the polymer matrix to be applied in the development of new products. To this end, according to Bruno Munari (Munari 1981), design should not be designed without a method, that is, thinking in an artistic way with the purpose of a solution is not enough if there is no research on similar projects to what one wants to do. Based on Munari's thought, this article has as its primary step the literature review of what has been explored as well as the study of concepts related to the theme. From this, the selection of possible combinations of materials and technology to be tested was planned, aiming to define, for the second phase of the work (experimental phase), the most viable solution for the development of new fashion and furniture products with denim reuse. In a future phase, this work seeks to develop a material that can be applied in various fields of production, highlighting not only the importance of reusing discarded materials, but also the need for greater awareness regarding the effects of the production mode on the environment.

Keywords: Denim reuse · Circular economy · Upcycling · New product development

1 Introduction

Climate change brings a growing alert and concern involving the impacts of the fashion industry on the environment. Consumers can play an important role in encouraging the necessary changes regarding companies' choice of materials and means of production. As consumers become aware, there is a change in relation to the desired products and companies, and, consequently, a stimulus for companies to seek a more circular economy and sustainable design. As a result, companies are increasingly investing in the development of products that have the least impact possible, and one of the ways is the reuse of materials. The reuse of materials prevents discarded products from reaching landfills and contributes to reduce the extraction of natural resources for the manufacture of new products.

One of the goals of the Ellen MacArthur Foundation, an independent British organization for accelerating the transition to a Circular Economy, is to encourage future generations to rethink, slow down, and redesign a more circular economy. To this end,

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2023
A. C. Broega et al. (Eds.): CIMODE 2022, *Advances in Fashion and Design Research*, pp. 633–641, 2023.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-16773-7_53

A7.3 Artigo: “Upcycling of denim discard for development of new material. “

Azambuja, P., & Marques, A. (2023)

Artigo de Conferência: WASTES 2023, capítulo publicado em WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities IV. CRC Press. <http://doi.org/10.1201/9781003345084-62>

Reuse of denim discard for development of new products

P. Azambuja & A. Marques
University of Minho, Guimarães, Portugal

ABSTRACT: This paper is the result of the second study phase, an experimental phase for the development of new fashion and furniture products with denim reuse. This work proposes to incorporate the process of upcycling textile discards by moulding polymers with denim fabric within the polymer matrix. This research seeks to develop a solid material to reuse denim that can be applied in various fields of production. In this research phase, after some tests, it was possible to find a solid material with different thickness that will go to material characterization phase. With this process, it was possible to have consistent material with good visual grammar, able to proceed to the next phase. This paper reports the results of the practical work made in the lab.

1 INTRODUCTION

Increasingly, companies are investing in the development of products that have the least environmental impact possible. Climate change brings a growing alert involving the impacts of the industry on the environment. Therefore, there are growing studies on creating sustainable materials, as well as researches about the reuse of materials. Finding reuse of waste prevents discarded products from reaching landfills and contributes to reducing the extraction of natural resources for the manufacture of new products. The reuse of materials is a way to mitigate the damage already done.

This research proposes to incorporate the recycling process by upcycling textile discards, this study links sustainable design and the circular economy through the upcycling process once upcycling seeks an appreciation of the discarded material, an appreciation attributed again to the material preventing the discard (Moraes 2013). In sustainable design, the environmental aspects are addressed, aiming to develop more products and services with ever-decreasing use of resources as well as waste generation (Manzini 2008). According to Manzini, the design acts, in the same way, on the function and form of an object and with the awareness that they are independent and with importance capable of interacting with each other (Manzini 2015).

Ellen MacArthur Foundation, which seeks for accelerating the transition to a Circular Economy, wants to encourage brands and consumers to rethink and slow down to create a more circular economy. Circular Economy requires businesses and consumers to be able to reflect on their actions and the consequences for the environment and take care of the preservation and the resources available for future generations (Ellen MacArthur Foundation 2019).

The United Nations has proposed the so-called "SDGs" - "Sustainable Development Goals" to ensure sustainable development while maintaining balance between the 3 pillars - environmental, social and economic. There are 17 goals stipulated by the UN whose presence in the 2030 Agenda for Sustainable Development has the mission of achieving a better and more sustainable future for all by 2030 (United Nations 2021).

A7.4 Artigo: “Solid Denim: research on new hydrophobic material obtained from post-consumer denim for product development. “

Azambuja & Marques (2024). Book Chapter in Advances in Fashion and Design Research III, CIMODE 2024, Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-031-83185-0_39

Solid Denim: research on new hydrophobic material obtained from post-consumer denim for product development

Patricia Azambuja¹(0000-0002-0344-6380) and António Marques²(0000-0002-6314-8745)

¹ University of Minho, Guimarães 4800-058, Portugal
pati_azambuja@hotmail.com

Abstract. This research proposes and analyses a new material entirely made from discarded post-consumer denim and polymer waste. It is a solid material obtained through hot compression moulding without any reprocessing or crushing of the materials. The aim is to reduce costs while preserving the appearance of denim as much as possible, thereby allowing consumers to appreciate the material's origin and potential even at the end of its life cycle. In the production of the new recycled material through upcycling, the compression moulding process with polymers yielded satisfactory results in terms of solid consistency and preservation of the denim appearance, with finishing that enhances hydrophobic capacity, as confirmed by permeability characterization. This research presents two different materials: one utilizing denim compressed with high density polyethylene - HDPE, and the other with polymethyl methacrylate -PMMA. Permeability characterization was conducted on both materials, revealing high hydrophobic capacity in the material with denim and PMMA.

Keywords: Denim Reuse, Circular Economy, Upcycling, New Product Development.

1 Introduction

Climate change has sparked increasing concern regarding the impacts of industry on the environment. Consequently, there is a growing body of research focused on creating sustainable materials and promoting the reuse of resources. The reuse of waste prevents discarded products from reaching landfills and contributes to reducing the extraction of natural resources for the manufacture of new products, it is a way to mitigate the damage already done.

Sustainability has been an important issue throughout scientific fields, and it is increasing in the last years, and this includes the textile research field has also enhanced and enlarged investigations on the theme [1]. Ellen MacArthur Foundation seeks for accelerating the transition to a Circular Economy stimulating the thinking through to rethink and slow down the production process. Circular Economy requires businesses and consumers to be able to reflect on their actions and the consequences for the