

Análise da Possibilidade do Uso de Biocompósitos com Lã como um substituto do couro para o Design de Moda na nova Era geológica

*Analysis of the Feasibility of Using Wool Biocomposites
as a Leather Substitute for Fashion Design
in the New Geological Era*

Rafaella de Castro Lacerda
PPG Design – UnB.

RAFAELLA DE CASTRO LACERDA

**ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DO USO DE BIOCMPÓSITOS COM LÃ COMO UM
SUBSTITUTO DO COURO PARA O DESIGN DE MODA NA NOVA ERA GEOLÓGICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Design pelo Programa de Pós-graduação em Design da Universidade de Brasília.

Brasília, 25 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Breno Tenório Ramalho de Abreu
UnB

Prof. Dra. Ana Claudia Maynardes
UnB

Prof. Dra. Ana Karla Freire de Oliveira
UFCG

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

LL131a LACERDA, RAFAELLA
Análise da Possibilidade do Uso de Biocompósitos com Lã
como um substituto do couro para o Design de Moda na nova
Era geológica / RAFAELLA LACERDA; orientador Breno Abreu. --
Brasília, 2024.
140 p.

Dissertação(Mestrado em Design) -- Universidade de
Brasília, 2024.

1. O Antropoceno, Capitaloceno, Cthuluceno e a busca
pela moda sustentável.. 2. Moda e Sustentabilidade: Novas
Perspectivas para o Design em Parceria com a Natureza e os
Serês Vivos. 3. Controvérsias do Couro Sintético na
Indústria da Moda. 4. Os biomateriais como possíveis
soluções para o Couro Sintético. 5. Biomaterial criado para
esta pesquisa. I. Abreu, Breno, orient. II. Título.

Análise da Possibilidade do Uso de Biocompósitos com Lã como um substituto do couro para o Design de Moda na nova Era geológica

Rafaella de Castro Lacerda PPG Design – UnB.

rafaella.c.lacerda@gmail.com

**Brasília
2024**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Breno Tenório Ramalho de Abreu

Agradecimentos

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, Breno Abreu, ele não só foi um incentivador fundamental para a minha entrada no PPG de Design, mas também se manteve resiliente e confiante em relação ao desenvolvimento do meu material. Sua firmeza e apoio foram essenciais para que eu persistisse e não abandonasse minha pesquisa.

Um agradecimento especial também a minha mentora, Ângela Barbour, cuja sabedoria e experiência iluminaram meu caminho. Ela me ensinou a navegar por entre os desafios e a experimentar audaciosamente, o que foi crucial para o desenvolvimento de um material promissor para o futuro sustentável da moda.

Não posso deixar de expressar minha imensa gratidão à minha mãe, Ana Beatriz, por todo suporte nas revisões dos textos, ensaios, resumos e artigos produzidos durante esses intensos dois anos de estudo e pesquisa. Seu apoio foi um pilar para minha dedicação e sucesso.

A minha família, que sempre esteve ao meu lado, vocês foram a base do meu equilíbrio e perseverança. Obrigado, Rato e Olivia, pelo amor e paciência incondicionais.

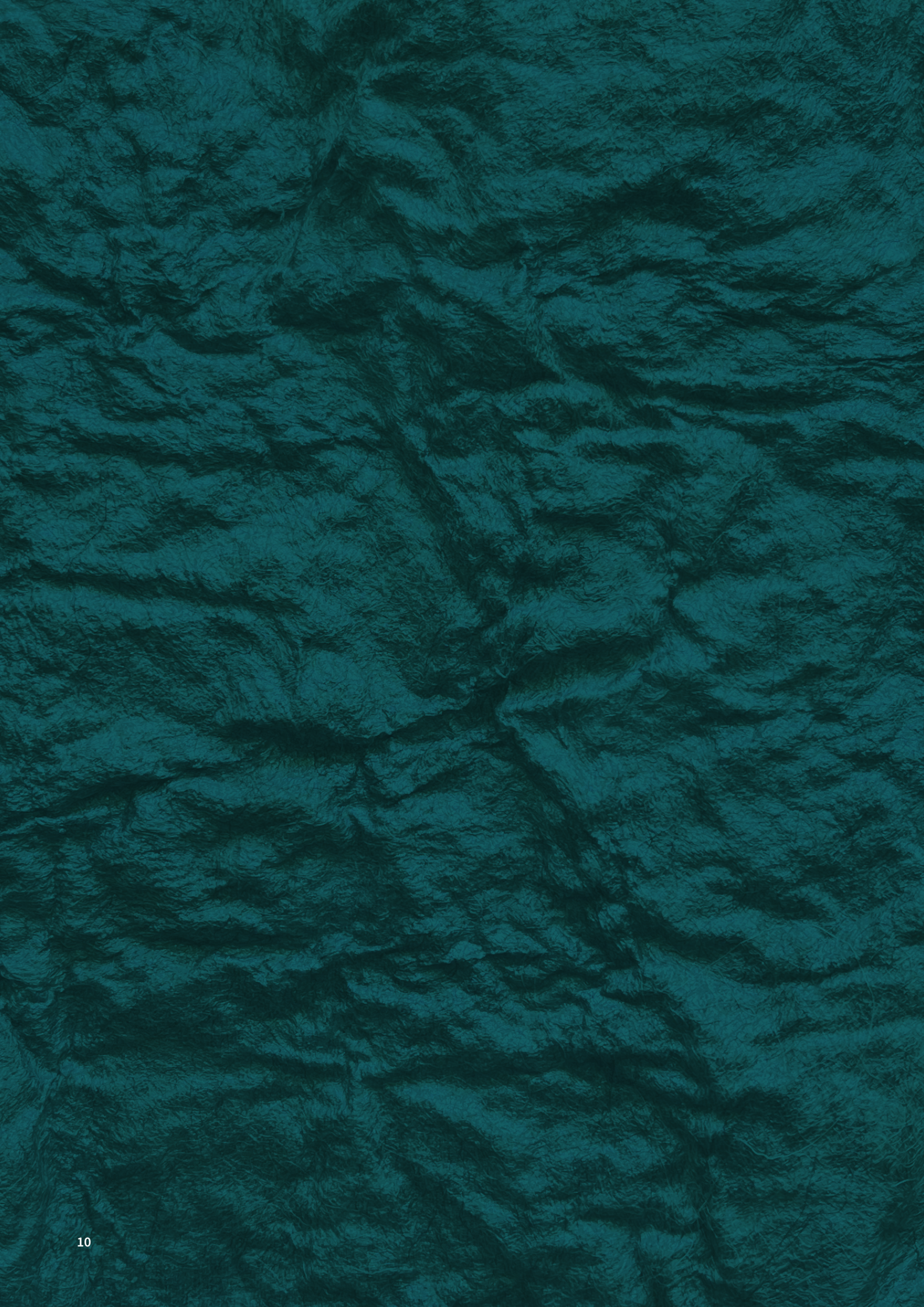
Análise da Possibilidade do Uso de Biocompósitos com Lã como um substituto do couro para o Design de Moda na nova Era geológica

Rafaella de Castro Lacerda PPG Design – UnB.

rafaella.c.lacerda@gmail.com

Sumário

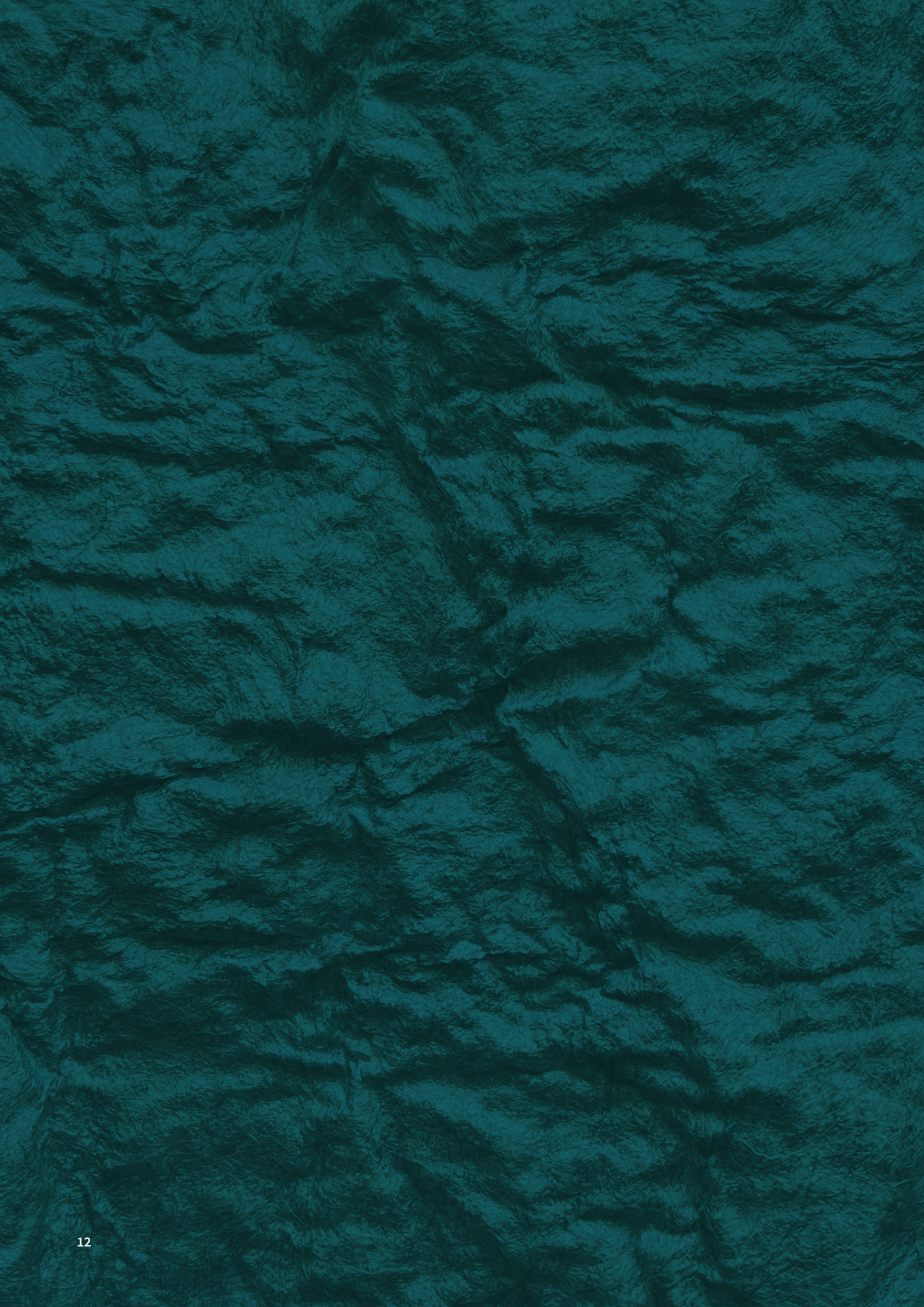
Resumo	11
Abstract	13
1. Introdução	15
2. Referencial Teórico	18
2.1 O Antropoceno, Capitaloceno, Cthuluceno e a busca pela moda sustentável.	18
2.2 Moda e Sustentabilidade: Novas Perspectivas para o Design em Parceria com a Natureza e os Seres Vivos	24
2.3 A Ciência dos Materiais e o design de moda sustentável	32
2.3.1 Introdução aos Polímeros, biopolímeros, compósitos, biocompósitos e biomateriais	40
2.4 O Plástico e os Desafios da Poluição micro plástica na Nova Era Geológica	50
2.4.1 Controvérsias do Couro Sintético na Indústria da Moda	58
2.5 Os biomateriais como possíveis soluções para o Couro Sintético	62
2.5.1 Estudos de Caso sobre novos biomateriais que imitam o couro	68
2.6 Biomaterial criado para esta pesquisa	74
3. Métodos	82
4. Resultado e Discussão	108
5. Considerações finais	127
6. Glossário	130
7. Referências Bibliográficas	136



Resumo

A pesquisa Análise da Possibilidade do Uso de Biomateriais com Lã como um Substituto do Couro para o Design de Moda na Nova Era Geológica, investiga a viabilidade do uso de biomateriais com lã como substituto sustentável do couro na indústria da moda, em um contexto onde a sustentabilidade e a inovação são essenciais devido às mudanças climáticas e à insuportabilidade dos materiais derivados de petróleo e a precária indústria do couro animal e materiais sintéticos que são similares ao couro. O estudo destaca a criação de um biomaterial composto por alginato de sódio e fibras de lã, chamado de Texturas Ecolab, que apresenta propriedades comparáveis ao couro sintético, mas com vantagens ambientais significativas. No cenário atual do Antropoceno, onde as práticas de consumo e produção são repensadas frente aos impactos ambientais, a pesquisa enfatiza a necessidade de materiais que alinhem inovação tecnológica com sustentabilidade. Os biomateriais, definidos como materiais de base biológica com potencial biodegradável ou regenerativo, são apresentados como alternativas promissoras. O estudo se ancora na interdisciplinaridade entre ciência dos materiais baseado em bibliografias iniciais, pesquisa experimental com análise de dados qualitativos e análise laboratorial, explorando a colaboração entre indústria, academia e governo para superar desafios de escalabilidade. Os experimentos revelaram que a combinação de alginato de sódio com lã oferece um material com propriedades mecânicas e sensoriais adequadas para aplicações na moda. O estudo sublinha a importância do controle dos processos de secagem e formulação para garantir a qualidade e durabilidade do biomaterial. Destaca-se também a relevância de superfícies têxteis para a secagem de matrizes poliméricas, facilitando o manuseio e a preservação dos biomateriais. A pesquisa conclui que o uso de biocompósitos à base de alginato de sódio é uma alternativa viável aos plásticos, derivados do petróleo e couro animais na moda, promovendo práticas de design mais ecológicas e inovadoras. A adoção de biocompósitos pode auxiliar na transição para uma economia circular, onde a sustentabilidade não é apenas uma prática, mas um princípio fundamental.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Moda; Biocompósitos; Economia Circular.



Abstract

*The research “Analysis of the Feasibility of Using Wool-Based Biomaterials as a Leather Substitute for Fashion Design in the New Geological Era” investigates the viability of using wool-based biomaterials as a sustainable substitute for leather in the fashion industry, within a context where sustainability and innovation are essential due to climate change and the unsustainability of petroleum-derived materials, the precarious animal leather industry, and synthetic leather-like materials. The study highlights the creation of a biomaterial composed of sodium alginate and wool fibers, named *Texturas Ecolab*, which exhibits properties comparable to synthetic leather but with significant environmental advantages. In the current Anthropocene scenario, where consumption and production practices are rethought in light of environmental impacts, the research emphasizes the need for materials that align technological innovation with sustainability. Biomaterials, defined as bio-based materials with potential for biodegradability or regeneration, are presented as promising alternatives. The study is grounded in the interdisciplinarity between material science based on initial bibliographic research, experimental research with qualitative data analysis, and laboratory analysis, exploring the collaboration between industry, academia, and government to overcome scalability challenges. The experiments revealed that the combination of sodium alginate and wool provides a material with adequate mechanical and sensory properties for fashion applications. The study underscores the importance of controlling drying and formulation processes to ensure the quality and durability of the biomaterial. Additionally, it highlights the relevance of textile surfaces for drying polymer matrices, facilitating the handling and preservation of biomaterials. The research concludes that the use of sodium alginate-based biocomposites is a viable alternative to plastics, petroleum-derived materials, and animal leather in fashion, promoting more ecological and innovative design practices. The adoption of biocomposites can aid the transition to a circular economy, where sustainability is not merely a practice but a fundamental principle.*

Keywords: Sustainability; Fashion; Biocomposites; Circular Economy.

1. Introdução

Este estudo tem como propósito principal o desenvolvimento de um biomaterial aplicado ao design sustentável a partir de alginato de sódio e lã, oferecendo uma alternativa viável ao couro animal e materiais sintéticos para o mercado da moda. A pesquisa se propõe a inovar ao criar um material que combine atributos estéticos e funcionais, respondendo de maneira ecológica às crescentes demandas por produtos com menor impacto ambiental. Esse desenvolvimento abrange não somente as propriedades físicas e visuais do biocompósito, mas também seus aspectos de durabilidade e sustentabilidade, com base em uma abordagem interdisciplinar que integra design, ciência dos materiais e engenharia.

A proposta desta pesquisa surgiu da necessidade urgente de encontrar soluções sustentáveis para a indústria da moda, amplamente criticada por seus impactos ambientais significativos. A motivação da pesquisadora advém de sua formação em design e de suas observações sobre o uso excessivo de materiais não renováveis, como o material sintético que imita o couro, e o couro animal. Embora o couro animal seja apreciado por sua durabilidade e estética, seu processo de produção envolve um elevado consumo de água e o uso de produtos químicos nocivos no curtimento, resultando em graves consequências ambientais. Por outro lado, os materiais sintéticos que imitam o couro, apesar de serem alternativas mais acessíveis, têm uma durabilidade limitada e liberam microplásticos ao longo de seu ciclo de uso e manutenção, agravando a poluição ambiental. Diante dessas reflexões, surgiu a ideia de desenvolver um biomaterial composto por alginato de sódio e fibras de lã, oferecendo uma alternativa mais ecológica ao couro animal e materiais sintéticos. Este projeto não se limita a contribuir para a inovação sustentável na moda, mas também propõe uma nova abordagem sobre o uso consciente de recursos naturais, em resposta às mudanças climáticas e à necessidade de soluções regenerativas, fomentando a transformação da moda em um setor mais responsável e ambientalmente consciente.

Biomateriais diferem significativamente entre as áreas de design e medicina. No design, biomateriais são explorados principalmente para desenvolver produtos sustentáveis que imitam materiais tradicionais, como o couro e o plástico, por exemplo, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental e fomentar a economia circular. Como materiais derivados de fontes biológicas, que possuem potencial para serem biodegradáveis ou regenerativos. Os biocompósitos, por sua vez, são um tipo específico de biomaterial que combina uma matriz polimérica natural com cargas de reforço e/ou enchimento de origem biológica, como fibras vegetais ou animais. Esses materiais oferecem uma combinação de propriedades que

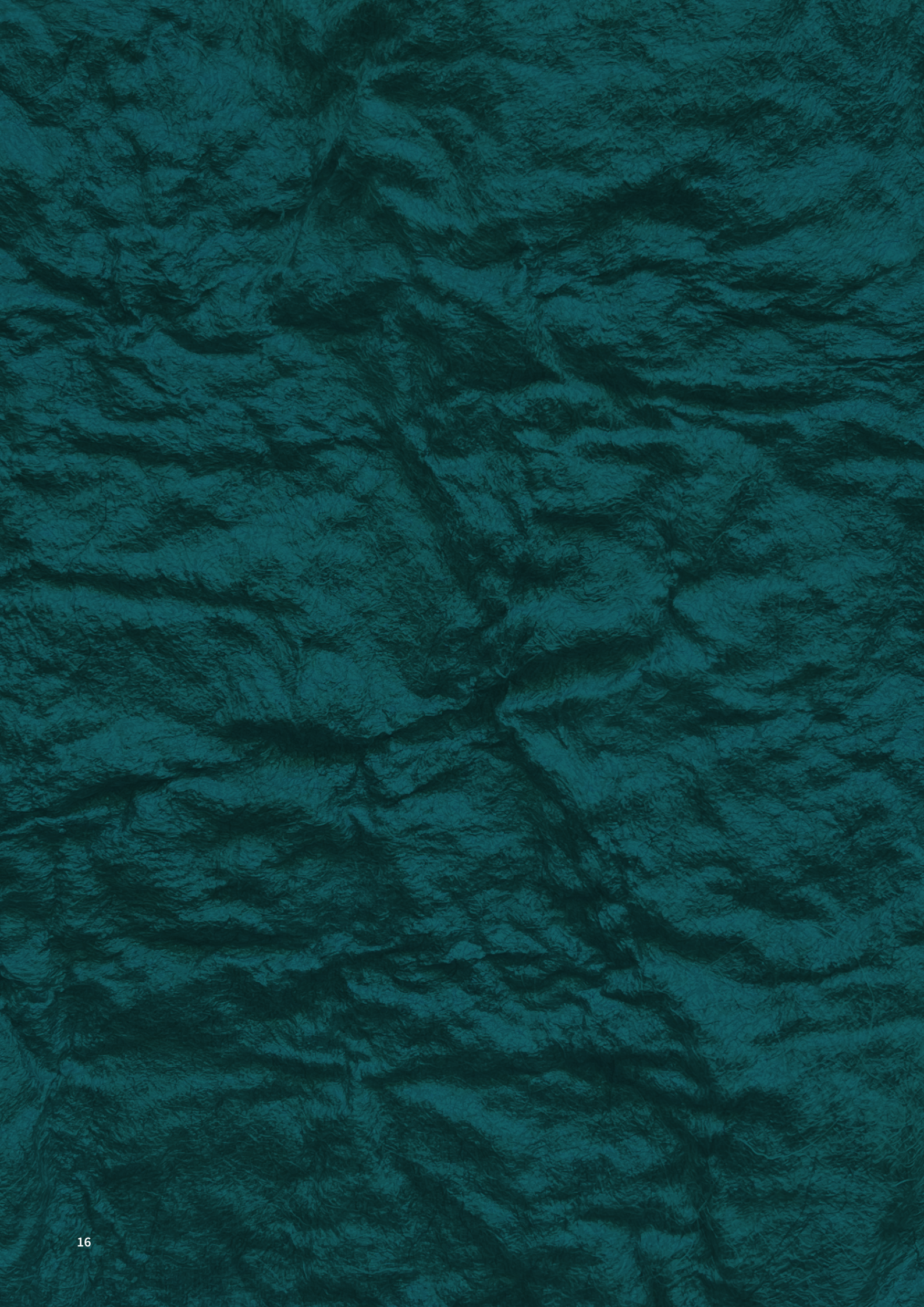
os tornam mais leves e resistentes, além de serem mais amigáveis ao meio ambiente em comparação com compósitos convencionais, como aqueles reforçados com fibra de vidro ou carbono.

A dissertação está organizada em quatro capítulos, que exploram de forma aprofundada os aspectos teóricos, metodológicos e experimentais do estudo. O primeiro capítulo apresenta o contexto da pesquisa e os desafios enfrentados pela indústria da moda na busca por maior sustentabilidade. O conceito de Antropoceno é discutido para destacar os impactos das atividades humanas no meio ambiente, reforçando a urgência de soluções inovadoras, como a substituição de materiais poluentes por alternativas mais ecológicas. O capítulo também estabelece os objetivos específicos da pesquisa, que incluem o desenvolvimento de um biomaterial funcional e sustentável, sua aplicação no design de moda e a análise de suas propriedades sensoriais e funcionais.

No primeiro capítulo, o Referencial Teórico, são explorados temas fundamentais para embasar a pesquisa. São discutidos tópicos como os paradoxos da moda sustentável, a ciência dos materiais, o impacto do plástico e dos microplásticos no meio ambiente, além das questões relacionadas ao uso de couro animal e sintético. Também são abordados conceitos-chave sobre biomateriais, incluindo sua história, definição e estudo de caso de biomateriais conhecidos comercialmente. Por fim, o capítulo apresenta o biomaterial criado para a pesquisa, denominado Texturas Ecolab, oferecendo uma base teórica sólida para a experimentação prática e o desenvolvimento do estudo.

O referencial teórico também explora as implicações das mudanças geológicas contemporâneas, como o Antropoceno, na produção e no consumo de materiais. A pesquisa destaca a necessidade de reduzir o uso de matérias-primas de origem fóssil, propondo materiais biológicos como alternativas viáveis. A moda, como uma indústria dependente de materiais sintéticos, enfrenta desafios significativos ao tentar reavaliar seus processos produtivos sob a ótica da sustentabilidade. Nesse contexto, a ciência dos materiais é vista como um campo central para a inovação, com os designers desempenhando papel crucial na criação de novos materiais que alinhem estética, funcionalidade e sustentabilidade.

No segundo capítulo, Método, a autora detalha o processo experimental utilizado na pesquisa. São descritos os procedimentos do uso do alginato de sódio como matriz polimérica principal. O capítulo também aborda as técnicas de modelagem e secagem dos materiais, além da utilização de ferramentas de prototipagem digital no desenvolvimento das peças. A metodologia adotada combina uma abordagem prática e exploratória, focada na identificação das propriedades físicas e sensoriais dos biomateriais. Testes de durabilidade, resistência e estética também são realizados para avaliar a viabilidade do material na moda.



O terceiro capítulo, Resultados e Discussão, apresenta uma análise crítica dos dados obtidos durante a pesquisa. São avaliados aspectos como resistência à tração, durabilidade, textura e estética dos biomateriais, comparando-os com materiais tradicionais, como o couro animal e sintético. A pesquisa revela que os biocompósitos desenvolvidos possuem características promissoras, embora sejam necessários ajustes nos processos de formulação e secagem para otimizar sua aplicabilidade. O capítulo também discute a importância de considerar tanto as propriedades físicas quanto as respostas emocionais e culturais dos usuários durante a seleção de materiais no design de moda.

O método utilizado nesta pesquisa combinou uma abordagem experimental e interdisciplinar. Primeiramente, foi realizada a coleta e a preparação das fibras de lã, que foram limpas e preparadas para serem incorporadas na matriz de alginato de sódio. Em seguida, o biomaterial foi produzido utilizando técnicas de moldagem e secagem cuidadosas para garantir a qualidade final do produto. Diversos testes laboratoriais foram conduzidos para avaliar a resistência, durabilidade e propriedades estéticas do material. Além disso, o processo incluiu experimentações com diferentes métodos de secagem, a fim de otimizar as características mecânicas do biocompósito.

Por fim, o quarto capítulo, Considerações Finais, sintetiza os principais resultados e conclusões da pesquisa, propondo direções futuras para o desenvolvimento e aplicação de biomateriais na moda. A autora conclui que o uso de biomateriais como alternativa ao couro é viável e apresenta potencial para transformar a indústria da moda, desde que sejam realizados novos estudos e experimentações para otimizar suas propriedades. O estudo sugere que uma abordagem multidisciplinar, que considere aspectos técnicos, sensoriais e sociais, é essencial para promover um design de moda mais sustentável e inovador.

Portanto, diante dos desafios enfrentados pela indústria da moda e da necessidade de soluções sustentáveis, **o objetivo geral desta pesquisa é investigar a viabilidade do uso de biocompósitos à base de alginato de sódio e lã como uma alternativa sustentável ao couro animal na moda**, contribuindo para práticas de design mais ecológicas e inovadoras e para a transição rumo a uma economia circular.

2 Referencial **.teórico**

2.1 O Antropoceno, Capitaloceno, Cthulhuceno e a busca pela moda sustentável.

A paisagem natural do nosso mundo está sofrendo transformações profundas. Com as mudanças climáticas, nossos estilos de vida também terão que se adaptar. O uso excessivo de matérias-primas derivadas do petróleo bruto é insustentável, e o consumo global precisará ser reduzido. No entanto, nossa demanda por materiais persistirá: eles continuarão a nos nutrir, vestir, confortar e sustentar. Isso significa que precisamos de um influxo de novas ideias, colaboração transfronteiriça e esforço diligente para substituir nossos sistemas materiais e hábitos de consumo por alternativas mais sustentáveis. Em muitos casos, os materiais de base biológica são considerados a melhor alternativa aos materiais dominantes de origem fóssil. Para facilitar essa transição, devemos cultivar uma curiosidade genuína sobre a composição e a origem dos produtos que utilizamos. Conhecimento e transparência são urgentemente necessários em todas as fases dos processos de produção (Kääriäinen *et al*, 2020).

O conceito de Antropoceno emergiu para delinear uma era geológica caracterizada pelos impactos profundos e abrangentes das atividades humanas na Terra nos últimos dois séculos. A história geológica da Terra é tradicionalmente segmentada em escalas de tempo distintas, e a proposição do termo Antropoceno foi introduzida pelo químico Paul J. Crutzen em 2000, sublinhando as mudanças significativas iniciadas pelas atividades humanas desde o início do século XIX. Embora ainda não oficialmente reconhecido, o Antropoceno tem sido amplamente adotado e utilizado por diversos especialistas e acadêmicos para descrever as transformações antropogênicas no planeta (Payne, 2021).

Desde o início do século XIX, evidências do Antropoceno têm se acumulado de forma substancial, manifestando-se através de mudanças geológicas e a introdução de novos elementos na Terra, como o plástico, material que está sendo sedimentado nas nossas rochas num fenômeno conhecido como *Plastiglomerate* (Davis, 2022). Os impactos atmosféricos e climáticos também são notáveis. As modificações introduzidas durante o Antropoceno são de tal magnitude que reconfiguram significativamente os sistemas geológicos e ecológicos da Terra, posicionando essa era como um marco crucial na história do planeta (Davis, 2022).

Além disso, a emissão exacerbada de gases que promovem o efeito estufa, como o dióxido de carbono, tem provocado mudanças climáticas drásticas, manifestando-se no aquecimento global, no derretimento das calotas polares e na acidificação dos oceanos. Esses fenômenos promovem consequências devastadoras para os ecossistemas e para a estabilidade climática global, indicando uma alteração sem precedentes na história recente do planeta. As evidências dessas mudanças são numerosas e incluem a criação e proliferação de materiais artificiais como plásticos, concreto e fibras de carbono (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Temos também que, no contexto do Antropoceno, a sustentabilidade ainda é ambígua, levantando questões sobre o que deve ser sustentado e para quem. A sustentabilidade ambígua refere-se a práticas ou políticas que, embora sejam rotuladas como sustentáveis, possuem intenções ou efeitos que podem ser questionáveis ou contraditórios. Esse conceito emerge quando medidas adotadas em nome da sustentabilidade resultam em benefícios limitados ou até mesmo prejudiciais ao meio ambiente e às populações vulneráveis, devido a uma falta de transparência, inconsistência na aplicação ou impacto a longo prazo. Essa ambiguidade destaca a necessidade de uma avaliação criteriosa e transparente das iniciativas sustentáveis, para garantir que realmente contribuam para a preservação do planeta e não sirvam apenas como um disfarce para práticas insustentáveis. A humanidade deve se tornar administradora competente de um mundo pós-natural, usando avanços tecnológicos para desvincular o crescimento econômico do impacto ambiental (Payne, 2021).

No entanto, o estilo de vida estabelecido no Ocidente, conhecido como colonialidade, perpetua a injustiça social e a insustentabilidade. O enfoque frágil da sustentabilidade confia na tecnologia e no mercado, mas a insustentabilidade persiste. É crucial buscar abordagens mais responsáveis e sustentáveis na produção e uso de tecnologias para proteger o meio ambiente e garantir o bem-estar das futuras gerações. O mercado enfrenta dificuldades para lidar com desafios ambientais, como as mudanças climáticas, e os esforços de sustentabilidade muitas vezes mantêm práticas insustentáveis (Mignolo, Walsh, 2018).

O declínio da biodiversidade é outra evidência crucial do Antropoceno. Relatórios¹ indicam uma redução drástica de 52% na população de animais vertebrados nos últimos 40 anos, enquanto a população humana dobrou no mesmo período. Esta tendência alarmante sugere a iminência de uma sexta extinção em massa, similar às cinco grandes extinções que ocorreram nos últimos 540 milhões de anos. A perda acelerada de espécies destaca a profunda influência humana sobre os ecossistemas e a necessidade urgente de medidas de conservação eficazes (Gordon, Hill, 2015).

Outra questão fundamental relacionada ao Antropoceno é que ele, ao redefinir nossa compreensão do impacto humano no planeta, provoca uma profunda reconsideração a respeito da distinção tradicional entre cultura e natureza. Enquanto a natureza é muitas vezes vista como um dado ou uma condição de existência, independente da intervenção humana, a cultura é entendida como um produto da ação, da criatividade e da organização social humana. Isso posto, poderíamos pensar que é como se o Antropoceno desfizesse a distinção tradicional entre cultura e natureza, já que agora é muito mais difícil distinguir onde acaba a natureza e onde começa a cultura ou vice-versa. O aquecimento global é natural ou ele foi provocado pelo homem? Ou foi um pouco das duas coisas? Assim, o Antropoceno nos obriga a repensar essa distinção, reconhecendo que o mundo natural e o mundo cultural estão inseparavelmente conectados e que as ações humanas têm consequências profundas e duradouras no ambiente natural.

¹ *Relatórios do Programa Ambiental das Nações Unidas, o Relatório Global do Ambiente, publicado a cada 2 anos. O relatório de 2021, que resume os desafios ambientais globais, incluindo emissões de dióxido de carbono, mudanças climáticas, perda de biodiversidade, acidificação dos oceanos, degradação da terra e poluição química, destaca “uma deterioração da saúde do planeta em taxas sem precedentes, com consequências cada vez mais graves, especialmente para as pessoas e regiões mais pobres”. O Relatório Planeta Vivo da WWF, 2021.*

O Antropoceno acaba sendo marcado por essa incapacidade ou impossibilidade de distinguir mais precisamente, como se esperava e vinha se esperando desde a modernidade, a separação entre o que é natural e o que é cultural, o que é natural e o que é humano. As coisas parecem muito mais misturadas agora e isso é um aspecto que muda profundamente a concepção que tínhamos antes de uma ecologia pensada como “meio ambiente”, no sentido de que os homens estão aqui e a natureza lá enquanto uma constituição física na qual esses humanos estariam meramente inseridos – pensávamos:

“Que sorte a nossa termos encontrado um ambiente ao qual nós nos encaixamos e o modificamos, não é?” Por que está todo mundo tão preocupado? Porque a questão da degradação ambiental, da devastação, do desequilíbrio ecológico não é uma coisa nova, a gente fala disso há muito tempo e não é uma exclusividade do Antropoceno; o próprio Holoceno, período geológico anterior, foi marcado por uma série de degradações, a extinção de grandes mamíferos, isso tudo sempre aconteceu. Mas o que está acontecendo agora? Qual a especificidade da situação atual? É, justamente, a escala, a velocidade e a magnitude das mudanças (Moulin *et al*, 2022, p.46).

Embora o conceito de Antropoceno tenha ganhado ampla aceitação e debate nos campos da geologia, filosofia e ciências sociais, ele ainda não é reconhecido de forma unânime pela comunidade científica e por instituições responsáveis pela definição das eras geológicas. Donna Haraway (2016), por exemplo, uma crítica do termo Antropoceno, introduz o conceito de Capitaloceno para enfatizar a responsabilidade do sistema capitalista nas mudanças ambientais. Haraway propõe que o Capitaloceno destaca como o capitalismo impulsiona a exploração intensiva dos recursos naturais e a degradação ambiental. Paralelamente, a mesma autora sugere o Cthulhuceno, inspirado na mitologia de H.P. Lovecraft, para evocar a continuidade do mundo terreno e a necessidade de enfrentar os problemas ambientais com novas narrativas e pensamentos. Haraway sublinha a importância da relação e interdependência entre os seres, desafiando a percepção do homem como um ente separado do restante do planeta (Klebis, 2014).

O conceito de Capitaloceno desloca o foco da responsabilidade pelas mudanças ambientais das ações humanas em geral para o sistema capitalista. Haraway argumenta que o capitalismo, com suas práticas econômicas e industriais, é o principal motor das mudanças climáticas e da destruição ambiental. No Capitaloceno, é evidente que a lógica do crescimento infinito e a exploração desenfreada dos recursos naturais são os principais responsáveis pela crise ecológica (Fletcher, Pierre, Tham, 2019). Esse termo enfatiza a necessidade de reestruturar o sistema econômico global, promovendo uma crítica profunda às estruturas de poder que sustentam o capitalismo e incentiva mudanças sistêmicas em vez de ajustes tecnológicos sistemáticos (Vetlesen, 2019).

O Cthulhuceno, também cunhado por Donna Haraway, é uma proposta ainda mais radical que busca desestabilizar as narrativas tradicionais sobre o impacto humano na Terra. Este termo evoca a interconexão profunda e complexa entre humanos e outras formas de vida. A ideia central do Cthulhuceno é que a realidade não pode ser plenamente compreendida pelas mentes humanas, devendo ser vista como

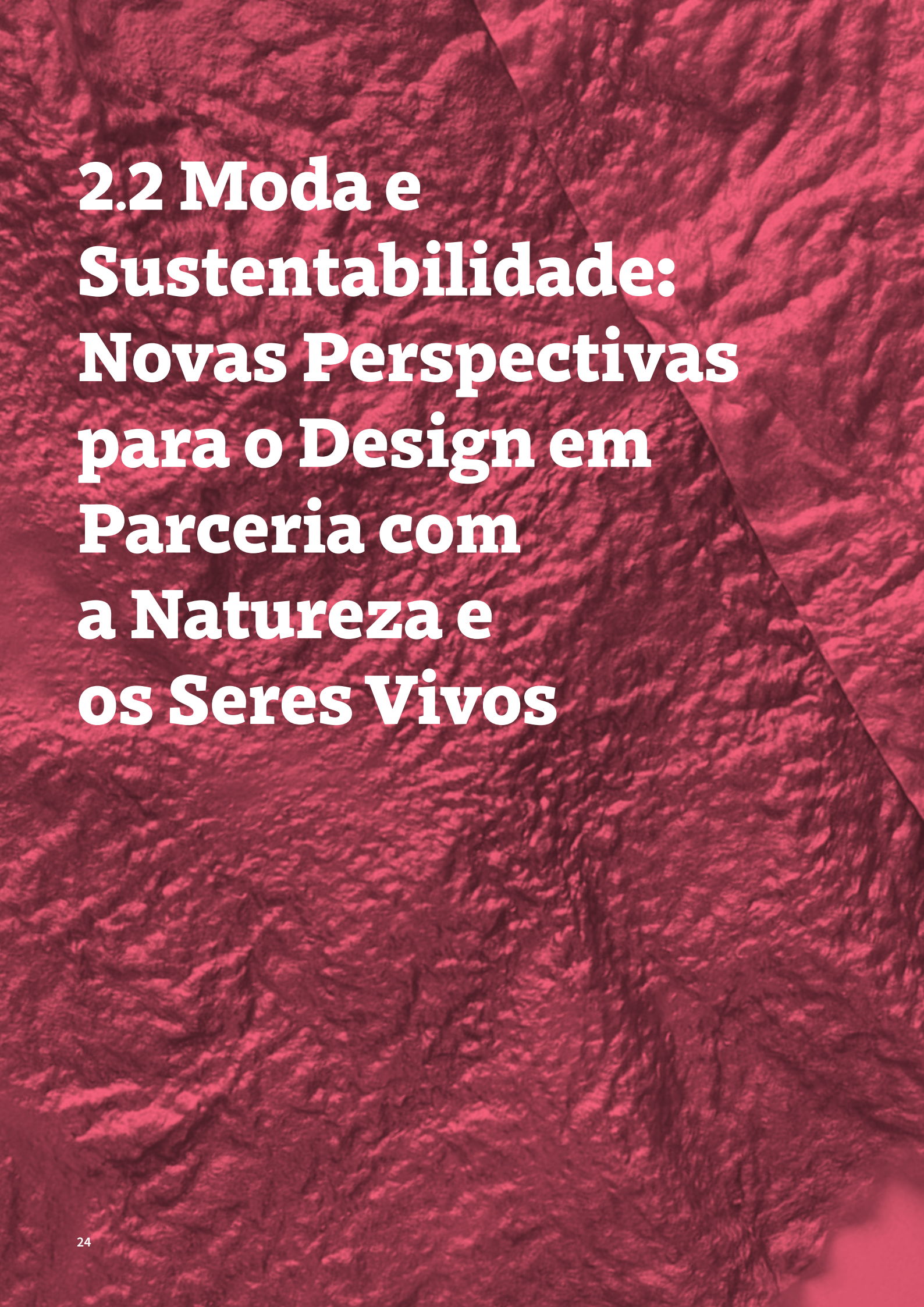
uma tapeçaria interligada de seres e ecossistemas. Haraway utiliza esta narrativa para promover uma visão de mundo onde a humanidade não é o centro, mas parte integrante de um sistema de vida mais vasto e interdependente. Este conceito desafia a percepção antropocêntrica e propõe uma ética de convivência e co-evolução com todas as formas de vida (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Os conceitos de Capitaloceno e Cthulhuceno podem coexistir com o Antropoceno, embora cada um traga uma perspectiva única que enriquece e completa a compreensão das crises ambientais contemporâneas. Enquanto o Antropoceno destaca o impacto maciço das atividades humanas no planeta, reconhecendo a responsabilidade coletiva da humanidade nas mudanças geológicas e climáticas, o Capitaloceno refina essa narrativa ao focar nas dinâmicas específicas do capitalismo que impulsionam a degradação ambiental, oferecendo uma crítica mais direcionada às práticas econômicas e sociais que exacerbam a crise ecológica (Klebis, 2014).

Por sua vez, o Cthuluceno propõe uma visão relacional e interconectada, subvertendo a centralidade humana e promovendo uma ética de convivência com todas as formas de vida. A coexistência desses conceitos com o Antropoceno é justificável, pois cada um adiciona camadas de análise e compreensão que são essenciais para abordar a complexidade da crise ambiental. Juntos, eles proporcionam uma estrutura multidimensional que abrange desde a crítica estrutural do capitalismo até uma reconfiguração das relações ecológicas, criando um quadro mais robusto para a promoção de um futuro sustentável e equitativo. Ao explorar e adotar essas perspectivas, a humanidade pode tentar encontrar novas maneiras de viver em harmonia com o planeta, promovendo uma era de sustentabilidade e respeito mútuo (Haraway, 2016).

As mudanças climáticas, agora amplamente reconhecidas como Antropoceno, Capitaloceno e Cthuluceno, levantam questões profundas sobre a viabilidade das práticas de consumo modernas, incluindo a moda. A moda sustentável surge como uma resposta crítica a essas preocupações, propondo inovações tecnológicas e práticas que visam mitigar os impactos ambientais da indústria.

No entanto, enquanto tecnologias mais limpas e sistemas circulares são defendidos como soluções promissoras, também é essencial questionar o paradigma subjacente de crescimento contínuo que impulsiona tanto a moda quanto o capitalismo. Alice Payne destaca que, para alcançar uma verdadeira sustentabilidade, não basta apenas “domar” os excessos da moda através de reciclagem e inovação; é necessário “renaturalizar” a moda, promovendo práticas de consumo e produção que rompam com as lógicas destrutivas do capitalismo tardio. Assim, a moda sustentável deve evoluir para um modelo que concilie inovação tecnológica com uma profunda mudança cultural, alinhando a expressão individual à responsabilidade coletiva para com o planeta.



2.2 Moda e Sustentabilidade: Novas Perspectivas para o Design em Parceria com a Natureza e os Seres Vivos

A possibilidade de tornar a indústria da moda genuinamente sustentável é altamente desafiadora, considerando o ciclo contínuo de mudanças e a rápida obsolescência planejada que caracteriza o setor. Este ciclo, onde um antigo, um produto, uma peça são rapidamente substituídos pelo novo ou ressignificado, leva alguns teóricos do design a considerarem a moda sustentável como um paradoxo. Sandy Black, em seu livro *Eco-Chic: The Fashion Paradox*, ressalta que “em todas as etapas do design e na tomada de decisões de produção, há compensações a serem feitas, conciliando moda e estilo com materiais disponíveis, custos e restrições de tempo” (Black, 2011, p.46).

Sustentabilidade, em sua essência, refere-se a um sistema ecológico que mantém o equilíbrio, onde os recursos extraídos do ambiente não excedem sua capacidade de reposição e que gerações futuras não sofram com nenhuma consequência das atitudes de agora (Manzini, 2008). No entanto, o termo “moda sustentável” é frequentemente utilizado para descrever métodos, técnicas e práticas de produção de design de produtos de moda que são ambiental, social e eticamente conscientes, ainda que não exista uma definição padronizada de cada uma dessas nomenclaturas.

Termos como “sustentável”, “eco”, “verde”, “vegano” e “orgânico” são frequentemente utilizados de forma intercambiável, o que gera confusão, especialmente devido à falta de padrões ambientais claros na indústria da moda. Esses conceitos têm sido amplamente banalizados por comunicadores sociais contemporâneos, conhecidos como *influencers*, que frequentemente abordam temas relacionados à moda nas redes sociais sem possuir qualificação formal ou expertise no campo. Isso contribui para a crescente desprofissionalização do mercado local. Como resultado, a definição de moda sustentável torna-se subjetiva, permitindo diversas interpretações entre os profissionais da área, que divergem quanto às práticas mais eficazes para promover a sustentabilidade (Gordon & Hill, 2015).

Muitos estudiosos identificam as raízes do movimento da moda sustentável nas décadas de 1960 e 1970, em resposta ao crescente ativismo ambiental e às preocupações com a exploração de recursos naturais (Holroyd, Hill, Twigger, 2023). No entanto, questões como condições de trabalho, direitos dos animais e produção em massa de vestuário já eram debatidas muito antes. Os desafios enfrentados pelos designers contemporâneos remontam ao século XIX, quando a Revolução Industrial facilitou a produção rápida, porém de baixa qualidade, principalmente em relação aos produtos têxteis que já existiam à época. A mecanização e a produção em larga escala, inicialmente vistas como avanços tecnológicos, acabaram por fomentar uma cultura de roupas descartáveis, até mesmo obsoletas, práticas que hoje são consideradas insustentáveis (Holroyd, Hill, Twigger, 2023).

Ademais, é fundamental reconhecer que a sustentabilidade envolve não apenas a equidade intrageracional, Intra-racial e intercultural, que aborda desigualdades entre idades, raças e nações, mas também a equidade interespecíes. Críticos argumentam que o desenvolvimento sustentável muitas vezes considera a natureza apenas como um recurso, negligenciando a interdependência entre seres humanos e outras formas de vida. Uma visão mais holística da sustentabilidade busca atender às necessidades de todas as espécies, e não apenas dos seres humanos (Holroyd, Hill, Twigger, 2023). Em outras palavras, essa visão holística não se limita a promover práticas ambientais responsáveis, como a redução de emissões de carbono, mas também leva em conta a justiça social, o bem-estar social, e a preservação cultural. Ela propõe um equilíbrio entre crescimento econômico e proteção ambiental ecossistêmica garantindo que nenhum desses elementos seja negligenciado em favor dos outros (Fletcher, Tham, 2019).

Como visto no tópico anterior, o impacto humano no meio ambiente geológico, econômico, social, cultural e intra espécies, tem sido uma preocupação central ao longo das últimas duas décadas, gerando intensos debates. À medida que a poluição se expande e os recursos naturais se esgotam, cresce a conscientização sobre os efeitos adversos na saúde e no bem-estar das pessoas. Assim, as iniciativas contemporâneas de diversas indústrias para mitigar e reparar os danos ambientais tornam-se não apenas desejáveis, mas essenciais (Holroyd, Hill, Twigger, 2023).

Especificamente, a indústria da moda tem sido alvo de críticas substanciais devido às suas práticas ambientalmente destrutivas. Cada etapa do ciclo de produção de roupas – desde o cultivo das fibras até a distribuição e descarte das peças – carrega impactos negativos significativos. O ritmo acelerado da moda exacerba esses problemas, enquanto o valor atribuído às roupas mudou: o que antes era uma mercadoria reverenciada agora é frequentemente tratado como descartável (Fletcher, Tham, 2019).

Com mais de quarenta milhões de pessoas empregadas globalmente, a moda é uma das maiores indústrias do mundo, principalmente quando se trata de mão de obra feminina e também uma das mais poluentes (Gordon, Hill, 2015). O crescente escrutínio sobre a indústria reflete o interesse crescente de ambientalistas, ativistas, profissionais, estudantes de moda e consumidores conscientes em moda sustentável (Gordon, Hill, 2015).

No entanto, a prevalência da moda rápida, caracterizada pela produção de peças baratas e descartáveis, dificulta a mudança de padrões de consumo. Por outro lado, o movimento da “moda lenta” conhecido também como *slow fashion* oferece benefícios ambientais significativos, embora a transição para esse modelo possa ter repercussões socioeconômicas negativas, dado que milhões de pessoas dependem, para sua subsistência, da constância das mudanças na moda e da manutenção do comportamento de consumo atual (Gordon, Hill, 2015).

Ao longo do século XX, os problemas ambientais associados à produção de moda se intensificaram. A introdução de fibras sintéticas, que demoram séculos para se degradar, e o cultivo intensivo de fibras naturais, como o algodão, com o uso de fertilizantes químicos e pesticidas, resultaram em sérios danos ambientais. Ao mesmo tempo, e apesar das crescentes preocupações éticas, a demanda por produtos de origem animal, como peles – muitas vezes considerados subprodutos da indústria alimentícia – solidificou sua posição como *commodities* de luxo (Holroyd, Hill, Twigger, 2023).

A situação foi agravada a partir do final da década de 1980, quando nos Estados Unidos, a formação de sindicatos na indústria de confecção, que visava melhorar os salários e as condições de trabalho, levou à terceirização da produção para países subdesenvolvidos, como a China e Bangladesh onde os trabalhadores frequentemente enfrentam condições laborais precárias e salários baixos (Gordon, Hill, 2015).

A terceirização da produção têxtil para países subdesenvolvidos, responsável por um expressivo aumento na produção e no consumo, tem causado e continua causando graves impactos ambientais. Essa prática, amplamente adotada pela indústria da moda global, também está fortemente ligada à exploração da mão de obra. Empresas em busca de reduzir custos e maximizar lucros frequentemente transferem suas operações para países onde os salários são baixos e as regulamentações trabalhistas são fracas ou inexistentes. Essa prática resulta em condições de trabalho precárias, incluindo jornadas exaustivas, salários insuficientes, ambientes de trabalho insalubres e, em casos extremos, trabalho infantil e forçado. Além disso, a terceirização pode perpetuar ciclos de pobreza e impedir o desenvolvimento sustentável nas comunidades locais, pois os trabalhadores não recebem salários dignos nem têm acesso a direitos básicos.

Grande parte do impacto ambiental associado aos têxteis ocorre na etapa de obtenção de matéria-prima. No entanto, é importante ressaltar que a cadeia de produção da moda é complexa e extensa, com uma carência significativa de dados capazes de mensurar de forma adequada os desafios sociais e trabalhistas em todas as fases da confecção de uma peça. Além disso, é essencial considerar toda a indústria, incluindo os processos de descarte e possíveis reciclagens dos produtos finais. A reciclagem de têxteis compostos por fibras mistas apresenta desafios substanciais, destacando a necessidade de desenvolver infraestruturas que prolonguem a vida útil das fibras. Novos materiais, como biopolímeros que se assemelham fisicamente ao couro, estão surgindo, embora ainda sejam necessárias pesquisas adicionais para avaliar seus reais impactos ambientais. A biotecnologia, por sua vez, apresenta oportunidades promissoras, mas enfrenta desafios quanto ao uso de terras e à geração de resíduos. Questões relacionadas ao desenvolvimento de biofibras e à viabilidade econômica dos laboratórios de biofabricação precisam ser analisadas de forma abrangente e com urgência (Charter, Pan, & Black, 2023).

Apesar dos obstáculos à implementação de práticas ecologicamente corretas, a crescente conscientização sobre as maneiras de produzir, disseminar e descartar a moda de forma sustentável permite que designers, fabricantes e consumidores tomem decisões mais informadas e responsáveis (Gordon, Hill, 2015). A conscientização recente sobre os impactos ambientais em todas as etapas do ciclo de vida da moda, desde a concepção até o descarte, tem ganhado cada vez mais relevância. Tecnologias emergentes, como o biodesign – que utiliza organismos vivos como componentes essenciais de produtos – vêm ganhando destaque, apresentando um potencial transformador para a indústria da moda. Contudo, ainda são necessárias mais pesquisas para compreender os fatores sociológicos que podem impulsionar e sustentar o papel do biodesign na inovação de coloração e pigmentos têxteis (Wissinger, 2021).

Questões relacionadas ao uso de materiais, como a extração de petróleo para fibras sintéticas e a poluição das águas por produtos químicos de tingimento, estão no centro desse debate. No entanto, a falta de dados acessíveis e a disseminação de desinformação dificultam uma avaliação precisa desses impactos (Holroyd, Hill, Twigger, 2023). Apesar dos desafios, a crescente conscientização sobre práticas de produção e consumo oferece a designers, fabricantes e consumidores a oportunidade de fazer escolhas mais informadas e responsáveis e impulsiona uma mudança de paradigma, na qual o design e a produção de moda buscam alinhar-se com princípios éticos e ecológicos (Gordon, Hill, 2015).

Em vista disso, a interseção entre moda e sustentabilidade é, portanto, um campo complexo e dinâmico, que exige uma reavaliação crítica dos processos de produção das grandes indústrias, consumo e descarte de roupas. No entanto, esse movimento enfrenta desafios históricos profundamente enraizados, que continuam a influenciar a maneira como a moda é concebida e consumida, exigindo abordagens inovadoras para mitigar os impactos negativos acumulados ao longo das décadas (Charter, Pan, Black, 2023).

Nesse contexto, torna-se imperativo repensar o design em parceria com a natureza. A sustentabilidade ambiental, um dos pilares dessa abordagem, requer um afastamento das práticas de design contemporâneas que só visam lucros e adotar práticas que realmente fomentem e fortaleçam comunidades sociais locais. Ao adotar uma abordagem que valoriza a colaboração com a natureza, é possível promover a regeneração e a sustentabilidade a longo prazo. Outrossim, o reconhecimento da interdependência entre humanos e outras formas de vida dentro de um ecossistema interconectado reforça a importância de criar soluções de design que respeitem e preservem esse equilíbrio (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Trabalhar em parceria com a natureza pode, portanto, enriquecer cultural e espiritualmente os designers, promovendo uma conexão mais profunda e respeitosa com o mundo natural. A natureza, fonte inesgotável de inovação, serve como inspiração para avanços tecnológicos mais eficientes e sustentáveis. Um exemplo é a biomimética, um campo interdisciplinar que busca nas funções naturais soluções inovadoras para os desafios humanos.

A palavra biomimética vem do grego *bios* (vida) e *mimesis* (imitação), e o conceito se baseia na observação de processos, sistemas e estruturas naturais, e na adaptação desses princípios para criar tecnologias, materiais e designs mais eficientes, sustentáveis e inovadores. Um exemplo clássico de biomimética é o desenvolvimento do velcro, inspirado na forma como os ganchos minúsculos das sementes de carrapicho se prendem ao pêlo dos animais. Outro exemplo é o estudo das asas de insetos e pássaros para melhorar a aerodinâmica de aviões e drones. Ao emular soluções testadas e refinadas pela natureza ao longo de milhões de anos de evolução, a biomimética oferece uma abordagem poderosa e sustentável para inovação e resolução de problemas.

Incorporar o conhecimento indígena, acumulado ao longo de gerações, também é outra forma de conduzir as práticas de design mais sustentáveis, respeitadas sem apropriação de maneira a trabalhar junto com etnias e comunidades. A natureza, com sua capacidade inata de adaptação e resiliência, oferece inspiração para soluções de design flexíveis e capazes de se ajustar às mudanças ambientais e sociais. Repensar o design não apenas visa mitigar os impactos negativos das práticas tradicionais, mas também proteger o planeta para as futuras gerações (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Esta mudança de paradigma, que transcende o antropocentrismo ou as novas eras geológicas citadas anteriormente, valoriza todas as formas de vida e transforma a maneira como projetamos e interagimos com o mundo, criando soluções mais holísticas e inclusivas. Adotar uma abordagem de design que considere o impacto total sobre o meio ambiente e as comunidades promove uma ética de responsabilidade e cuidado, fundamental em um momento em que as consequências das ações humanas são mais visíveis e prejudiciais do que nunca (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Para que mudanças significativas ocorram no campo do design, é fundamental explorar novas relações entre o design e a natureza. Esses vínculos devem valorizar a diversidade, a abundância, as ricas histórias e a criatividade do mundo que os seres humanos compartilham com outras espécies, promovendo a continuidade e a sobrevivência de todas as formas de vida.

Este capítulo, fundamentado nas ideias presentes no livro *“Design and Nature: A Partnership”*, da pesquisadora Kate Fletcher (2019), propõe uma nova orientação para o design. Historicamente, no Norte Global, o design tem sido amplamente associado ao progresso industrial, ao capitalismo e à modernidade, resultando em uma abordagem predominantemente mecânica e artificial, como pode ser observado em exemplos de arquitetura e design de interiores, como a padronização industrializada das lojas da rede McDonald’s em todo o mundo. No entanto, este capítulo defende uma perspectiva alternativa: a construção de uma parceria autêntica e sustentável entre o design e a natureza, onde o processo criativo integre e respeite os princípios naturais (Fletcher, Pierre & Tham, 2019).

Envolver estudantes e profissionais em práticas de design que incorporam a natureza pode aumentar a conscientização sobre questões ambientais, preparando uma nova geração de designers comprometidos com a sustentabilidade. Em suma, repensar e reaprender a fazer design em parceria com a natureza é vital para garantir a sustentabilidade do planeta, promover resiliência e adaptação,

incorporar conhecimentos valiosos e fomentar uma relação mais ética e respeitosa com o meio ambiente, beneficiando todos os seres vivos (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

Dessa forma, a moda sustentável emerge como um campo em constante evolução, desafiando a indústria a abordar de maneira integrada os problemas ambientais, sociais e culturais que a afligem há décadas. Essa abordagem exige não apenas a revisão dos processos produtivos e a consideração de materiais alternativos, mas também o reconhecimento da importância da equidade, tanto dentro das gerações humanas quanto entre todas as espécies. Portanto, a moda sustentável não é apenas uma resposta às crises contemporâneas, mas uma proposta de transformação profunda que abrange todos os aspectos da vida no planeta (Charter, Pan, Black, 2023).

É importante, entretanto, reconhecer que esse movimento em direção a um design mais alinhado com a natureza ocorre em um contexto histórico mais amplo, onde a relação entre ciência, tecnologia e natureza tem sido complexa e, muitas vezes, conflituosa. A busca pelo conhecimento gerou reações adversas,

exemplificadas pelo movimento romântico, que criticava a dissecação científica da natureza e a perda de sua essência misteriosa e poética (Fletcher, Pierre, Tham, 2019).

A interação entre a exploração científica e a sensibilidade romântica continua a moldar nossa compreensão e utilização dos materiais na sociedade moderna. É preciso reconhecer que as conquistas científicas, embora poderosas, devem ser empregadas com responsabilidade pelo mundo natural. Este equilíbrio é fundamental para que possamos navegar pelas complexidades da nova era geológica em que vivemos, onde a ciência dos materiais, o design e a sustentabilidade devem convergir para criar um futuro mais harmonioso e resiliente para todas as formas de vida.

A transição para um design mais sustentável e em harmonia com a natureza, como defendido pelas literaturas da moda sustentável, reflete uma continuidade histórica de esforços para compreender e manipular os materiais de nosso mundo. Desde os tempos antigos, as sociedades desenvolveram materiais de forma empírica, sem o conhecimento das complexas teorias científicas que

hoje utilizamos. No entanto, esses avanços, guiados pela intuição e pela experimentação prática, resultaram em descobertas fundamentais que continuam a moldar nossa vida moderna. A busca por materiais que combinam estética, funcionalidade e respeito ao ambiente é um reflexo dessa herança, onde a necessidade de inovação é equilibrada pela reverência aos processos naturais.

O avanço da ciência dos materiais, que será abordada detalhadamente no próximo tópico, permitiu transformações radicais na sociedade, mas também trouxe à tona a necessidade de repensar essas inovações à luz de um entendimento mais profundo das consequências ambientais e sociais. Hoje, ao confrontarmos os desafios do século XXI, a história nos ensina que a verdadeira inovação reside na integração do conhecimento científico com um compromisso ético de preservar e regenerar o mundo natural. Em resumo, o design em parceria com a natureza e os seres vivos é uma abordagem que reconhece a interdependência entre humanos e o meio ambiente, promovendo soluções que são simultaneamente inovadoras, sustentáveis e estão em harmonia com o mundo natural.

2.3 A Ciência dos Materiais e o design de moda sustentável

Nas sociedades antigas, os materiais eram desenvolvidos empiricamente, sem o conhecimento das leis da termodinâmica, das estruturas cristalinas, dos diagramas de fases ou de outras teorias modernas da ciência dos materiais. Ainda assim, nossos ancestrais foram capazes de descobrir e desenvolver a maioria dos principais materiais que utilizamos até hoje, como metais, concretos, pigmentos, cerâmicas, compósitos e vidros. Embora cada civilização antiga tenha avançado em suas tecnologias de materiais, esses avanços ocorreram de maneira experimental, e foi apenas no século XX que uma teoria dedutiva dos materiais foi plenamente desenvolvida. As raízes dessa abordagem teórica podem ser encontradas no Renascimento europeu, nos séculos XV e XVI, quando a prática da alquimia, apesar de envolta em ocultismo, incitou uma busca pelos princípios ocultos por trás da natureza transformadora de alguns processos materiais e da aparente imutabilidade de substâncias (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Esses experimentos alquímicos resultaram, entre outras coisas, na criação de novos pigmentos, mordentes e ligantes, que foram utilizados por artistas renomados do Renascimento, como Michelangelo e Ticiano. Dessa forma, o desenvolvimento de materiais foi impulsionado tanto por objetivos estéticos quanto tecnológicos. Além disso, durante o Renascimento, houve o início da aplicação de métodos mais empíricos e científicos em relação ao estudo dos materiais. Pioneiros como Galileu Galilei e outros começaram a utilizar princípios matemáticos e experimentais para investigar o comportamento dos materiais em diversas condições (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Convém ressaltar ainda que na época do Renascimento, teve início a exploração colaborativa de materiais entre as artes e as ciências. Esse foi um momento de grande confluência entre diferentes disciplinas, em que artistas e cientistas começaram a trabalhar juntos para expandir o conhecimento e criar inovações que combinavam arte, ciência e tecnologia. Leonardo da Vinci, um dos grandes ícones do Renascimento, exemplifica a intersecção entre arte, ciência e engenharia, investigando materiais e suas propriedades em seus estudos sobre mecânica, construção e pintura. Da Vinci explorou a tensão e a resistência dos materiais em suas invenções como também experimentou com diferentes pigmentos e técnicas de pintura, o que resultou em obras de arte duradouras e tecnicamente inovadoras. Da Vinci não só era um pintor renomado, mas também um cientista e engenheiro que pesquisava a anatomia humana, a mecânica, e a física.

A abertura a novos modos de pensamento sobre o mundo natural, iniciada durante o Renascimento, eventualmente levou à rejeição dos princípios aristotélicos de intuição e dogma. Ao fazê-lo, os filósofos naturais da época descobriram uma vasta gama de novos fenômenos, como a eletricidade, por exemplo. Esse

período de intensa atividade intelectual culminou no nascimento do conceito de “cientista” (embora o termo tenha sido cunhado muito mais tarde), conforme ilustrado pelo pensamento de Santiago Ramón y Cajal (1897):

O intelecto é apresentado com fenômenos desfilando em revisão diante dos órgãos sensoriais. Ele pode ser verdadeiramente útil e produtivo apenas quando se limita às modestas tarefas de observação, descrição e comparação, e de classificação baseada em analogias e diferenças. O conhecimento das causas subjacentes e das leis empíricas surgirá lentamente através do uso de métodos indutivos. Outro lugar-comum que vale a pena repetir é que a ciência não pode esperar resolver Causas Últimas. Em outras palavras, a ciência nunca poderá entender o fundamento escondido sob a aparência dos fenômenos no universo. Como Claude Bernard apontou, os pesquisadores não podem transcender o determinismo dos fenômenos; sua missão está limitada a demonstrar o como, nunca o porquê, das mudanças observadas. Isso é um objetivo modesto aos olhos da filosofia, mas um desafio imponente na prática real (Drazin, Kuchler, 2015, p. 71 e 72, tradução nossa).

Outro aspecto a ser considerado na evolução da Ciência dos Materiais foi a divisão filosófica entre os românticos e os racionalistas. Essa divisão refletia uma profunda tensão entre duas visões de mundo em resposta às mudanças rápidas e transformadoras trazidas pelo progresso industrial. De um lado, os racionalistas, influenciados pelo Iluminismo, defendiam a ciência, a tecnologia e o progresso como os caminhos para a melhoria da humanidade. Eles viam a industrialização como uma força positiva que traria eficiência, inovação e desenvolvimento econômico, acreditando que a aplicação da razão poderia resolver os problemas sociais e transformar a sociedade para melhor. Por outro lado, os românticos reagiram contra o que percebiam como os aspectos desumanizadores e destrutivos da Revolução Industrial. Inspirados por uma visão mais emocional e espiritual da vida, os românticos valorizavam a natureza, a individualidade e as tradições culturais, que pareciam estar sendo esmagadas pelo avanço impiedoso da máquina e da racionalidade.

A divisão entre românticos e racionalistas aprofundou-se ao longo do século XIX, à medida que a Revolução Industrial se consolidava. O aço, material emblemático desse século, permitiu aos engenheiros concretizarem suas visões de pontes suspensas, ferrovias, motores a vapor e navios de passageiros. Assim, o aço tornou-se um símbolo material de transformação da paisagem e da propagação do modernismo. A industrialização do campo, das cidades e das metrópoles demonstrou o poder da ciência em transformar a sociedade, elevando os engenheiros à posição de arquitetos da mudança cultural (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Entretanto, essa divisão não é ideal por várias razões. Em primeiro lugar, a comunidade de artes e materiais tem um papel limitado na determinação do foco da pesquisa em materiais financiada publicamente, que é atualmente dominada pelos setores militar e industrial. Em segundo lugar, o setor cultural tem uma longa história de propor soluções de problemas que não só beneficiam as artes, mas também impulsionam avanços científicos. Em terceiro lugar, os materiais têm uma imensa significância cultural, e a introdução de novos materiais por uma comunidade científica isolada pode intensificar ainda mais a divisão entre cientistas e sociedade (Drazin, Küchler, 2015).

O projeto científico de catalogar os fenômenos do mundo natural levou ao desenvolvimento de um vasto corpo de teoria dedutiva, que não apenas proporcionou uma nova compreensão dos fenômenos observados, mas também previu a existência de novos fenômenos. Esse avanço foi especialmente significativo para a tecnologia de materiais. Com o progresso da Química no século XIX, tornou-se possível explorar sistematicamente as propriedades dos materiais. A criação da tabela periódica é um exemplo notável desse progresso, pois permitiu prever a existência de elementos que ainda não haviam sido descobertos. Essa sistematização levou à criação de novos pigmentos, como o Azul Cobalto e o Amarelo Cádmio, que, por sua vez, influenciaram movimentos artísticos como o Impressionismo e o surgimento dos Teóricos da Cor (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

O século XX foi um período de revolução nos materiais, com a ciência dos materiais desempenhando um papel central na transformação de áreas como arquitetura, design de produtos, urbanismo, tecnologia de transporte, medicina, artes visuais e performáticas, e agora a moda. No entanto, essa revolução evidenciou a divisão entre as artes e as ciências, resultando em uma separação entre cientistas, tecnólogos e industriais, por um lado, e designers, arquitetos, artesãos e artistas, por outro (Drazin, Küchler, 2015).

Frequentemente denominado a “era do silício” devido ao impacto dos materiais que impulsionaram a revolução digital, o século XX também foi marcado pela proliferação de novos materiais que transformaram diversos aspectos da vida cotidiana. Arquitetos utilizaram vidro produzido em massa e aço estrutural para criar arranha-céus, revolucionando o panorama urbano. Ao mesmo tempo, designers de produtos e moda exploraram os novos usos dos plásticos para transformar o ambiente doméstico e influenciar tendências de moda (Drazin, Küchler, 2015).

Polímeros, como a celuloide, permitiram o surgimento do cinema, causando uma mudança radical na cultura visual. Ligas de alumínio e superligas de níquel possibilitaram avanços na aviação, alterando as interações culturais em escala global. No campo da medicina, cerâmicas médicas e odontológicas permitiram a reconstrução do corpo humano, transformando as percepções sociais sobre deficiência e envelhecimento. Além disso, materiais compósitos, como fibra de vidro e plásticos reforçados com fibra de carbono, tiveram um impacto significativo no design de equipamentos esportivos (Drazin, Küchler, 2015).

A ciência dos materiais, enquanto disciplina, dedica-se ao estudo detalhado da estrutura dos materiais, fundamentando-se no princípio central de que uma determinada estrutura sempre resultará em um conjunto específico de propriedades. Esse conhecimento permite o controle das propriedades dos materiais, como resistência e tenacidade, por meio da manipulação estrutural. O desenvolvimento dessa ciência tornou-se possível graças ao advento de instrumentos científicos, como microscópios ópticos e eletrônicos, que permitem a observação das estruturas em diferentes escalas. Esse processo de observação alimenta uma teoria robusta que, em conjunto com simulações e experimentos, proporciona uma estrutura sistemática para a criação de novos materiais (Callister JR, Rethwisch, 2020).

A relação íntima entre a ciência dos materiais e a engenharia tem sido um motor essencial para a inovação, particularmente em setores onde a melhoria de desempenho é crucial para a sobrevivência comercial, como as indústrias eletrônica e aeroespacial. O design de motores a jato envolve uma colaboração multidisciplinar entre engenheiros e cientistas de materiais, que trabalham em diversas escalas para otimizar o desempenho e reduzir custos, promovendo simultaneamente a segurança. A capacidade de compartilhar informações em diferentes níveis de forma eficaz entre esses profissionais tem sido uma inovação fundamental nesse contexto (Callister JR, Rethwisch, 2020).

No entanto, quando se trata de estruturas cujo desempenho não depende apenas de parâmetros físicos, mas também de propriedades psicofísicas, a abordagem de desenvolvimento de materiais muda significativamente. Se por um lado as propriedades físicas referem-se às características intrínsecas que podem ser medidas e observadas sem alterar a composição química do material, por outro lado, as propriedades psicofísicas envolvem a percepção sensorial e a experiência humana ao interagir com os materiais. Estas propriedades não são puramente físicas, mas dependem da interação entre as características do material e os sentidos humanos, como visão, tato e audição. A compreensão das propriedades psicofísicas também é crucial no desenvolvimento de interfaces hápticas e produtos que requerem uma resposta sensorial específica, como tecidos que parecem confortáveis ou superfícies que transmitem uma sensação de qualidade.

As propriedades psicofísicas, como a estética e o apelo sensorial dos materiais, apresentam uma subjetividade que as coloca fora do domínio estrito da ciência dos materiais. Por exemplo, a percepção estética de um interior feito de madeira ou metal depende tanto de fatores culturais quanto da biologia humana. Materiais são frequentemente descritos como “quentes” ou “frios” com base em sua capacidade de conduzir calor, uma característica quantificada por estudos específicos (Bak-Andersen, 2021). Além disso, a interface entre os seres humanos e o ambiente material é mediada por sensações como cor, cheiro, som, toque e gosto, as quais possuem componentes tanto biológicos quanto culturais. A percepção dessas propriedades é complexa e depende do contexto e da experiência sensorial completa, como demonstrado pela influência do olfato na percepção do sabor (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

A crescente importância das propriedades psicofísicas dos materiais em contextos como interiores de edifícios e vestuário reflete uma mudança significati-

va na abordagem de desenvolvimento de materiais. Nesse cenário, a comunidade de ciência dos materiais assume um papel central, entendendo profundamente as necessidades humanas e culturais que vão além dos parâmetros puramente físicos. Essa perspectiva é essencial para criar ambientes e produtos que priorizam o conforto e a satisfação sensorial, um aspecto que não pode ser ignorado na ciência dos materiais. A integração dessas propriedades sensoriais em processos de design demonstra a complexidade envolvida na percepção humana, que é influenciada tanto pela biologia quanto pela cultura. Essa abordagem multidimensional no desenvolvimento de materiais é ainda mais crucial em um momento em que as demandas por sustentabilidade e inovação estão em constante crescimento (Drazin, Küchler, 2015).

Pesquisas realizadas por Ashby e Johnson (2002) exploraram as relações entre as propriedades físicas e psicofísicas dos materiais, criando mapeamentos que categorizam materiais com base em suas características sensoriais, como as propriedades acústicas. Esses mapeamentos são ferramentas valiosas para designers e artesãos, permitindo a categorização e seleção de materiais com base em suas propriedades sensoriais, utilizando bancos de dados da ciência dos materiais (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Essa abordagem inovadora permite que designers modernos desenvolvam novos materiais com combinações específicas de propriedades físicas e psicofísicas, sem depender exclusivamente de métodos empíricos. Diferente dos fabricantes de instrumentos do século XVII, que confiavam em tentativa e erro, os cientistas de materiais contemporâneos têm à disposição uma ampla gama de ferramentas analíticas para correlacionar as estruturas internas dos materiais com suas propriedades sensoriais (Drazin, Küchler, 2015).

O cenário dos materiais está passando por transformações radicais. A escassez crescente de recursos, novos desafios energéticos e restrições ambientais mais rigorosas estão forçando produtores e desenvolvedores a adotarem uma nova mentalidade. Os consumidores demandam cada vez mais produtos que priorizam a sustentabilidade e a cultura de design de produtos sustentáveis. O fator sustentabilidade tornou-se um diferencial competitivo crucial, refletindo as rápidas mudanças na orientação da cultura industrial (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Paralelamente, o papel percebido do designer no processo de inovação também passou por uma reorientação. O designer deixou de ser apenas um implementador orientado para aplicação e passou a ser visto como um pensador original que, por meio de um diálogo ativo com os fabricantes, promove o desenvolvimento de novos materiais ou processos de produção, ou até os desenvolve por conta própria. Essa reorientação reflete a crescente ênfase na sustentabilidade e na resposta às necessidades do mercado, onde o desempenho dos materiais é tão valorizado quanto suas características estéticas e sensoriais. Os avanços recentes em materiais sustentáveis, como bioplásticos e biomateriais, exemplificam essa nova abordagem integrada, que

combina inovação tecnológica com responsabilidade ambiental. O diálogo contínuo entre designers e fabricantes, agora mais colaborativo e simultâneo, assegura que os materiais desenvolvidos sejam não apenas tecnicamente viáveis, mas também culturalmente ressonantes e ecologicamente sustentáveis (Ramakrishna, Seeram, 2004).

Diversos desenvolvimentos indicam uma mudança significativa na visão tradicional da inovação (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013). Como já visto, designers não são mais vistos como responsáveis apenas pelo “embelezamento pós-produção” na fase final de uma inovação tecnológica. Em vez disso, eles se tornaram parceiros iguais e parte integrante do processo de desenvolvimento (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013). O desenvolvimento de materiais e a criação de suas aplicações não ocorrem mais de forma sequencial, mas de maneira simultânea (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013). Essa abordagem permite que, desde o início, o desenvolvimento dos materiais considere informações cruciais sobre o contexto futuro de sua aplicação. Além disso, atendendo aos anseios de muitos pesquisadores de inovação, as necessidades do mercado tornam-se o foco central das atividades de pesquisa desde as etapas iniciais (Ramakrishna, Seeram, 2004).

Os designers têm incorporado avanços científicos de maneira estratégica para atender à crescente demanda por uma cultura de produtos que valorize a sustentabilidade. Nesse contexto, é compreensível que grande parte dessas inovações tenha se concentrado no desenvolvimento de materiais bio-baseados e bio fabricados, bem como em soluções inovadoras para construções leves e materiais inteligentes. Esses avanços refletem uma busca contínua por práticas de design que não apenas minimizem o impacto ambiental, mas também promovam a regeneração dos ecossistemas e a eficiência dos recursos.

Essa mudança na percepção do papel do designer, aliada à crescente consciência da importância da sustentabilidade no design, é evidente nos inúmeros avanços recentes nos campos de materiais e tecnologias. Exemplos desses desenvolvimentos incluem bioplásticos derivados de algas, móveis com superfícies feitas de celulose bacteriana, e estofados de automóveis feitos com biomaterial de fibras vegetais. Tais inovações se consolidaram como parte do conhecimento estabelecido na pesquisa de alta tecnologia (Karana, Pedgley, Rognoli, 2013).

Em síntese, à medida que a ciência dos materiais e a engenharia continuam a desenvolver novas técnicas para a criação de materiais inovadores e eco-amigáveis, a consideração das propriedades psicofísicas, aquelas que incluem aspectos sensoriais e culturais, abre novas fronteiras para o design em parceria com a natureza. É preciso resgatar, em parte, a visão holística que unia arte e ciência da época do Renascimento. Essas interações complexas exigem uma abordagem que transcenda a simples manipulação estrutural, integrando uma compreensão profunda das percepções humanas e das relações culturais e naturais que moldam a experiência sensorial dos materiais.

2.3.1 Introdução aos Polímeros, biopolímeros, compósitos e biocompósitos

Polímeros

A palavra polímero vem do grego e significa “muitas partes”, o que reflete bem a natureza dessas moléculas, compostas por várias unidades conectadas. No entanto, a compreensão moderna dos polímeros, como macromoléculas com estruturas repetitivas, só começou a se formar na década de 1920, com os trabalhos do químico alemão Hermann Staudinger, que introduziu o termo macromolécula, para descrever essas grandes moléculas. Antes disso, a química dos polímeros era mal compreendida, com termos e conceitos diferentes dos que usamos hoje (Callister JR, Rethwisch, 2020).

A compreensão moderna dos polímeros, iniciada com os estudos de Staudinger, trouxe à luz a complexidade dessas macromoléculas, compostas por unidades repetitivas chamadas monômeros. Os polímeros podem ser classificados de várias maneiras, como por sua origem, sendo naturais ou sintéticos, ou pelo modo como são formados. Polímeros de adição são aqueles formados pela simples adição de monômeros sem perda de átomos, enquanto polímeros de condensação são formados com a eliminação de pequenas moléculas, como a água. A estrutura do polímero também pode variar, sendo linear, ramificada ou tridimensional, influenciando diretamente suas propriedades e aplicações (Callister JR, Rethwisch, 2020).

Alguns polímeros podem ser encontrados na natureza, como a celulose das plantas ou as proteínas no corpo humano, mas também podem ser criados em laboratórios. Os polímeros sintéticos são especialmente importantes na sociedade moderna, substituindo materiais naturais em muitas aplicações devido à sua durabilidade e custo mais baixo. A estrutura e a composição de um polímero determinam suas propriedades, como resistência e flexibilidade, o que torna essencial a compreensão dessas características para o desenvolvimento de novos materiais (Callister JR, Rethwisch, 2020).

O tamanho de um polímero depende da quantidade de monômeros que ele contém, e essa quantidade é conhecida como grau de polimerização (DP). A maioria dos polímeros que conhecemos e usamos no dia a dia é orgânico, formados principalmente por átomos de carbono, que se ligam entre si e com outros elementos, como hidrogênio e oxigênio, por meio de ligações químicas fortes chamadas ligações covalentes (Nicholson, 2006).

Essas ligações não são as únicas forças que mantêm as moléculas de polímero unidas. Também existem forças intermoleculares, que são interações mais fracas entre diferentes partes das moléculas, como as forças dipolo-dipolo e de

dispersão de London, que afetam as propriedades físicas do material. Um tipo importante de interação intermolecular é a ligação de hidrogênio, que desempenha um papel crucial em polímeros como as proteínas, ajudando a manter sua estrutura necessária para funções biológicas (Nicholson, 2006).

No entanto, à medida que a sociedade se torna cada vez mais consciente dos impactos ambientais causados pelo uso extensivo de polímeros derivados do petróleo, a pesquisa e o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis têm ganhado destaque. Polímeros bio-baseados, de biomassa ou bio fabricados, produzidos a partir de fontes renováveis como plantas e resíduos agrícolas, surgem como substitutos promissores, alinhando-se ao movimento global em direção à sustentabilidade. Esses novos materiais representam não apenas uma evolução técnica, mas também uma resposta necessária às demandas contemporâneas por soluções que minimizem os danos ao meio ambiente, integrando o conhecimento tradicional dos polímeros com a inovação em biotecnologia (Drzal *et al*, 2005).

BioPolímeros e Biodegradabilidade

Polímeros bio-baseados, conforme definidos no *Farm Bill* de 2002, são materiais feitos total ou parcialmente de recursos biológicos renováveis, como produtos agrícolas ou florestais, no lugar de fontes fósseis, como petróleo ou gás natural. Esses polímeros têm ganhado crescente atenção e importância em resposta à demanda por materiais mais sustentáveis e à necessidade de reduzir a dependência de recursos não renováveis. Suas principais vantagens são: sustentabilidade; biodegradabilidade; menor dependência de combustíveis fósseis. Apesar das vantagens elencadas, esses polímeros enfrentam desafios como: limitações no desempenho em relação à durabilidade; resistência ao calor; alto custo de produção; impacto ambiental total, já que para sua produção é necessário o uso da terra, água e energia.

Essa definição foi ampliada em 2008 para incluir também ingredientes intermediários e matérias-primas biológicas (Greene, 2022). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estabeleceu padrões para o conteúdo mínimo de bio-base para produtos que desejam ser certificados como bio-baseados, usando o método ASTM D6866² para analisar conteúdo de base biológica.

² Este método é amplamente utilizado para diferenciar o carbono de origem biológica (renovável) do carbono fóssil (não renovável) em produtos químicos, combustíveis, polímeros e outros materiais.

Já os polímeros biodegradáveis são aqueles que podem se decompor em biomassa, dióxido de carbono (CO₂) e água sob condições específicas ao longo do tempo, cumprindo os padrões da ASTM ou ISO para biodegradação em ambientes específicos, como compostagem industrial. Essa capacidade de decomposição os torna uma alternativa atraente aos polímeros tradicionais derivados do petróleo, que podem persistir no ambiente por centenas de anos. É importante notar que, embora muitos polímeros bio-baseados também sejam biodegradáveis, nem todos os polímeros biodegradáveis são bio-baseados, alguns sendo derivados de produtos petroquímicos (Greene, 2022).

Da mesma forma que os polímeros bio-baseados, os polímeros biodegradáveis também apresentam vantagens e desvantagens. As principais vantagens são: redução da poluição plástica; potencial para a economia circular, já que podem ser reutilizados; redução da pegada de carbono. Como desvantagens elencamos os seguintes aspectos: custo mais alto de fabricação; desempenho inferior; confusão e contaminação de resíduos, já que os processos de reciclagem tradicionais não são projetados para lidar com materiais biodegradáveis.

Polímeros bio-baseados podem ser feitos a partir de ingredientes naturais como amido de milho, óleos vegetais e materiais derivados de processos de fermentação, como ácido polilático (PLA) e polihidroxialcanoato (PHA). Esses biopolímeros são amplamente utilizados em embalagens, recipientes, filamentos para impressoras 3D e produtos agrícolas. Polímeros biodegradáveis comuns, como PLA, PHA e amido termoplástico, são utilizados na produção de embalagens plásticas e podem ser processados com equipamentos tradicionais de processamento

de plásticos. Além disso, alguns polímeros biodegradáveis, como Ecoflex® e policaprolactona (PCL), são derivados de fontes petroquímicas, mas ainda atendem aos requisitos de compostagem (Greene, 2022).

Polímeros compostáveis, que atendem aos padrões de biodegradação da ASTM em condições de compostagem industrial, devem demonstrar uma conversão de carbono em CO₂ superior a 90% em até 180 dias, garantindo assim a sua decomposição segura. A avaliação do ciclo de vida (ACV) é crucial para avaliar os impactos ambientais associados à produção desses polímeros, comparando desde a extração das matérias-primas até a produção de biomateriais (Greene, 2022).

É importante perceber a diferença entre os polímeros bio-baseados e biodegradáveis, pois embora os termos sejam às vezes usados de forma intercambiável, eles se referem a características diferentes. Resumidamente, nos produtos bio-baseados suas matérias-primas são de origem biológica e eles podem ou não ser biodegradáveis. Já os polímeros biodegradáveis são materiais que podem ser decompostos por microorganismos, como bactérias e fungos, em condições ambientais específicas. A distinção é importante para entender que nem todos os polímeros bio-baseados são biodegradáveis e vice-versa, o que reflete a complexidade e as diferentes abordagens na busca por materiais sustentáveis na indústria moderna. Além disso, enquanto os polímeros biodegradáveis focam na redução do impacto ambiental através da decomposição, os polímeros bio-baseados concentram-se na utilização de recursos renováveis.

Compósitos

Os compósitos ou materiais compósitos representam uma evolução notável na engenharia de materiais, pois combinam dois ou mais materiais diferentes - sendo a matriz polimérica e a carga de reforço ou carga de enchimento os principais componentes - para criar um novo material com propriedades aprimoradas. A matriz pode ser cerâmica, polimérica ou metálica, já o reforço pode ser feito de fibras naturais ou artificiais. A matriz é responsável por distribuir as tensões para o reforço.

Existem diferentes tipos de compósitos, geralmente identificados com base no tipo de matriz e no reforço utilizado. Esses materiais são projetados para maximizar as qualidades desejadas de cada componente, resultando em produtos que são frequentemente mais leves, mais fortes, ou mais resistentes ao desgaste do que os materiais convencionais. Os compósitos são classificados em três grupos principais: compósitos fibrosos, compósitos laminados e compósitos particulados.

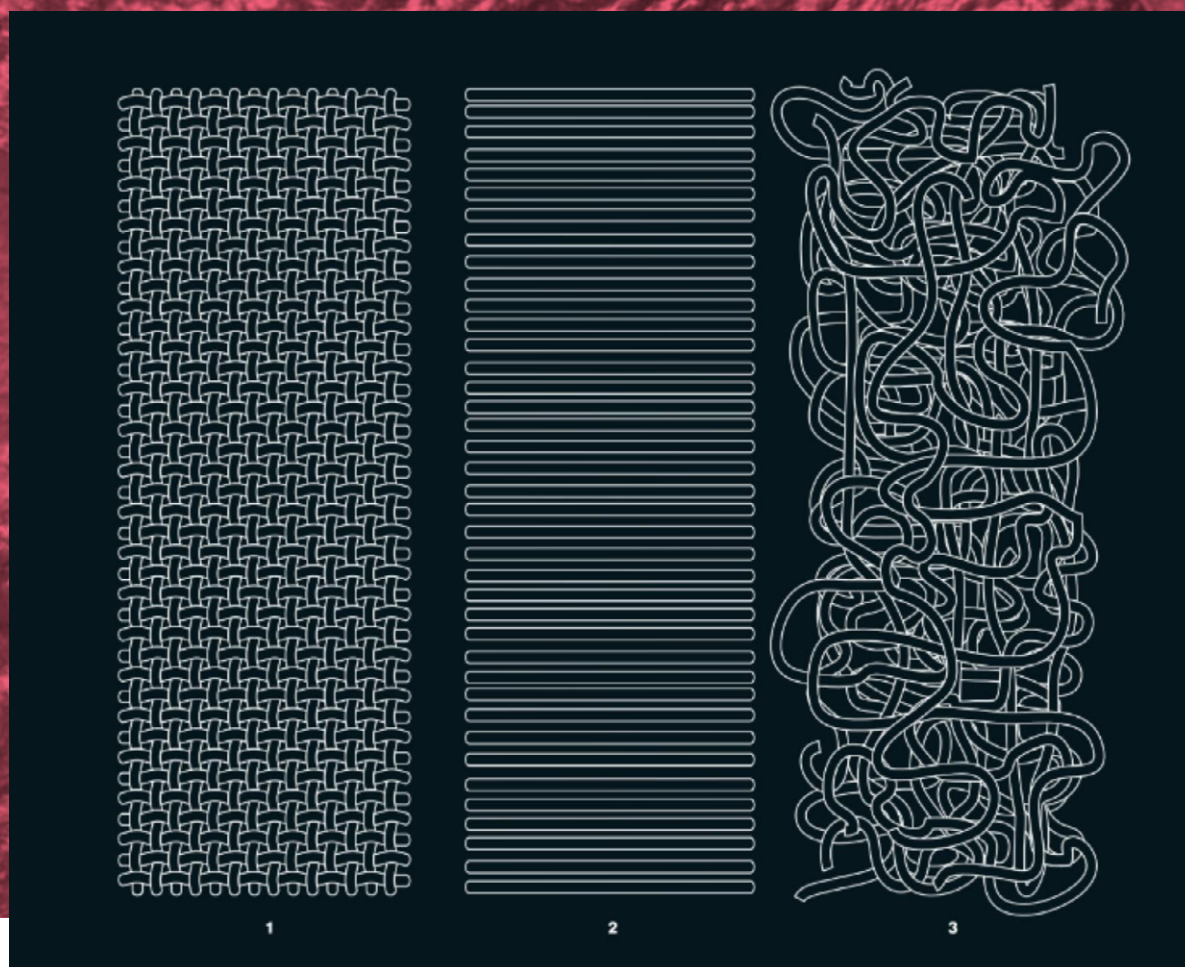
Alguns exemplos de compósitos são:

- Compósitos de partículas: Betão e asfalto;
- Compósitos de fibras: Kevlar e poliéster;
- Compósitos laminares: Laminados de fibras e resina.

Compósitos fibrosos são materiais constituídos por uma matriz e um elemento de reforço, composto por fibras. A combinação de materiais com propriedades físicas ou químicas distintas resulta em características superiores, como maior resistência, durabilidade e eficiência. Esses compósitos podem ser classificados de acordo com a disposição das fibras na estrutura, as quais podem ser contínuas ou descontínuas (Kula, Ternaux, 2012).

Os compósitos reforçados com fibras são os mais eficientes em termos de reforço, utilizando fibras contínuas ou descontínuas de materiais orgânicos como as fibras vegetais e animais e inorgânicos como vidro, carbono ou aramida. A eficiência depende da ligação entre a fibra e a matriz, que deve ser dúctil para transmitir eficientemente a carga às fibras. Na Figura 1 podemos visualizar alguns tipos de reforços com fibras (Kula, Ternaux, 2012).

Figura 1 - Tipos de reforços com fibras em compósitos 1) trançado; 2) fibras unidirecionais e 3) manta, não tecido ou feltragem.



Fonte: *Materiologia (20) Traduzido e adaptado pela autora (2024).*

Compósitos de matriz polimérica (PMCs) são amplamente utilizados devido às suas propriedades à temperatura ambiente, facilidade de fabricação e custo. Eles podem ser reforçados com fibras de vidro, carbono ou aramida, cada um com características e aplicações específicas, como alta resistência, rigidez ou resistência ao impacto (Callister JR, Rethwisch, 2020).

Compósitos de matriz metálica (MMCs) e de matriz cerâmica (CMCs) são utilizados em aplicações que exigem alta resistência a temperaturas elevadas e ao desgaste. Compósitos de carbono-carbono são compostos de fibras de carbono em uma matriz de carbono pirolisado, utilizados em situações que exigem alta resistência a temperaturas extremas (Callister JR, Rethwisch, 2020).

Os compósitos híbridos, que contêm diferentes tipos de fibras, permitem o design de materiais com um conjunto equilibrado de propriedades. A produção desses materiais envolve técnicas como pultrusão, enrolamento de filamentos e produção de pré-impregnados, cada uma com vantagens e desvantagens dependendo da aplicação (Callister JR, Rethwisch, 2020).

Além dos compósitos convencionais, os materiais de estrutura sanduíche, como o sanduíche de alumínio-polietileno-alumínio, são usados em aplicações que exigem leveza e eficiência, enquanto materiais em forma de colmeia oferecem alta resistência à compressão e baixo peso, sendo amplamente utilizados na indústria aeronáutica (Callister JR, Rethwisch, 2020).

A fabricação e o processamento de compósitos frequentemente utilizam técnicas como moldagem por contato, spray-up e moldagem por compressão, além de métodos exclusivos para compósitos, como compressão entre placas aquecidas, moldagem por transferência de resina e moldagem por pultrusão (Callister JR, Rethwisch, 2020).

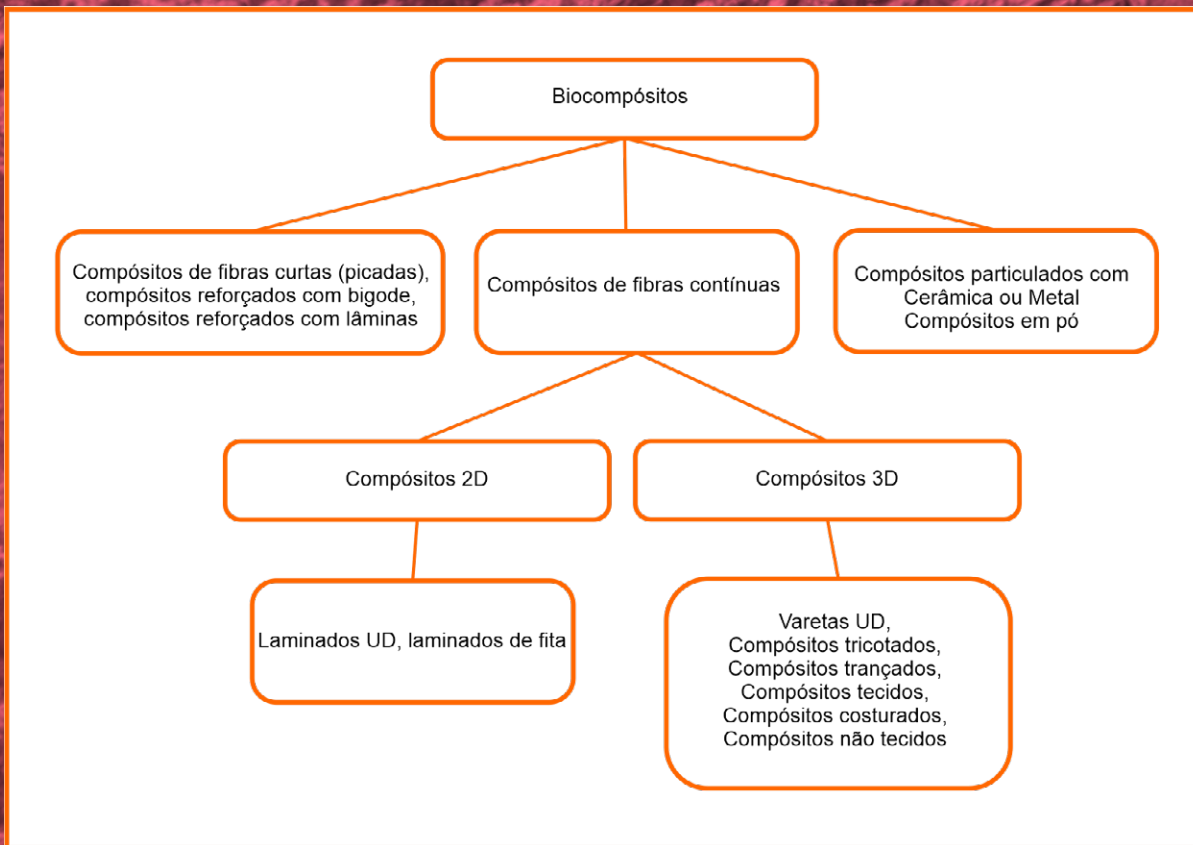
Embora os compósitos ofereçam combinações superiores de propriedades mecânicas e físicas, sua reciclagem ainda apresenta desafios significativos. Isso tem levado ao desenvolvimento de produtos monomateriais, como compósitos de polipropileno, que facilitam a reciclagem e melhoram o desempenho do material. Além disso, o uso de fibras naturais, como o cânhamo, está ganhando destaque como alternativa sustentável, aproveitando recursos renováveis para criar materiais de alto desempenho. Os materiais compósitos representam um dos campos mais dinâmicos da ciência dos materiais, com potencial significativo para transformar indústrias e contribuir para um futuro mais sustentável.

Biocompósitos

Os biocompósitos são materiais formados pela combinação de uma matriz biológica ou biodegradável (ligante) com fibras naturais, artificiais ou sintéticas (reforço), criando um material compósito. Esses materiais têm ganhado atenção em diversas indústrias, como automotiva, construção civil, embalagens e moda, devido ao seu potencial de promover sustentabilidade, biodegradabilidade e redução do impacto ambiental em comparação com compósitos sintéticos convencionais. A matriz dos biocompósitos pode ser derivada de recursos naturais ou de polímeros biodegradáveis, como o ácido polilático (PLA), um termoplástico biodegradável proveniente de recursos renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar. Outros exemplos incluem polímeros à base de amido, que são derivados de amido natural e amplamente utilizados em embalagens, além das biorresinas, obtidas a partir de óleos ou açúcares naturais, oferecendo uma alternativa sustentável às resinas sintéticas (Drzal *et al*, 2005).

O reforço nos biocompósitos é geralmente composto por fibras naturais, que proporcionam resistência e rigidez ao material. Exemplos comuns incluem linho, conhecido por sua alta resistência e rigidez; cânhamo, que oferece boas propriedades mecânicas e benefícios ambientais; juta, amplamente disponível e de baixo custo, com boa resistência à tração; e bambu, um material de crescimento rápido com uma alta relação força-peso. Esses biocompósitos apresentam várias vantagens, especialmente ambientais. Eles são frequentemente biodegradáveis e obtidos de recursos renováveis, o que reduz a dependência de combustíveis fósseis e minimiza o desperdício de plásticos. Além disso, a produção de biocompósitos geralmente resulta em emissões de gases de efeito estufa menores em comparação com materiais sintéticos. Sua versatilidade permite que sejam projetados para atender a requisitos específicos, resultando em materiais com propriedades mecânicas e térmicas desejáveis, como visto na figura 2.

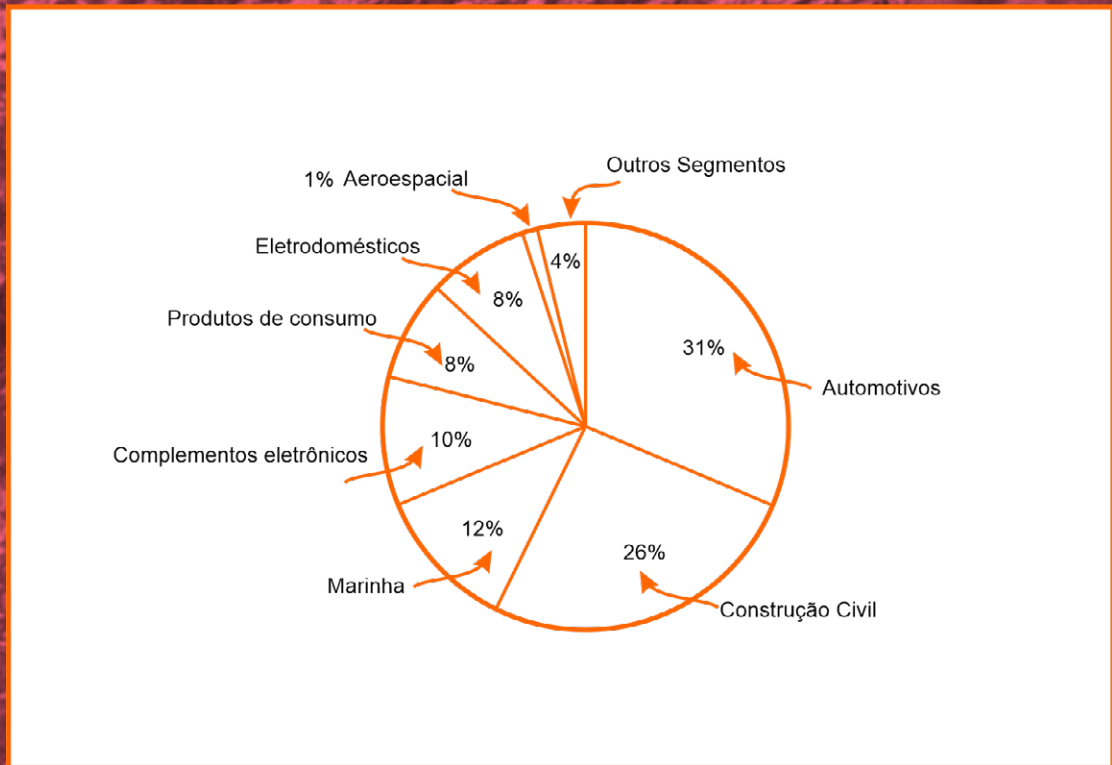
Figura 2 - Classificação dos biocompósitos com base em sua forma de reforço.



Fonte: Drzal et al, 2005, Traduzido e adaptado pela autora (2024).

Esses materiais têm uma ampla gama de aplicações, como apresentado na figura 3. Na indústria automotiva, são usados em painéis internos, painéis de controle e outros componentes, ajudando a reduzir o peso dos veículos e, conseqüentemente, a melhorar a eficiência do combustível. No setor da construção, são empregados em materiais de isolamento, componentes estruturais e elementos decorativos. Em embalagens, os biocompósitos são utilizados para reduzir o uso de plásticos convencionais. Na moda e nos têxteis, esses materiais são aplicados na produção de tecidos e acessórios sustentáveis. Contudo, o uso de biocompósitos não está isento de desafios. As fibras naturais podem apresentar variabilidade em suas propriedades, o que pode afetar a consistência dos biocompósitos. Além disso, alguns desses materiais podem ter menor durabilidade em certas condições ambientais em comparação com os sintéticos. O custo de produção também pode ser mais elevado do que os materiais convencionais, embora se espere que isso diminua com o avanço tecnológico e o aumento da escala de produção.

Figura 3 - Mercado de biocompósitos



Fonte: *An Introduction to biocomposites* (2004) Traduzido e adaptado pela autora (2024).

O futuro dos biocompósitos é promissor, com pesquisas em andamento focadas na melhoria de suas propriedades, redução de custos e expansão de suas aplicações. Inovações em biotecnologia e ciência dos materiais são esperadas para impulsionar o desenvolvimento de novos biocompósitos com desempenho aprimorado e benefícios ambientais. À medida que a conscientização sobre a sustentabilidade e a demanda por materiais ecologicamente corretos continuam a crescer, os biocompósitos estão bem posicionados para desempenhar um papel significativo na transição para uma economia mais sustentável e circular.

Especialmente na indústria têxtil, os biocompósitos representam uma abordagem animadora na busca por materiais sustentáveis. Compostos por uma matriz biológica ou biodegradável e fibras naturais, esses materiais oferecem benefícios ambientais significativos, pois são frequentemente biodegradáveis e obtidos de recursos renováveis. Sua produção resulta em emissões menores de gases de efeito estufa em comparação com materiais sintéticos, o que está em consonância com a crescente demanda por sustentabilidade e redução de impacto ambiental em várias indústrias, incluindo moda e têxteis. Os biocompósitos podem ser projetados para atender a requisitos específicos, resultando em materiais com propriedades mecânicas e térmicas desejáveis, o que abre uma ampla gama de aplicações potenciais, desde tecidos sustentáveis até acessórios ecológicos (Ramakrishna *et al*, 2004).

No entanto, o uso de biocompósitos enfrenta desafios. As fibras naturais podem apresentar variabilidade em suas propriedades, o que pode afetar a consistência dos biocompósitos. Além disso, alguns biocompósitos podem apresentar menor durabilidade em determinadas condições ambientais em comparação com os materiais sintéticos. Outro desafio é o custo de produção, que atualmente pode ser mais elevado do que o dos materiais convencionais, embora se espere que isso diminua com o avanço das tecnologias e a ampliação da escala de produção. Apesar desses desafios, o futuro dos biocompósitos na indústria têxtil parece promissor. Pesquisas contínuas estão focadas na melhoria de suas propriedades, redução de custos e expansão de suas aplicações. Inovações em biotecnologia e ciência dos materiais devem impulsionar o desenvolvimento de novos biocompósitos com desempenho aprimorado e benefícios ambientais. À medida que a indústria da moda continua a buscar práticas mais sustentáveis, os biocompósitos estão prontos para desempenhar um papel crucial nessa transição (Ramakrishna, 2004).



2.4 O Plástico e os Desafios da Poluição microplástica na Nova Era Geológica

O plástico, como o conhecemos hoje, passou por uma evolução significativa, transformando-se de uma inovação promissora para um dos materiais mais onipresentes e, ao mesmo tempo, controversos do mundo moderno. O termo plástico abrange diversas substâncias sintéticas e semissintéticas usadas em uma ampla variedade de aplicações. Esses materiais, desde celuloídeos até vinis, foram desenvolvidos ao longo do tempo, resultando em plásticos duráveis e acessíveis. O plástico é conhecido por sua versatilidade, podendo ser moldado, colorido e texturizado para imitar diferentes materiais, embora mantenha características únicas. Sua maleabilidade e durabilidade influenciaram a ideia de mutabilidade do mundo material no século XX (Payne, 2021).

Para compreender as propriedades dos materiais plásticos, é essencial explorar alguns princípios básicos de química. Os plásticos são formados por macromoléculas, que são longas cadeias moleculares, geralmente compostas de átomos de carbono, com exceção de alguns casos, como os silicões, onde o silício substitui o carbono. Essas cadeias são complementadas por átomos de hidrogênio e podem incluir outros elementos, como oxigênio, nitrogênio, cloro ou flúor, dependendo do tipo de plástico. Os componentes utilizados na fabricação de plásticos são extraídos de várias fontes naturais, principalmente do petróleo, mas também do gás natural, carvão e outros materiais minerais e orgânicos, como sal marinho, calcário, água e madeira (Kula, Ternaux, 2012).

Plásticos podem ser obtidos pela modificação química de um material natural ou, mais comumente, pela síntese a partir de monômeros, que são pequenas moléculas onde átomos de carbono formam ligações duplas. Esses monômeros passam por reações de polimerização, como poliadição ou policondensação, onde são unidos principalmente por meio de ligações covalentes. Essas ligações são fortes e formam longas cadeias de monômeros, resultando em macromoléculas. Exemplos comuns de monômeros utilizados na indústria química incluem estireno, propileno e etileno, que, após a polimerização, produzem macromoléculas de poliestireno, polipropileno e polietileno, respectivamente. Assim, materiais plásticos, mais precisamente chamados de polímeros, são conjuntos de macromoléculas obtidos pela transformação de monômeros (Kula, Ternaux, 2012).

Até o início do século passado, havia apenas poucos materiais plásticos industriais disponíveis, com propriedades limitadas. Alguns exemplos são: celuloide, baquelite e vulcanite. No entanto, esses materiais apontavam para a possibilidade de produção industrial em larga escala e abriram caminho para os polímeros sintéticos mais avançados, que surgiram nas décadas seguintes, como o PVC, o polietileno e o nylon, que se tornaram amplamente utilizados ao longo do século XX. Os plásticos modernos oferecem força, leveza e uma variedade de cores vivas, mas sua origem no petróleo cru e a gestão de resíduos plásticos são preocupações crescentes (Dohmann, 2012).

A ampla introdução dos plásticos na década de 1950 trouxe uma revolução no mundo dos materiais, colocando-os em uma categoria distinta. Embalagens descartáveis, utensílios de cozinha, brinquedos, móveis e uma infinidade de outros produtos passaram a ser fabricados em plástico. Originalmente um adjetivo, plástico se tornou um substantivo, embora o termo muitas vezes não capture a verdadeira natureza desse material. Químicos e profissionais preferem chamá-lo de polímero, que, ao contrário da madeira ou do metal, é definido principalmente por sua química, especialmente a do carbono. Ao manipular os polímeros, o ser humano altera a essência do material, mudando sua relação com a natureza e a percepção de artificialidade que os plásticos carregam (Kula, Ternaux, 2012).

A industrialização rápida dos plásticos, que não passou pelo processo tradicional de artesanato, contribuiu para sua marginalização como material. Essa percepção negativa foi exacerbada pela associação do plástico com produtos descartáveis e de baixa qualidade. Enquanto materiais como vidro, madeira e metal mantinham uma conotação de resistência, tradição e qualidade, o plástico passou a ser associado ao efêmero e ao artificial. Surgindo como uma alternativa prática e barata durante as duas Grandes

Guerras Mundiais, os plásticos foram vistos como substitutos utilitários, mas nunca adquiriram o status de materiais nobres. Sua capacidade de imitar outros materiais, como madeira, couro e pedra, reforçou sua imagem de material inferior. Embora úteis e versáteis, os plásticos foram associados a uma percepção de superficialidade e artificialidade (Kula, Ternaux, 2012).

No Brasil, a indústria petroquímica consolidou o mercado de plásticos desde os anos 70, devido ao baixo custo e versatilidade desses materiais. No entanto, o aumento dos resíduos plásticos e a falta de aplicação de bioplásticos no mercado brasileiro são desafios atuais. A crescente conscientização sobre os impactos ambientais dos plásticos, especialmente aqueles de uso único, tem pressionado as empresas a adotarem práticas mais sustentáveis. Além disso, a ausência de legislação específica e estímulos governamentais também afetam o desenvolvimento desse setor (Correa, 2018).

Para abordar essas questões, é fundamental tomar medidas para reduzir o consumo de plástico, melhorar a gestão de resíduos e promover alternativas sustentáveis, como os biomateriais. Dentro dessa perspectiva, surgiu o plástico verde, uma inovação notável dentro da indústria de plásticos, que tem ganhado destaque no Brasil, especialmente como uma alternativa mais sustentável aos plásticos convencionais derivados do petróleo. Desenvolvido a partir de fontes renováveis, o plástico verde brasileiro é produzido principalmente a partir de etanol de cana-de-açúcar, um recurso amplamente disponível no país. Apesar disso, qualquer solução deve ser avaliada em termos de sua sustentabilidade ambiental, econômica e social antes de ser amplamente adotada, pensando na complexidade dos sistemas e nos estudos das consequências de sua adoção a curto e longo prazo.

Essencialmente modernos, os polímeros impulsionam a criação de novos materiais híbridos e revolucionam o design de objetos, permitindo que os designers pensem na função antes do material. Inovações em plásticos biodegradáveis, compostáveis e recicláveis estão em desenvolvimento, mas ainda enfrentam obstáculos significativos em termos de custo, desempenho e infraestrutura de descarte. Essa plasticidade dos polímeros é fundamental para o desenvolvimento de materiais inteligentes e nanotecnologias, revelando sua verdadeira identidade como agentes de mudança que desafiam as categorias tradicionais de compreensão da matéria (Kula, Ternaux, 2012).

Hoje, os plásticos enfrentam uma crise de identidade, questionando seu papel na sociedade. Torna-se necessário equilibrar os benefícios do plástico com a necessidade urgente de reduzir seu impacto ambiental. No entanto, em uma economia que demanda constante inovação, os polímeros ainda demonstram grande eficiência, especialmente na produção flexível. Os plásticos se destacam por sua capacidade de sempre parecerem novos, e embora tenham limitações estruturais, cobrem uma ampla gama de aplicações, desde materiais duros até os mais maleáveis (Kula, Ternaux, 2012).

Todavia, o termo plástico pode estar prestes a se tornar tão antiquado como o baquelite. O impacto do plástico no meio ambiente é um dos maiores desafios ambientais contemporâneos. Embora o plástico seja um material extremamente útil e versátil, suas características, como resistência à decomposição, resultaram em consequências ambientais sérias e duradouras. A durabilidade do plástico, uma das suas maiores vantagens, revelou-se também um dos seus maiores desafios ambientais, pois a maioria dos resíduos plásticos não se degrada facilmente, permanecendo no ambiente por centenas de anos. Mais recentemente, temos nos deparado com uma preocupante proliferação de micro fragmentos plásticos, que estão dominando nossos oceanos, solos e até nosso próprio organismo (Atlas do Plástico, 2020).

O plástico também está contaminado com associações ecológicas que remetem ao desastre, colapso ambiental e caos. Imagens de aterros transbordando de resíduos plásticos descartáveis e a incineração venenosa desse material nos fazem concluir que, sob o ponto de vista ambiental, o plástico, hoje, é considerado o maior dos vilões. Por outro lado, à medida que nos tornamos mais familiarizados com o plástico, estamos encontrando novas versões e novas formas de criar e reciclar os materiais quando eles não são mais úteis, ou quando são de uso único, usados apenas uma vez. Tradicionalmente os plásticos são definidos como materiais derivados do petróleo, mas existe uma gama de tipos de plásticos, como os bioplásticos e os materiais biossintéticos, de composição mista, que podem ser possíveis soluções para o problema atual (Atlas do Plástico, 2020).

Plásticos são versáteis: oferecem grande força, baixo peso e uma ampla variedade de cores vivas que são relativamente acessíveis. Derivados predominantemente do petróleo cru, os plásticos podem ser reciclados no fim de sua vida útil, ou a energia neles contida pode ser recuperada por incineração (Thompson, 2015, p. 30).

Convém ressaltar que a ausência de uma legislação específica e a falta de estímulo governamental que garanta a competitividade de produtos de origem renovável também dificulta o desenvolvimento do setor. Para evitar o colapso, é importante que as pessoas, empresas e governos tomem medidas para reduzir o consumo de plástico e para melhorar a gestão de resíduos plásticos, incluindo aumentar a reciclagem e a compostagem, apoiar soluções sustentáveis, e aumentar a conscientização sobre a importância de uma economia circular.

Em 2019, a produção global de plásticos atingiu cerca de 370 milhões de toneladas, além de 70 milhões de toneladas de fibras sintéticas, com 58 milhões de toneladas produzidas na Europa³. No entanto, o impacto ambiental desses materiais, especialmente devido à sua origem fóssil e persistência no ambiente, tem se tornado uma preocupação crescente, particularmente no contexto das mudanças climáticas e poluição ambiental (Manshoven *et al*, 2022).

O descarte inadequado de plásticos contribui significativamente para a poluição de rios, oceanos e praias em todo o mundo. Estima-se que entre 6 e 15 milhões de toneladas de plásticos entrem no ambiente anualmente, representando 2-4% da produção global (Velis *et al.*, 2017). Cerca de 80% desse lixo marinho vem de fontes terrestres, como a má gestão de resíduos, e se decompõe em microplásticos, que variam de 0,001 a 5 milímetros (mm), ou até mesmo nanopartículas menores (Velis *et al.*, 2017). Além disso, microplásticos como microesferas de cosméticos e partículas liberadas pela abrasão de pneus e lavagem de têxteis sintéticos são liberados no meio ambiente, sendo transportados para os oceanos por escoamento urbano e águas residuais (Manshoven *et al*, 2022).

³ Fontes: *Textile Exchange, 2020; Plastics Europe, 2020*

A preocupação com a poluição por microplásticos têm crescido nos últimos anos, com estimativas de que pelo menos 14 milhões de toneladas de microplásticos já se acumularam nos oceanos (Manshoven *et al*, 2022). Na União Europeia, entre 75.000 e 300.000 toneladas de microplásticos são liberadas no ambiente a cada ano, de acordo com a Estratégia da UE para os Plásticos na Economia Circular (Comissão Europeia, 2018).

Entre as várias fontes de microplásticos, a lavagem de têxteis sintéticos é uma das principais vias de liberação dessas partículas ao longo de todo o ciclo de vida dos têxteis. Estima-se que entre 0,2 e 0,5 milhão de toneladas de microplásticos de têxteis sintéticos sejam liberadas nos oceanos a cada ano (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Eunomia, 2016). Relatórios da EEA (*European Environmental Agency*) de 2022, destacam os impactos ambientais significativos do setor têxtil, que é um dos maiores consumidores de matérias-primas e água, além de ser um grande emissor de gases de efeito estufa. As fibras sintéticas, como poliéster, acrílico e poliamida (náilon), usadas na indústria da moda, já superaram o algodão na produção de roupas e têxteis para o lar.

Embora essas fibras ofereçam vantagens em termos de custo e características sensoriais, elas também contribuem significativamente para as mudanças climáticas e apresentam riscos à saúde. O relatório da EEA sobre plásticos e economia circular enfatiza a importância de transitar para um modelo mais circular, que prolongue o uso, reuso e reciclagem dos plásticos, minimizando seu impacto ambiental. Dada a sua grande utilização de plásticos, o setor têxtil está no centro dessas discussões.

A indústria têxtil é uma grande poluidora de águas subterrâneas e superficiais, impactando a saúde de trabalhadores e comunidades. As mulheres que trabalham com fibras sintéticas nas fábricas têxteis, por exemplo, estão em maior risco de desenvolver câncer de mama, enquanto na China, trabalhadoras expostas a essas fibras enfrentam risco elevado de aborto. Roupas feitas de materiais sintéticos continuam a causar problemas ambientais mesmo após a produção, liberando microfibras durante a lavagem que contaminam o meio ambiente (Manshoven *et al*, 2022).

Pesquisadores descobriram que lavar cinco quilos de roupas pode liberar seis milhões de microfibras nas águas residuais; lavar uma única jaqueta de lã sintética pode liberar 250.000 dessas partículas. Pouco se sabe sobre os efeitos dessas substâncias na saúde humana. Mas é particularmente preocupante que os microplásticos atraiam outros contaminantes como um ímã. Esses contaminantes incluem compostos orgânicos persistentes e outras toxinas de longa duração que são especialmente prejudiciais à saúde. Esses compostos se ligam aos microplásticos e entram na cadeia alimentar. Eles já foram detectados no sal, peixe, mexilhão e até nas fezes humanas. As estações de tratamento de esgoto e as máquinas de lavar ainda não são capazes de filtrar microfibras nocivas (Atlas do plástico, 2020, p. 26 e 27).

Para mitigar esses efeitos, não basta apenas investir em tecnologias de reciclagem e compostagem. É crucial integrar políticas públicas que incentivem o uso de alternativas sustentáveis, como os biomateriais, e que regulamentem o ciclo de vida dos plásticos de forma a garantir uma economia circular. A transição para um modelo mais sustentável, portanto, requer uma abordagem multidisciplinar que envolva design inovador, práticas empresariais responsáveis e uma legislação robusta, capaz de equilibrar os aspectos econômicos, sociais e ambientais do uso de plásticos (Atlas do Plástico, 2020).

Embora a conscientização sobre a poluição por microplásticos esteja crescendo, ainda há muitos desafios, incluindo a dificuldade em medir a liberação e os impactos dessas partículas. A compreensão limitada dos fatores que influenciam essa liberação, bem como os efeitos a longo prazo nos ecossistemas e na saúde humana, são questões que precisam ser mais exploradas (Manshoven *et al*, 2022).

Como visto anteriormente, o impacto do plástico no meio ambiente é profundo e multifacetado, afetando ecossistemas, vida selvagem e até a saúde humana. Será que a solução para substituir o plástico pode ser alcançada? Talvez uma combinação de soluções, incluindo a redução do uso de plásticos descartáveis, a melhoria da gestão de resíduos, políticas públicas acerca do uso e descarte do plástico e o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como os biomateriais, possam ser uma das alternativas. É importante lembrar que as soluções precisam ser avaliadas em termos de sua sustentabilidade ambiental, econômica e social antes de serem implementadas em larga escala. Abordar essa crise requer esforços coordenados em todos os níveis — desde o individual até o global — para reduzir a produção e o consumo de plásticos, melhorar a gestão de resíduos e desenvolver alternativas mais sustentáveis.

Enfrentar o problema dos plásticos na moda exige ação colaborativa entre governos, produtores e consumidores. É crucial implementar regulamentações, promover práticas sustentáveis e fomentar escolhas conscientes por parte dos consumidores para minimizar os impactos ambientais e sociais dessa indústria.

2.4.1 Controvérsias do Couro Sintético na Indústria da Moda

O couro, um material biológico e biodegradável, tem uma história que remonta aos primórdios da civilização humana, sendo amplamente valorizado por sua resistência e durabilidade. Utilizado em uma ampla variedade de produtos, desde roupas e acessórios até calçados e artigos de luxo, o couro é um símbolo de qualidade e atemporalidade. Contudo, seu uso na moda também é controverso devido às questões ambientais, éticas, sociais e práticas de exploração animal. Por muitos anos, o uso do couro foi justificado como um mero subproduto da indústria da carne, mas essa visão simplista não reflete a complexidade das interdependências industriais. A produção de couro está entre as mais prejudiciais social e ambientalmente, expondo trabalhadores a produtos químicos tóxicos e contribuindo para a contaminação de fontes de água (Meyer et al, 2021).

Em resposta às preocupações ambientais e éticas, a indústria da moda tem explorado alternativas ao couro tradicional. Paralelamente ao aumento do comércio e consumo de materiais sintéticos, o real significado e os valores do couro acabaram sendo apropriados indevidamente por materiais não naturais. Termos como couro sintético, couro ecológico e couro vegano são utilizados para descrever materiais que, em sua composição, não possuem nenhum rastro de matéria-prima animal. No entanto, esses materiais, como o poliuretano (PU), o polipropileno (PP) e o álcool polivinílico (PV), são derivados do petróleo e apresentam desafios ambientais e de saúde significativos devido à liberação de produtos químicos tóxicos (Davis, 2022).

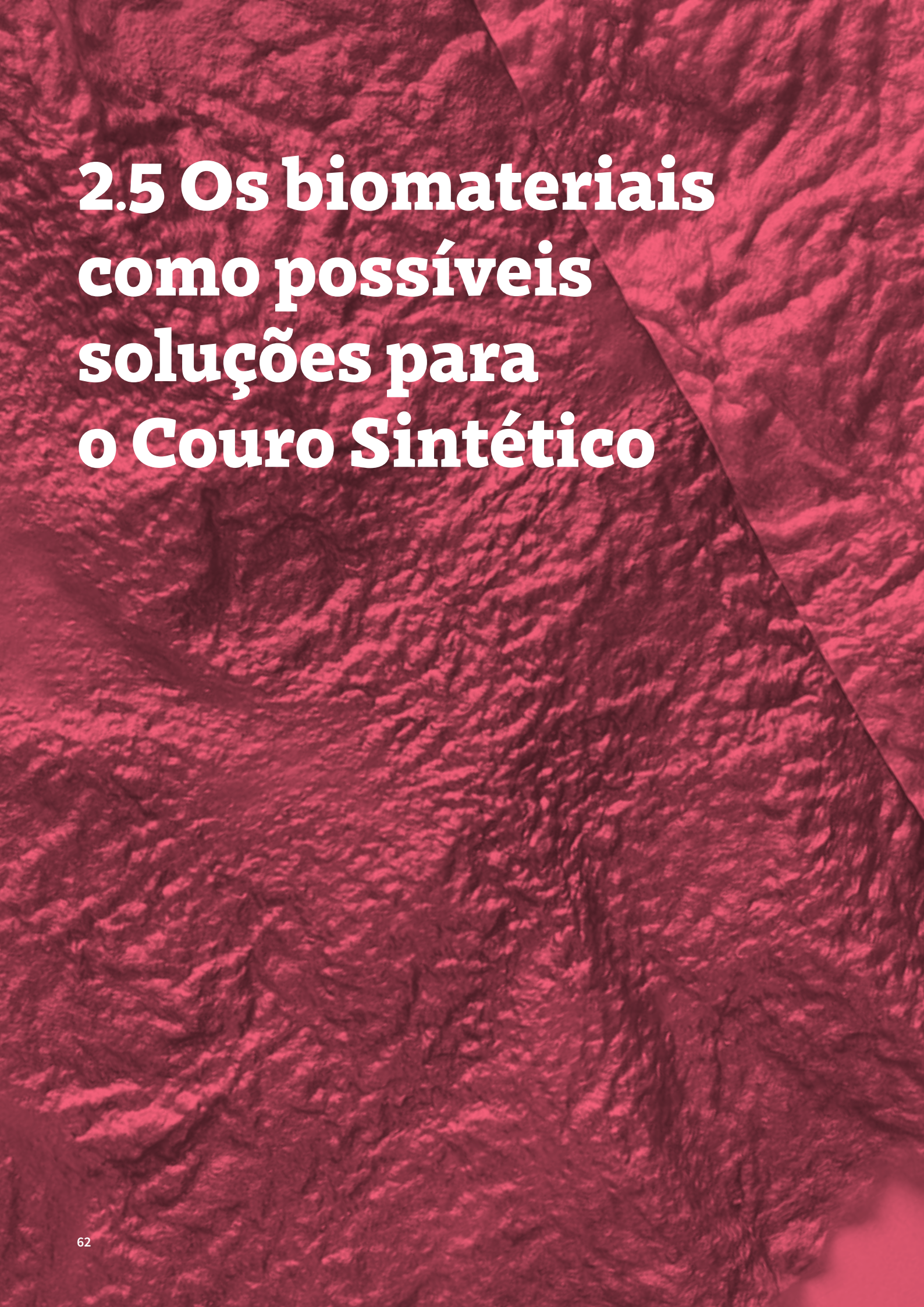
Materiais sintéticos, como *pleathers* (couros plásticos), são historicamente considerados inferiores ao couro real, exigindo processos de produção intensivos de água e energia, não são biodegradáveis e liberam micro fragmentos plásticos no meio ambiente. Mesmo o couro genuíno pode conter uma variedade de produtos químicos aplicados durante o processamento, questionando as alegações de que seria um material naturalmente sustentável. Esse cenário está frequentemente associado ao *greenwashing*, onde práticas de marketing enganosas apresentam o couro como ambientalmente amigável, apesar das preocupações ambientais substanciais (Davis, 2022).

O futuro do couro aponta para uma transformação radical, com materiais inovadores e processos mais sustentáveis desempenhando um papel central. Pesquisas atuais incluem técnicas de tingimento utilizando cascas de árvores e corantes naturais, além de métodos de curtimento com taninos que eliminam a necessidade do cromo. A indústria do couro também está se adaptando, com alguns curtumes adotando práticas mais sustentáveis e investindo em tecnologia para reduzir seu impacto ambiental. Certificações como o *Leather Working Group* (LWG) promovem práticas de produção de couro mais responsáveis, incentivando a melhoria contínua na sustentabilidade. Para mitigar os impactos negativos do couro sintético, várias inovações têm surgido, como o desenvolvimento de “couros” feitos a partir de materiais naturais e renováveis, como cogumelos, abacaxi (*Piñatex*) e resíduos da produção de maçã. Esses materiais buscam combinar os benefícios éticos do couro sintético com uma pegada ambiental reduzida. Além disso, alternativas ao couro, como fibras de cactos, bactérias celulósicas, micélio e algas, estão emergindo como promissoras, representando uma oportunidade significativa para reduzir o impacto ambiental da indústria. No entanto, essas alternativas ainda enfrentam desafios em termos de escalabilidade, custo e aceitação no mercado. (Charter, Pan, Black, 2023).

No Brasil, a Lei 4.888, de 9 de dezembro de 1965, regulamenta o uso do nome comercial couro, proibindo seu uso para produtos que não sejam feitos exclusivamente de pele animal. Essa legislação reflete a necessidade de clareza e honestidade no uso de termos, especialmente à medida que a indústria da moda continua a enfrentar desafios de sustentabilidade (Dos santos Duarte et al. 2019).

A integração de plásticos e couros sintéticos na moda contemporânea exemplifica as complexidades e paradoxos que a indústria enfrenta ao buscar inovação e sustentabilidade. Embora materiais sintéticos ofereçam alternativas ao couro animal, eles também apresentam desafios ambientais significativos. A transição para práticas mais sustentáveis e materiais inovadores é essencial para enfrentar os impactos ambientais e sociais da moda, exigindo uma reavaliação crítica dos materiais utilizados e das práticas de produção (Davis, 2022).

A verdadeira sustentabilidade na moda provavelmente requer uma abordagem mais abrangente, que considere não apenas a eliminação do sofrimento animal, mas também o impacto total dos materiais no meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida. Inovações em materiais mais sustentáveis, juntamente com práticas de consumo consciente e circularidade, serão cruciais para resolver essa complexa questão.



2.5 Os biomateriais como possíveis soluções para o Couro Sintético

Introdução de novos materiais

Nos últimos dez anos, observou-se um aumento significativo na introdução de novos materiais no mercado, com destaque para os bioplásticos, que já estão presentes em nossos lares. A partir das décadas de 2010 e 2020, uma explosão de inovações impulsionou investimentos bilionários em materiais bio fabricados, como aqueles à base de micélio, bactérias celulósicas (Kombucha) e derivados da polpa de celulose, além de avanços em nanomateriais e nanotecnologias aplicadas à medicina. Esses materiais emergentes prometem substituir polímeros derivados de combustíveis fósseis e desempenhar um papel crucial para um futuro mais sustentável (Goldstein, Foulkes-Arellano, 2024).

A história dos biomateriais, que antecede a invenção dos plásticos convencionais, remonta às décadas de 1850 e 1860, com a criação dos primeiros bioplásticos comerciais, como a borracha natural e os plásticos derivados de celulose do algodão. No século XXI, o reconhecimento dos impactos ambientais negativos dos plásticos derivados de combustíveis fósseis, como a poluição por microplásticos e os riscos à saúde associados aos aditivos químicos, reforçou a urgência de encontrar alternativas mais seguras e sustentáveis, como os bioplásticos (Goldstein, Foulkes-Arellano, 2024).

O desenvolvimento de novos biomateriais na indústria da moda, em particular, requer uma abordagem interdisciplinar que integre inovações tecnológicas e fundamentos da ciência dos biopolímeros. A manipulação estrutural desses polímeros, permite a criação de materiais que atendem às exigências de sustentabilidade e desempenho, promovendo ciclos de vida mais alinhados aos princípios da economia circular (Goldstein, Foulkes-Arellano, 2024).

O campo do Biodesign é uma nova abordagem nascida do cruzamento entre biologia e design, no qual os materiais são bio fabricados ou cultivados e obtidos de organismos como bactérias, enzimas, algas, micélio e plantas. Em vista disso, os materiais desempenham uma função essencial, sendo originados a partir de organismos vivos ou não e ativamente envolvidos no processo de morfogênese, desenvolvimento da forma, que abrange desde o crescimento passivo até a coautoria ativa de objetos ou materiais finais. Esse renovado interesse em recursos naturais está intrinsecamente vinculado à necessidade de adotar práticas de produção sustentáveis, que estejam alinhadas com as limitações impostas ao nosso planeta. Nesse contexto, a moda sustentável está sendo influenciada por tendências emergentes dos biomateriais (Rognoli *et al*, 2022).

Biomateriais

De acordo com as obras *Bio Design: Designer's Guide to Lab Practice*, de Assia Crawford, e *Reintroducing Materials for Sustainable Design*, de Mette Bak-Andersen, o conceito e a aplicação de biomateriais variam amplamente entre as áreas de design e medicina, refletindo seus diferentes objetivos e abordagens. No design, os biomateriais são explorados como alternativas sustentáveis, voltadas para a criação de produtos que integrem processos biológicos e materiais naturais, favorecendo uma relação funcional e ecológica com o meio ambiente. Essa abordagem valoriza a experimentação com materiais biodegradáveis, como bioplásticos e tecidos de base biológica, ampliando as possibilidades criativas e sensoriais dos designers e incentivando práticas de produção mais conscientes e ambientalmente responsáveis.

Na medicina, por outro lado, o uso de biomateriais se concentra em aplicações terapêuticas e biocompatíveis, essenciais para a regeneração de tecidos e substituições funcionais que reproduzam a estrutura e o comportamento dos tecidos naturais. Esses materiais são desenvolvidos para atender a rigorosos padrões de segurança e durabilidade, garantindo sua eficácia em contextos clínicos. A ciência médica utiliza biomateriais como implantes e tecidos cultivados, que auxiliam na restauração ou aprimoramento de funções biológicas, proporcionando soluções que imitam as propriedades dos tecidos vivos. Enquanto o design foca na inovação sustentável e na expansão de experiências sensoriais, a medicina prioriza a precisão e a eficácia para atender a exigências clínicas específicas.

Os biomateriais, por definição, abrangem aqueles que possuem alguma forma de base biológica, que podem ser produzidos por processos biológicos e manuais ou ainda apresentar propriedades biodegradáveis, compostáveis ou regeneráveis. Contudo, é importante destacar que a carência de definições uniformizadas e a ambiguidade que permeia os termos relacionados ao prefixo “bio” constituem desafios significativos para uma compreensão precisa desses materiais, tanto no contexto da indústria da moda quanto no âmbito acadêmico (Rognoli *et al*, 2022).

É importante destacar que o uso do termo biomaterial na moda ainda é incipiente, e muitas vezes as definições encontradas se relacionam mais com o campo médico. A ambiguidade em torno desse termo pode ser útil para fins de marketing, mas dificulta a diferenciação entre os biomateriais e a compreensão de suas características específicas. Portanto, é necessário mais contexto e qualificadores adicionais para uma compreensão precisa dos biomateriais na moda e sua diferenciação em relação a outras tecnologias (Rognoli *et al*, 2022).

A esfera emergente de biomateriais está despertando um crescente interesse devido às suas características sustentáveis e potencial para revolucionar alguns campos da indústria da moda e do design. Esses materiais podem ser bio fabricados tornando-os altamente renováveis e ecologicamente amigáveis. A cultura “faça você mesmo” e das “Fontes/códigos abertos” está promovendo modelos de produção local e sustentável. Essa abordagem não apenas apoia produtores locais, mas também cria sistemas socioeconômicos resilientes, baseados na inovação social e tecnológica (Rognoli *et al*, 2022).

Além disso, a mudança de comportamento desempenha um papel importante na redução do impacto da produção e estratégias de design podem fortalecer a conexão emocional entre os usuários e os produtos, incentivando a manutenção a longo prazo. Narrativas e identidade são elementos-chave para a criação de produtos duradouros, comunicando valores de sustentabilidade e regeneração biológica como visões coletivas de futuro (Rognoli *et al*, 2022).

A história de longa data associada a um interesse recente por parte dos designers resultou em uma diversidade de materiais à base de biomassa e bio fabricados atualmente. Esses materiais possuem qualidades e características distintas que ainda estão sendo exploradas, compreendidas e definidas. As percepções emergentes sobre esses materiais inovadores são influenciadas por suas aplicações e comunicações,

as quais moldam o espaço social que eles ocuparão. Dado que muitos desses materiais ainda são nichos e estão distantes do público em geral, é crucial examiná-los mais detalhadamente por meio de estudos de caso para destacar oportunidades e desafios para a ampla adoção (Rognoli *et al*, 2022, p. 2).

A produção de bioplásticos baseia-se no uso de fontes renováveis de matéria-prima, como plantas, para criar plásticos que sejam biodegradáveis ou parcialmente derivados de materiais biológicos. Esses materiais oferecem uma solução promissora para reduzir tanto a pegada de carbono quanto o desperdício associado aos plásticos convencionais. Para compreender plenamente o conceito de bioplásticos, é necessário distinguir duas categorias principais: plásticos à base de biomassa e plásticos biodegradáveis.

Os plásticos à base de biomassa são produzidos a partir de organismos vivos, como milho, trigo, cana-de-açúcar, óleos vegetais, algas e bactérias, em vez de combustíveis fósseis. Eles representam uma abordagem sustentável no desenvolvimento de plásticos, oferecendo uma alternativa às fontes não renováveis. Já os plásticos biodegradáveis são caracterizados pela sua capacidade de se decompor rapidamente em elementos simples, como dióxido de carbono, água e biomassa, por meio de processos biológicos.

Plásticos biodegradáveis

A norma ASTM D 6400, publicada em julho de 1999, define biodegradabilidade como a capacidade de um material ser decomposto por microrganismos, como fungos e bactérias, resultando em dióxido de carbono, água, metano e biomassa. Nos materiais biodegradáveis, o carbono presente na cadeia polimérica é utilizado como fonte de energia e material estrutural celular, sendo devolvido ao meio ambiente. No entanto, a velocidade de degradação desses materiais varia: alguns plásticos biodegradáveis se decompõem mais rapidamente que outros.

Para serem considerados compostáveis em ambientes industriais, esses materiais devem atender a critérios rigorosos, como degradar pelo menos 90% de seu peso em seis meses, conter no mínimo 50% de matéria orgânica e se desintegrar em fragmentos menores que 2mm em até 12 semanas. Além disso, o composto resultante deve ser não tóxico, garantindo sua segurança como fertilizante para culturas alimentares.

Esse processo pode ocorrer em paralelo com outras formas de degradação, como a fotodegradação, que resulta da exposição à luz, e a hidrólise, que é a quebra do material pela água. A hidrólise, em particular, afeta muitos tipos de polímeros e pode ocorrer por toda a extensão do material, exceto em polímeros altamente hidrofóbicos. Diferente da degradação enzimática, que acontece de fora para dentro, a hidrólise pode ocorrer simultaneamente em toda a estrutura do material.

A degradação biológica envolve a ação de microrganismos, que secretam enzimas e outros compostos químicos, como ácidos, para atacar e quebrar as cadeias poliméricas. Esse processo acontece em duas fases principais: a primeira, chamada de despolimerização, quebra as cadeias poliméricas em fragmentos menores; a segunda, conhecida como mineralização, transforma esses fragmentos em elementos mais simples, como gases, água, minerais e biomassa. O processo varia conforme o tipo de polímero, o ambiente e os microrganismos envolvidos, mas em todos os casos, as enzimas desempenham um papel crucial.

Já a compostagem é um processo controlado que regula a decomposição biológica de materiais biodegradáveis, resultando em um composto semelhante ao húmus. Esse processo envolve a degradação aeróbica, passando por fases mesofílica e termofílica, e resulta na formação de dióxido de carbono, água, minerais e matéria orgânica estabilizada (Platt, 2006).

Plásticos à base de biomassa

Um plástico pode ser à base de biomassa e não ser biodegradável. Muitos bioplásticos comerciais são quimicamente idênticos aos plásticos convencionais que substituem. Por exemplo, o etileno é o mesmo composto, seja derivado de gás natural ou de bananas maduras, que emitem gás etileno. Os bioplásticos mais comuns do mercado são o Biopolietileno e bio-PET, com uma produção de 2,02 milhões de toneladas métricas em 2014 (Goldstein, Foulkes-Arellano, 2024). No entanto, esses materiais não são mais compostáveis do que os seus equivalentes convencionais.

A biomassa utilizada para produzir bioplásticos não precisa ser proveniente de culturas plantadas especificamente para esse fim, e essa não deveria ser a abordagem principal, já que o uso de culturas alimentares para a produção de bioplásticos pode aumentar a pressão sobre a terra agrícola e afetar os preços dos alimentos. Por isso, há um interesse crescente em usar resíduos e culturas não comestíveis. As partes não comestíveis das plantas, que frequentemente são transformadas em compósitos, podem servir como fonte de biomassa. Além disso, muitos produtos agrícolas que são descartados por apresentarem defeitos estéticos ou por não alcançarem um preço razoável no mercado podem ser aproveitados para a produção de bioplásticos, aliviando a pressão sobre a necessidade de destinar grandes áreas de terra para essa produção.

Plantas que não são usadas para alimentação também podem ser fontes de bioplásticos. A celulose das árvores, por exemplo, pode ser processada novamente para a produção de plásticos comerciais. Outra opção em desenvolvimento é a produção de bioplásticos a partir de emissões de gases de efeito estufa capturadas. O metano pode ser recuperado de aterros sanitários e minas de carvão, enquanto o dióxido de carbono é um subproduto de processos

industriais, como a produção de metais e cimento. Capturar esses gases representa uma nova oportunidade na busca por fontes alternativas de bioplásticos, e várias empresas já estão trabalhando para levar esses produtos do laboratório para a produção comercial.

Mesmo que os bioplásticos não dependam diretamente de combustíveis fósseis, a energia necessária para produzi-los a partir de fontes agrícolas geralmente provém de combustíveis fósseis. Além disso, a produção desses plásticos exige o uso de terras agrícolas e recursos hídricos para irrigação. O uso de terras para a produção exclusiva de bioplásticos pode reduzir a disponibilidade de terras para a produção de alimentos. Em uma perspectiva mais ampla, a agricultura deveria priorizar a produção de alimentos para alimentar a população, ao invés de satisfazer a crescente demanda por produtos plásticos.

O ácido polilático (PLA) e o polihidroxialcanoato (PHA) são exemplos comuns de bioplásticos à base de biomassa. O PLA, por exemplo, é cada vez mais utilizado em utensílios compostáveis, como embalagens alimentícias, copos descartáveis transparentes, sacolas e garrafas. A principal diferença entre o PLA e o PHA está no tipo de matéria prima utilizada, que vai interferir no processo de produção. Enquanto na produção de PLA geralmente é utilizado o amido de culturas como milho, cana-de-açúcar ou beterraba, o PHA é produzido diretamente por microrganismos, como certas bactérias, a partir de várias fontes de carbono, que podem incluir açúcares simples, óleos vegetais, e até resíduos orgânicos. No entanto, o PLA não é necessariamente tão ecológico quanto muitos acreditam.

2.5.1 Estudos de Caso sobre novos biomateriais que imitam o couro

A busca por alternativas sustentáveis ao couro animal, como as inovações mencionadas anteriormente, demonstra uma tendência crescente na indústria da moda em direção a materiais que minimizem os impactos ambientais. Nesse contexto, os novos biomateriais surgem como protagonistas, oferecendo soluções que combinam a redução do impacto ecológico com o potencial de substituir os materiais tradicionais, como o couro. O *Pinatex*[®] e o *Desserto*[®] são exemplos que ilustram essa mudança, ambos desenvolvidos a partir de recursos naturais e com a promessa de aliar sustentabilidade e funcionalidade. Esses materiais, apesar de promissores, também apresentam desafios em termos de sua composição e processos de fabricação, como demonstrado pelas análises recentes que identificaram a presença de polímeros sintéticos em suas formulações. Assim, a transição para uma moda mais sustentável requer uma avaliação crítica contínua das alternativas disponíveis, com atenção tanto aos avanços quanto às limitações que esses novos materiais ainda enfrentam.

O *Pinatex*[®], fabricado pela empresa *Ananas*, é um exemplo popular de alternativa ao couro animal, amplamente adotado por marcas e consumidores veganos. Produzido a partir de fibras derivadas das folhas de abacaxi, o *Pinatex*[®] é um material versátil e adequado para uma variedade de produtos como bolsas, sapatos e tênis esportivos. Ao utilizar as folhas, subprodutos do cultivo de abacaxi que normalmente seriam descartadas, o *Pinatex*[®] reconhece o valor desses materiais não utilizados, beneficiando tanto os agricultores quanto o meio ambiente. No entanto, é importante ressaltar que o *Pinatex*[®] não é totalmente sustentável, pois os processos de fabricação atualmente empregados ainda têm impactos ambientais, como a necessidade de aproximadamente 16 abacaxis para produzir um metro quadrado de material. Além disso, foram identificados materiais sintéticos na sua composição (Earley, Hornbuckle, 2023).

O material é produzido a partir de fibras renováveis das folhas de abacaxi, que são processadas em um suporte não tecido revestido com ácido polilático (PLA), obtido a partir de amido de milho. Idealmente, o acabamento desse tecido deveria ser realizado com um polímero de base biológica, inclusive a empresa que produz o *Pinatex*[®] promove seu acabamento polimérico como sendo poli lactídeo (PLA), que pode ser completamente de origem biológica. Entretanto, a análise de Meyer⁴ (2021) detectou a presença de vestígios do plastificante diisobutil

⁴ Michael Meyer, atua como Diretor Científico no Instituto FILK Freiberg, um centro de pesquisa localizado na Alemanha, especializado em materiais, com ênfase em colágeno e couro. Meyer possui vasta expertise em materiais biocompósitos e alternativas ao couro, concentrando suas pesquisas no desenvolvimento sustentável de novos materiais para as indústrias da moda e de bens de consumo. A competência técnica de Meyer e sua equipe é evidenciada pela metodologia rigorosa adotada no estudo, que incluiu análises microscópicas detalhadas e testes físicos e mecânicos padronizados.

ftalato (DIBP) no *Pinatex*[®]. A amostra investigada revelou que o *Pinatex*[®] é revestido com uma fina camada polimérica, o que permite a visibilidade das estruturas fibrosas do tecido não tecido na superfície devido à sutileza do revestimento. Esse revestimento superficial, embora muito fino, não cobre completamente o tecido não tecido fibroso, resultando em uma superfície rígida e fibrosa que resiste ao teste de flexão. O material se assemelha mais a um não tecido têxtil, e sua baixa resistência mecânica pode estar diretamente relacionada ao baixo teor de ligante das fibras no suporte não tecido (Meyer et al., 2021).

A *Desserto*[®] é uma empresa inovadora mexicana conhecida por desenvolver um material sustentável alternativo ao couro, feito a partir de fibras de cactos. A empresa sediada em Guadalajara, México, fundada por Adrián López Velarde e Marte Cázares, foi oficialmente lançada em 2019, na Lineapelle, uma das principais feiras de couro em Milão, Itália e desde então tem recebido reconhecimento internacional, incluindo prêmios como o Green Product Award 2020 e o LVMH Innovation Award. A *Desserto*[®] colabora com grandes marcas da moda, como Adidas, Givenchy, Karl Lagerfeld e H&M, além de expandir sua aplicação para a indústria automotiva com o desenvolvimento do tecido *Desserttex*, utilizado por empresas como BMW e Mercedes, em busca de alternativas mais sustentáveis ao couro animal (Charter, Pan, Black, 2023).

Os fundadores, ambos mexicanos, se conheceram em 2011 em Taiwan, enquanto trabalhavam na pesquisa e desenvolvimento de materiais, com foco em couro e alternativas sintéticas. Ao retornarem ao México, aprofundaram suas pesquisas sobre a indústria do couro em León, onde observaram condições precárias de trabalho e o uso indiscriminado de produtos químicos tóxicos, especialmente o cromo. Com base nessas observações e na crise climática iminente, iniciaram a busca por alternativas ao couro, identificando o cacto Nopal, uma planta abundante no país, como uma matéria-prima promissora devido à sua resistência, flexibilidade e suas propriedades ambientais sustentáveis (Charter, Pan, Black, 2023).

O desenvolvimento do material, que viria a ser conhecido como Desserto®, envolveu dois anos de intensa pesquisa focando no uso do cacto Nopal, uma planta que não requer irrigação ou agroquímicos e que possui alta capacidade de sequestro de carbono, além de restaurar a qualidade do solo em áreas semiáridas. O processo de produção envolve a colheita seletiva das folhas maduras do cacto, que são secadas ao sol, processadas para extração de proteínas e fibras, e transformadas em bio-resinas. O tecido resultante é personalizável e pode conter entre 20% e 90% de conteúdo orgânico, dependendo das necessidades do cliente. O material ganhou atenção global devido à sua aparência, toque e durabilidade semelhantes ao couro tradicional, mas com uma pegada ecológica muito menor. (Charter, Pan, Black, 2023).

A maneira como projetamos o material permite que ele se biodegrade em parte, dependendo do tipo de material e das diferentes porcentagens de conteúdo orgânico. Em condições termofílicas – a temperaturas mais altas de 45°C – as bactérias que crescem são capazes de consumir estruturas de carbono mais elaboradas; existem aterros que nos fornecem essas condições e não precisam de nenhum processo adicional para que o material se biodegrade (Charter, Pan, Black, 2023, p. 147 e 148, tradução nossa).

A *Desserto*® é vista como uma pioneira no desenvolvimento de materiais sustentáveis e está comprometida em continuar sua inovação, explorando novas aplicações e melhorando a sustentabilidade do seu produto. O material de cacto desenvolvido pela *Desserto*® representa uma solução promissora para uma das questões mais prementes da atualidade: a necessidade de materiais ecologicamente responsáveis que possam substituir aqueles com maior impacto ambiental, como o couro e os plásticos sintéticos.

Apesar do sucesso inicial, a *Desserto*[®] enfrenta desafios, como a competitividade de preço em relação ao couro sintético e busca expandir suas operações para reduzir a pegada de carbono e os custos logísticos. A empresa continua desenvolvendo novos materiais, como um fio de cacto que pode ser tecido ou tricotado, com o objetivo de se tornar um fornecedor global líder de biomateriais. Adrián e Marte também estão comprometidos em melhorar continuamente as práticas sustentáveis, incluindo a transição para energia solar em suas fábricas (Charter, Pan, Black, 2023).

O uso de materiais na indústria da moda é responsável por impactos ambientais significativos, com apenas cerca de um quinto dos resíduos têxteis sendo reciclados na União Europeia. Novas tecnologias e técnicas de tingimento sem água, assim como o desenvolvimento de materiais bio-baseados, estão sendo explorados para reduzir esses impactos. Até 2030, o design circular deverá transformar a indústria, promovendo a recuperação de recursos e a integração de materiais recuperados em novos ciclos de produção. Materiais bio-baseados, como algodão, cânhamo, bambu e inovações como biomateriais veganos, estão ganhando destaque, oferecendo alternativas sustentáveis que podem reduzir a pegada ambiental da indústria da moda (Charter, Pan, Black, 2023).

O futuro da moda sustentável depende da adoção e desenvolvimento contínuo de materiais bio-baseados e de uma abordagem circular no design, capaz de integrar recursos recuperados e promover a regeneração dos sistemas naturais. A colaboração entre indústria, academia e governo será essencial para superar os desafios de escalabilidade e tornar a moda verdadeiramente sustentável (Charter, Pan, Black, 2023).

A integração de materiais bio-baseados na indústria da moda não apenas exige uma abordagem inovadora e interdisciplinar, mas também se conecta profundamente com a ciência dos polímeros, que oferece uma base teórica essencial para o desenvolvimento de novas soluções. Os polímeros, com sua vasta gama de classificações que incluem polímeros naturais, como a celulose, e polímeros sintéticos, como o náilon, desempenham um papel crucial na criação de materiais sustentáveis. A capacidade de manipular a estrutura dos polímeros — seja através de configurações lineares, ramificadas ou reticuladas — permite a customização de materiais para atender às exigências de sustentabilidade e desempenho na moda.

2.6 Biomaterial criado para esta pesquisa

A biologia tem desempenhado um papel fundamental na abordagem dos principais desafios do século XXI, influenciando diversas disciplinas, incluindo a engenharia e o design. Os primeiros estudos sistemáticos de fenômenos biológicos aplicados à engenharia remontam aos anos 1920, na América do Norte, enquanto, a partir da década de 1960, a biologia começou a impactar as ciências sociais e humanidades. A crise do petróleo em 1973 evidenciou nossa dependência de combustíveis fósseis, levando ao surgimento de iniciativas como o Instituto *New Alchemy*, que buscava paradigmas sustentáveis alternativos. Essas iniciativas foram fundamentadas no pensamento sistêmico e na ecologia, resultando em estratégias inovadoras como a energia renovável e a agricultura orgânica, que visavam minimizar a dependência de combustíveis fósseis e práticas industriais nocivas (Charter, Pan, Black, 2023).

Materiais produzidos com métodos biotecnológicos tendem a emitir menos CO₂ em comparação com materiais convencionais, mas essas alegações ainda carecem de evidências robustas. Exemplos incluem o uso de micélio e resíduos agrícolas para produzir alternativas ao couro animal, como no caso da *MycloWorks*, que estima que seu processo seja neutro em carbono. No entanto, a falta de dados consistentes sobre a pegada de carbono desses novos materiais dificulta a comparação direta com materiais tradicionais (Charter, Pan, Black, 2023).

Paralelamente, o designer industrial Victor Papanek explorou como o design poderia contribuir para a sustentabilidade, destacando a importância da biologia como fonte de estratégias ecológicas para o design industrial. Essas ideias pioneiras moldaram novos paradigmas, incluindo o design regenerativo e a economia circular, oferecendo novas perspectivas sobre a gestão de recursos na sociedade moderna (Papanek, Fuller, 1972).

A prática interdisciplinar que se inspira na biologia para gerar novas ideias e soluções abrange uma ampla gama de atividades, desde práticas artísticas até novos modelos econômicos, como os circulares e regenerativos. No entanto, a terminologia associada ao prefixo bio (biomimética, biodesign, biomateriais, entre outros) pode ser confusa, especialmente para aqueles fora das ciências biológicas. A polissemia e a sobreposição de significados são problemas relatados tanto em disciplinas científicas quanto nas humanidades, o que dificulta a comunicação clara e a compreensão desses novos campos intelectuais.

O mercado global de materiais à base biológica, também conhecidos como bio-baseados, foi avaliado em US\$ 14 bilhões em 2020, com projeções de crescimento para US\$ 87 bilhões até 2026 (Charter, Pan, Black, 2023). A Diretiva sobre Plásticos de Uso Único, implementada na União Europeia em 2021, impulsionou

a pesquisa e o desenvolvimento de materiais alternativos, estabelecendo prioridades de investimento na área. Apesar desses avanços, a indústria de moda e têxtil ainda não se beneficiou significativamente do crescimento e dos investimentos nesse setor. A complexidade da cadeia de suprimentos e a falta de transparência são alguns dos principais desafios que limitam a escalabilidade dessas inovações (Charter, Pan, Black, 2023).

Ao explorar o potencial dos polímeros, a moda pode adotar biomateriais que não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também promovem ciclos de vida mais sustentáveis, em consonância com os princípios da economia circular. A colaboração entre químicos, bioquímicos e designers é vital para superar os desafios técnicos e promover a escalabilidade dessas inovações, permitindo o desenvolvimento de uma moda que respeite e regenere os recursos naturais, sem comprometer as demandas estéticas e funcionais do mercado global.

Com base nesse entendimento, foi desenvolvido um compósito fibroso potencial, composto por uma matriz polimérica de alginato de sódio, enriquecida com fibras de lã de ovelha, visando substituir o couro animal e sintético na indústria da moda e de acessórios. Primeiramente, é necessário definir e detalhar os conceitos das bases poliméricas utilizadas na criação desse material: o alginato de sódio e a fibra de lã, conforme descrito a seguir.

Dos polímeros usados para o Texturas Ecolab:

1) Alginato de Sódio

Na presente pesquisa, o alginato de sódio foi utilizado como base dos bioplásticos experimentados. O alginato de sódio, também chamado de algina, é um polissacarídeo aniônico derivado das paredes celulares de algas marrons, é encontrado na forma de sais de alginato de cálcio, magnésio e sódio. Durante o processo de extração, esses sais são convertidos em alginato de sódio, que é solúvel em água. Os alginatos são geralmente de cor marrom amarelado a branco e estão disponíveis na forma de pó, granular e filamentosos. Suas propriedades, como a capacidade de formar géis, espessamento e estabilização, tornam-no um componente essencial em diversas indústrias, especialmente nas áreas gastronômica, farmacêutica e médica (Lucibello, 2022).

Os monômeros de ácido manurônico (M) e ácido gulurônico (G) determinam as propriedades do gel formado pelo alginato. O ácido manurônico contribui para a flexibilidade das cadeias de alginato, formando géis mais macios, enquanto o ácido gulurônico induz a rigidez, resultando em géis mais fortes. A gelificação ocorre quando íons de cálcio são adicionados a uma solução de alginato de sódio, formando uma rede tridimensional de gel que também é chamada de microencapsulamento (Qin, 2023).

A composição do alginato pode variar com as condições ambientais e as partes da planta utilizadas, refletindo adaptações ao ambiente marinho. O processo de extração envolve etapas como a colheita, preparação, precipitação e purificação do alginato, com dois métodos principais sendo usados: o método do ácido algínico e o método do alginato de cálcio (Nogueira, 2017).

No Brasil, embora haja uma abundância de algas - como a *Sargassum* sp - nas regiões costeiras, o país depende de produtos importados devido à falta de processamento local de alginato. A extração de alginato dessas algas poderia fornecer autonomia na produção de alginato de sódio, influenciada pelas condições ambientais e climáticas em que as algas crescem (Nogueira, 2017).

O controle rigoroso dos parâmetros de extração é crucial para a produção de alginato de alta qualidade. Isso inclui o tratamento prévio das algas para remover íons metálicos, a utilização de formaldeído para reduzir a coloração e a adição de álcalis para solubilizar o alginato. A separação do alginato envolve múltiplas etapas de flutuação, filtração e branqueamento para garantir a pureza do produto final (Qin, 2023).

Os alginatos são ideais para vários produtos industriais, como têxteis, revestimento de papel, corantes, revestimentos de hastes de solda, tintas e adesivos, devido à sua capacidade de melhorar o desempenho do produto. Esses produtos desempenham um papel vital em vários processos da indústria têxtil, como tingimento e acabamento, dimensionamento de urdidura têxtil e acabamento de impressão (Pilidini, Patel, 2023).

A moda sustentável está sendo influenciada por tendências emergentes em biomateriais, na qual a bio-fabricação e a biotecnologia tornam viável a produção de tecidos mais sustentáveis. A incorporação desses biomateriais não apenas promove práticas sustentáveis, mas também apoia modelos de produção local e sustentável, estimulando sistemas socioeconômicos baseados na inovação social e tecnológica.

A integração de alginato de sódio e lã na criação de novos biomateriais reflete uma convergência inovadora entre biopolímeros e fibras naturais, ambos valorizados por suas propriedades únicas e potencial sustentável. O alginato de sódio, amplamente reconhecido por sua versatilidade e aplicabilidade em diversas indústrias, oferece uma base polimérica maleável que, quando processada adequadamente, pode ser utilizada em contextos que exigem biocompatibilidade.

2) Lã de Ovelhas

A lã, como fibra natural, exibe notável versatilidade, abrangendo diversas propriedades. Ela pode manifestar-se como macia, calorosa, acolhedora e sensorial, ou como resistente, durável e funcional. Ademais, a adaptabilidade da lã permite que suas fibras mais finas revelem um aspecto brilhante, elegante e suave. A relação humana com essa fibra histórica data a tempos quase tão antigos quanto a civilização em si, e suas características singulares de isolamento térmico mantêm a relevância até os dias atuais, assemelhando-se a qualquer outro período da história (Johnston, Hallett, 2014).

Inicialmente, culturas primitivas em várias partes do mundo desenvolveram técnicas de umedecimento, massagem e prensagem da lã para criar um feltro denso, conhecido como cobertor, que podia ser moldado em diferentes espessuras e formatos. O uso do feltro era comum na China e no Egito muito antes do advento da fiação e tecelagem. A lã foi a primeira fibra animal a ser tecida, e durante a era romana, juntamente com outras fibras como o linho e o couro, desempenhou um papel significativo na Europa. Os romanos são creditados por terem inventado o processo de cardar, que consiste na preparação das fibras por escovamento e alinhamento, tornando mais fácil a fiação e tecelagem. Esse período também marcou o início da criação seletiva de ovelhas para obter lã de maior qualidade.

Na Idade Média, o comércio de lã era essencial para a economia de regiões como os Países Baixos e a Itália central, que dependiam das exportações de lã inglesa para sua produção têxtil. A lã era a mercadoria de exportação mais valiosa da Inglaterra nesse período. Antes do Renascimento, a indústria têxtil também desempenhou um papel crucial na prosperidade de Florença, influenciando políticas bancárias que colocaram a cidade como líder nesse movimento econômico relacionado ao têxtil (Johnston, Hallett, 2014).

O contexto da Restauração Inglesa no século XVII marcou a unificação das monarquias da Inglaterra, Irlanda e Escócia, que mais tarde formaram a Grã-Bretanha, e iniciaram projetos de colonização em várias regiões do mundo, incluindo África, América, Ásia e Oceania. Durante esse período, houve uma intensificação da competição entre os tecidos de lã inglesa e a seda no mercado internacional (Johnston, Hallett, 2014).

Para proteger o comércio lucrativo de lã, a Coroa britânica impôs restrições à negociação desta fibra nas colônias americanas, limitando-a a parceiros ligados à metrópole. A economia espanhola também estava fortemente ligada à exportação de lã, a ponto de requerer consentimento real para a exportação de ovinos merinos, conhecidos por sua lã de alta qualidade. As ovelhas merinas espanholas se tornaram altamente cobiçadas, e muitas das ovelhas merinas na Austrália e em outras regiões descenderam delas. A introdução dessas ovelhas também teve impacto na Argentina e no Uruguai, contribuindo significativamente para suas receitas de exportação. Assim, a Restauração Inglesa não apenas promoveu a colonização global, mas também influenciou a competição internacional na produção e exportação de lã, com implicações econômicas importantes para várias regiões (Johnston, Hallett, 2014).

A Revolução Industrial, no século XIX, transformou a cidade de Bradford, localizada no norte da Inglaterra, no epicentro global da fiação e tecelagem de lã fina. A cidade se tornou um dos principais centros mundiais para a produção e comercialização de lã, ganhando o título de capital da lã devido à sua influência global no setor. A importância de Bradford na tecelagem de lã deixou um legado duradouro na história da indústria têxtil. Embora, com o advento da globalização, a produção tenha declinado nas últimas décadas, o impacto histórico da cidade ainda é reconhecido, e Bradford continua a ser associada à inovação e excelência no trabalho com lã.

A voracidade de Bradford por essa matéria-prima contribuiu para manter a economia colonial australiana. A relação entre Bradford e a colonização australiana está profundamente ligada à indústria da lã, que se tornou uma conexão econômica vital entre a cidade britânica e a colônia australiana durante o século XIX. A relação entre Bradford e a Austrália floresceu, com a Austrália tornando-se um dos maiores exportadores de lã para

o Reino Unido. No início do século XX, a produção de lã na Austrália superou a da Europa, e até hoje, o país mantém a liderança global na produção desse material. Até os dias atuais, a Austrália continua sendo um dos maiores exportadores de lã do mundo (Johnston, Hallett, 2014).

No período pós-Segunda Guerra Mundial, houve uma mudança significativa nas preferências dos materiais utilizados na moda e no vestuário, com a ascensão das fibras sintéticas, resultado do desenvolvimento tecnológico das décadas de 1930 e 1940. No entanto, a década de 1960 viu o ressurgimento do interesse por fibras naturais, como lã e algodão, em resposta a movimentos sociopolíticos, como o hippie. Hoje, os avanços tecnológicos na indústria têxtil estão conferindo características adaptativas às fibras naturais, permitindo que elas permaneçam relevantes e ofereçam possibilidades variadas de design, desde abordagens tradicionais até explorações futuristas (Johnston, Hallett, 2014).

Em grande parte do mundo, a produção de lã é essencialmente uma decorrência da criação de ovinos, em que o principal produto é a carne (como é o caso da lã examinada nesta investigação). Como resultado dessa abordagem, as ovelhas raramente são selecionadas com base na finura e qualidade de sua lã, resultando em uma fibra tipicamente áspera, de reduzido valor de mercado e frequentemente subutilizada. Uma notável exceção a essa tendência é observada na lã produzida por ovelhas da raça Merino, que é a variedade mais relevante na confecção de vestuário de alta qualidade. Um único exemplar de ovelha Merino pode gerar aproximadamente 5 kg de lã fina e de boa qualidade. Dessa forma, por ser uma fibra natural e renovável, a produção de lã de boa qualidade vem se tornando uma alternativa para a indústria têxtil (Fletcher, 2013).

Convém ressaltar que, apesar do processo de limpeza da lã demandar uma grande parcela de consumo energético, deve-se considerar que o gasto de energia para sua produção, quando comparada a outras fibras naturais ou sintéticas, é substancialmente menor. Na comparação com a produção de poliéster o consumo tende a ser quase três vezes inferior e aproximadamente quatro a cinco vezes inferior em relação a outras fibras sintéticas como náilon e o acrílico (Fletcher, 2013).

No passado, o cuidado com a lã envolvia métodos tradicionais de manutenção, como lavagem à mão ou à seco para melhor conservação, e aplicação em determinados tricôs e modelagem. Atualmente, porém, os processos permitem que os consumidores desfrutem dos produtos de lã com a mesma facilidade que outras fibras, destacando a versatilidade da lã na expressão de diferentes aplicabilidades e formas de manutenção mais adaptadas ao cotidiano do usuário (Fletcher, 2013).

Além disso, a lã, uma fibra natural, também considerada um polímero natural, possui uma longa história de utilização devido à sua durabilidade, isolamento térmico e conforto e serve de complementação ao alginato conferindo ao biomaterial final uma estrutura reforçada e qualidades sensoriais que atendem às exigências da moda e do design contemporâneo. A combinação dessas duas substâncias resulta em um biocompósito que não apenas se alinha com as práticas sustentáveis, mas também oferece versatilidade e funcionalidade, aproveitando ao máximo as características intrínsecas tanto do alginato quanto da lã.

O conhecimento da cadeia têxtil e das fibras têxteis naturais, artificiais e sintéticas é de extrema importância para o design de produtos de moda. Compreender as características, propriedades e usos dessas fibras permite aos designers desenvolverem uma base sólida para a criação de peças de vestuário sustentáveis e inovadoras. As fibras têxteis naturais, como o algodão, lã, linho e seda, possuem uma conexão profunda com a natureza e são

valorizadas por sua aparência, toque e conforto. Ao compreender sua origem e processo de produção é possível tomar decisões conscientes sobre a sustentabilidade e impacto ambiental na criação de produtos. Além disso, o conhecimento sobre fibras naturais permite explorar suas características únicas e criar peças de alta qualidade e durabilidade (Baugh, 2011).

Ao mesmo tempo, uma tendência emergente na moda sustentável envolve o uso de biomateriais, que são obtidos de organismos vivos ou não e estão alinhados com práticas de produção sustentáveis. Esses biomateriais desempenham um papel importante na evolução da moda, buscando soluções que minimizem o impacto ambiental. Portanto, a moda do futuro abraça tanto a versatilidade da lã tradicional quanto a inovação dos biomateriais, oferecendo uma ampla gama de possibilidades de design para a sustentabilidade.

A integração de alginato de sódio com fibras de lã como base para a criação de biocompósitos reabsorvíveis representa uma inovação promissora no campo do design têxtil sustentável. O alginato de sódio, com suas propriedades gelificantes, oferece uma solução versátil para aplicações que vão desde curativos médicos até o desenvolvimento de novos materiais têxteis. Quando combinado com a lã, uma fibra natural de reconhecida durabilidade e capacidade de isolamento térmico, cria-se um material híbrido que não só mantém as qualidades desejáveis de ambos os componentes, mas também contribui para a sustentabilidade ao explorar recursos renováveis.

Ao investigar as propriedades e possibilidades de aplicação desses biocompósitos, reforça-se a importância de projetos experimentais no avanço da moda sustentável, propondo um futuro em que o biodesign e o uso consciente de materiais possam transformar a indústria têxtil. A pesquisa evidencia como o domínio técnico, aliado à criatividade dos designers, pode resultar em materiais inovadores que atendem às exigências funcionais e ecológicas do presente.

3. Métodos

Os projetos experimentais em materiais e design têm se consolidado como uma tendência crescente no campo da moda, ampliando os horizontes dessa profissão. Designers de moda utilizam suas habilidades e criatividade para reaproveitar resíduos e desenvolver novos materiais a partir de fontes não convencionais (Pedgley, Rognoli, Karana, 2021). Ao trabalhar com materiais inovadores, esses profissionais precisam compreender as propriedades e comportamentos dos mesmos para garantir sua aplicação adequada.

Um método comumente adotado por designers envolve o processamento dos materiais de diversas maneiras, analisando os resultados e suas qualidades físicas e sensoriais antes de avançar para novos ciclos de experimentação. Falhas e resultados inesperados são frequentemente pontos de partida para novas perspectivas no desenvolvimento de materiais. A experimentação em design transcende os métodos analíticos tradicionais integrando aspectos técnicos, artísticos e científicos (Pedgley, Rognoli, Karana, 2021).

Com base nessas premissas, foram identificadas técnicas valiosas para o desenvolvimento de novos materiais, especialmente no que diz respeito ao trabalho com biocompósitos. A metodologia adotada nesta pesquisa baseou-se na experimentação prática e na consulta a fontes bibliográficas, com ênfase em mulheres pesquisadoras como Débora Baraúna, Elvin Karana, Kate Fletcher, Sandy Black e Valentina Rognoli, com o objetivo de explorar as propriedades dos biomateriais.

A literatura especializada define a experimentação em design como uma intersecção entre pesquisa científica e artística, adaptando-se ao contexto de aplicação. O método experimental envolve a exposição dos objetos de estudo a diferentes variáveis em condições controladas, com o intuito de observar os efeitos gerados. Esse tipo de experimentação contribui para a construção de conhecimento, incentivando a investigação inovadora e o desenvolvimento metodológico. Além disso, promove processos criativos, dialógicos e de aprendizagem social (Baraúna, 2021).

O método experimental aplicado na pesquisa segue uma abordagem de experimentação em design, na qual foram desenvolvidas práticas exploratórias com o uso de biomateriais, como alginato de sódio, amido de milho e gelatina, focando em modos de conformação, tempos de secagem e variáveis de produção. A experimentação envolveu testes em diferentes amostras quanto à maleabilidade, absorção de água, costura em máquina e características ao toque, permitindo uma análise comparativa entre os materiais. Com base nessas práticas, foi possível identificar pontos fortes e fracos de cada biomaterial, como a resistência à água do alginato e a maleabilidade variável dependendo do tipo de biopolímero utilizado.

Outrossim, a experimentação em design, além de gerar conhecimento prático, envolve processos transdisciplinares que estimulam a criatividade e a inovação metodológica. Este estudo foi fundamentado em pesquisas de renomadas autoras, como Ângela Barbour, Clara Davis, Miriam Ribul, Anastasia Pistofidou e Margaret Dunne, que promovem inovações para as indústrias têxtil e artística, explorando a criação de materiais biodegradáveis e alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais. Bibliotecas de materiais, como *Materiom*, *Future Materials Bank* e *Materials Experience Lab*, foram também recursos valiosos utilizados nesta pesquisa. Embora essas bibliotecas ofereçam dados importantes sobre as propriedades de materiais comerciais e experimentais, o conhecimento sobre materiais completamente novos deve ser adquirido por meio da experimentação prática. A abordagem comum envolve manipular o material de diversas maneiras, analisando os resultados antes de prosseguir com novos experimentos.




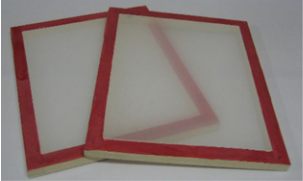

O interesse da autora pelo desenvolvimento de biomateriais começou em 2017, quando surgiu a oportunidade de trabalhar com amido de tapioca para desenvolver os primeiros bioplásticos, em colaboração com a professora Dra. Rafaela Blanch Pires, utilizando a estrutura física do extinto BSB Fab Lab. Esses experimentos foram ampliados nos anos de 2019, 2021 e 2022, em atividades com alunos das disciplinas de Moda Sustentável e Processos e Materiais Têxteis, do curso de Graduação em Design de Moda no IESB, em Brasília.

Em julho de 2022, com a abertura do edital do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade de Brasília (UnB), o tema foi retomado no projeto de pesquisa. Em maio de 2023, um curso online de bioplásticos foi iniciado com a bioquímica e artista visual Ângela Barbour, que apresentou fórmulas eficazes utilizando polímeros como ágar, gelatina, amidos e alginato de sódio.

Os experimentos para esta pesquisa foram realizados entre julho de 2023 e setembro de 2024 e foram organizados em 9 etapas que derivaram 9 amostras. Durante o processo, foram utilizados equipamentos domésticos como panelas, espátulas de silicone, termômetros de cozinha, mixer, balança e superfícies para secagem, como formas de silicone e bastidores de bordado com tecido de algodão, listados na Tabela 1. Os insumos foram misturados e derretidos tanto em fogões a gás, em um ambiente de cozinha doméstico, quanto em fogões elétricos nos laboratórios utilizados para o desenvolvimento dos materiais.

Tabela 1. Especificações dos utensílios:

Item	Descrição	Figura
Balança	<p>Marca: MOUD</p> <p>Cor: Branca</p> <p>Limite de peso: 10 Quilogramas</p> <p>Peso do produto: 300 Gramas.</p>	
Bastidor de Bordado	<p>Marca: Círculo</p> <p>Tamanho: N°6-15,2cm</p> <p>Cor: Rosa</p> <p>Composição: Plástico</p>	
Colheres medidoras	<p>Altura: 7cm</p> <p>Largura: 9cm</p> <p>Profundidade: 8cm</p> <p>Capacidade: Medidas das colheres: 255mL, 185mL, 120mL, 60mL, 15mL, 5mL, 2,5mL, 1,25mL. Origem: China</p> <p>Material: Poliestireno</p>	
Espátula de Silicone	<p>Dimensões: 24,5 cm</p> <p>Material: Silicone/Aço Inox</p> <p>Cor: Preta/Prateada</p> <p>Resistência: 220° C</p>	
Fogão a gás	<p>Capacidade do forno (70 litros)</p> <p>Eficiência Energética</p> <p>Potência dos queimadores</p> <p>-Grande: 2,75Kw;</p> <p>-Médio: 1,65Kw.</p> <p>Tensão/Voltagem bivolt</p>	
Fogão elétrico	<p>Potência: 2000W</p> <p>Recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pratos de aquecimento - Controle de temperatura independente - Com luz piloto - Não precisa de Gás - Funciona com eletricidade - Dois pratos de aquecimento 	
Mixer	<p>Modelo: RI1364</p> <p>Marca: PHILIPS WALITA</p> <p>Potência: 400W</p> <p>Velocidade: 1 Velocidade + Turbo</p> <p>Voltagem: 220V.</p>	

Item	Descrição	Figura
Panela	Certificação INMETRO: OCP 0061 Registro 010884/2023 Peso: 0.595kg Tamanho: Altura: 7.5cm Largura: 16cm Profundidade: 32 cm Origem: China Material: ALUMÍNIO, FENOL.	
Termômetro	Termômetro De Cozinha De Plástico De 0 a 200 Graus Peso: 0.038kg Tamanho: Altura: 0.6cm Largura: 0.6cm Profundidade: 30cm Origem: VIDRO, PP Material: China	
Superfície de silicone	Tamanho: 16,4 cm x 26 cm. Material: Silicone	
Superfície Tela de serigrafia	Tela 50X70 Esticada 77 Fios Para Silk Screen E Serigrafia Esticada em pinças pneumáticas e colada com cola resistente a água e solvente. Disponibilidade imediata. Descrição: Tamanho: 50X70 (Medida Externa) Medida Interna: 43X63 Perfil: 3x3,5cm Quadro: Madeira Marupá Malha: Poliester 77 fios	
Superfície Têxtil	Tecido Tricoline 100% Algodão. (Também foi usada uma tela de 100% viscose).	

Fonte: autora, 2024

Especificações dos insumos e matérias-primas usadas:

Matrizes poliméricas:

- Alginato de Sódio
- Agar
- Gelatina
- Fécula de batata

Cargas de enchimento:

- Lã de ovelha
- Pó de mica

Plastificantes:

- Glicerina
- Cloreto de cálcio
- Vinagre (para as bases poliméricas de amido)

O curso online oferecido pela Ellora Ateliê, ministrado pela professora Dra. Ângela Barbour, sobre biomateriais, foi baseado nos experimentos da *Fabricademy* e possibilitou uma exploração aprofundada do polímero de alginato de sódio. Em combinação com a lã de ovelha, obtida da fazenda Ercoara, localizada a 90 km de Brasília, foi possível desenvolver um material inovador. Após a tosquia das ovelhas, a lã, anteriormente descartada, foi submetida a um processo de limpeza e higienização para ser utilizada como carga de enchimento nos biomateriais.

Vale destacar que o alginato de sódio, em conjunto com glicerina e cloreto de cálcio, é essencial para a encapsulação e gelificação adequadas do material. Sem o cloreto de cálcio, o processo de plastificação do alginato torna-se inviável, comprometendo a qualidade e durabilidade do biomaterial desenvolvido.

O desenvolvimento do material também incluiu a adição de pó de mica, subproduto da extração de feldspatos, caulim, quartzo, gemas ou minerais metálicos, que conferiu características visuais específicas ao material. Durante o processo de cozimento e mistura, foram utilizados plastificantes como glicerina e óleo mineral, enquanto o cloreto de cálcio foi aplicado na superfície de moldagem e secagem do biomaterial, desempenhando um papel crucial na formação do produto final.

As fórmulas iniciais foram baseadas nos experimentos da *Fabricademy*, e, a partir das observações obtidas ao longo do processo, foi possível adaptar essas receitas com base nos estudos de pesquisadoras como Clara Davis e Mirian Ribul.

Matriz Polimérica	Cargas Reforço e Enchimento	Plastificantes
Alginato de sódio	Lã de ovelha	Glicerina
	Pó de mica	Cloreto de cálcio
		Óleo mineral

Durante o processo de experimentação, foram avaliados diversos fatores essenciais, como o tempo de cozimento dos materiais, as superfícies adequadas para modelagem e secagem, a duração da secagem e eventuais alterações sensoriais, como variações de cor, encolhimento, endurecimento e odor. Após a secagem dos biomateriais, as amostras foram comparadas de acordo com os critérios do método sensorial (Pedgley, Rognoli, Karana, 2021), que se destaca como uma das abordagens metodológicas no design. Esse método considera não apenas as necessidades funcionais dos materiais, mas também as experiências emocionais e sensoriais que eles proporcionam aos usuários. O objetivo é alinhar a seleção de materiais com as percepções e interações dos usuários, indo além das características técnicas e do desempenho mecânico. Assim, o material escolhido deve não apenas atender aos critérios de resistência e durabilidade, mas também oferecer uma experiência tátil, visual e emocional.

Conforme abordado no tópico “ciência dos materiais”, a expressividade dos materiais é um dos critérios do método sensorial, pois os materiais são capazes de transmitir significados emocionais e simbólicos, os chamados aspectos psicofísicos. Certos materiais podem evocar sensações específicas, como conforto, nostalgia ou segurança, influenciando não apenas o uso prático do produto, mas também a maneira como ele é percebido em um nível mais subjetivo. A escolha

de um material, portanto, reflete não só em suas propriedades físicas, mas também em sua capacidade de se conectar emocionalmente com o usuário.

A multissensorialidade é um outro critério sobre a criação de experiências mais imersivas e completas, pois integra diferentes percepções sensoriais, como a textura do toque, aparência da cor e o seu cheiro, permitindo que o usuário estabeleça uma conexão mais profunda com o produto. Ao envolver mais de um sentido, o material cria uma experiência mais rica e significativa, promovendo uma interação mais envolvente e satisfatória.

Os primeiros experimentos foram realizados utilizando alginato de sódio e extrato de Crajiru, um pigmento natural da região amazônica do Brasil. No mesmo dia, foram preparadas duas amostras adicionais com o alginato e o ágar, utilizando o mesmo extrato de Crajiru. Em uma dessas amostras de ágar, a lã cardada foi incorporada, revelando o potencial da lã como carga de enchimento para os biocompósitos. No entanto, o ágar apresentou resultados insatisfatórios em comparação com o alginato, que demonstrou maior consistência e resistência, sem rupturas. Conseqüentemente, a pesquisa focou-se no uso do alginato. Além disso, foi incorporado um bio *glitter* de ágar à formulação para aprimorar a estética e a aparência do material.

Amostra 1 -Bio Alginato C -Elaborado em 25/07/2023

Alginato	12g
Glicerina	40g
Água	400ml

Processo de produção:

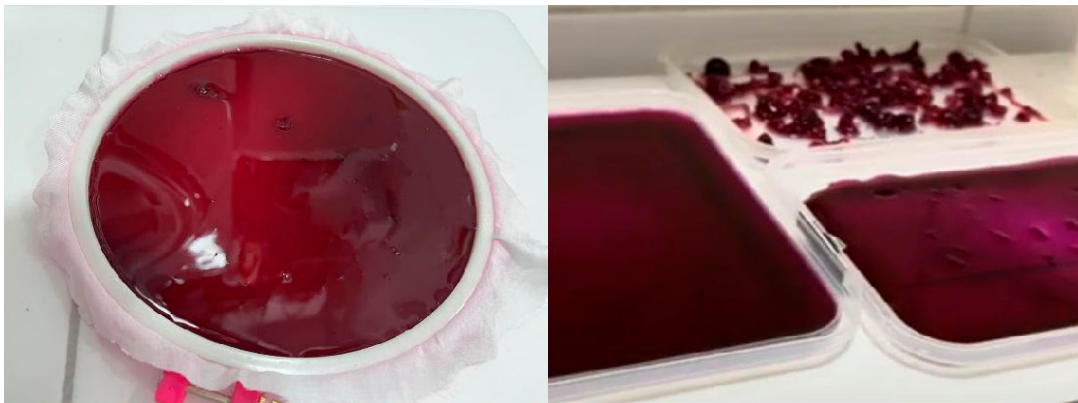
- Adicione o alginato;
- Adicione a glicerina;
- Adicione a água;
- Misture gentilmente para dissolver;
- Cozinhe por 20 minutos em fogo baixo;
- Despeje sobre a superfície desejada;
- Deixe secar em local seco, virando-o de lado sempre que possível.

O processo de cozimento durou aproximadamente 20 minutos, sem atingir o ponto de fervura. A glicerina foi adicionada após o cozimento, e a homogeneização da mistura exigiu o uso de um mixer.

Nesse procedimento, a água foi substituída por um extrato de cajuru com pau-brasil, preparado em uma panela de alumínio. O experimento resultou na produção de 3 amostras distintas:

- A formação de uma lâmina em um bastidor de bordado, utilizando tecido tricoline de algodão levemente borrifado com cloreto de cálcio;
- O uso de tampas de potes previamente borrifadas com cloreto de cálcio;
- O uso de seringa pequena para fazer fios e bolinhas.
- O processo de secagem durou aproximadamente 4 dias.

Figura 4. Amostras de biomaterial de alginato em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Amostra 2 - Folha Flexível -Elaborada em 25/07/2023

Agar	5g
Glicerina	20g
Água	250ml

Foram incorporados 5g adicionais de glicerina à fórmula original, e a água foi substituída por extrato de Crajiru, conforme utilizado na amostra 1 do Bio Alginato C.

Processo de produção:

- Aqueça a água em fogo baixo;
- Adicione o agar;
- Adicione a glicerina;
- Misture gentilmente para dissolver;
- Cozinhe por 20 minutos;
- Despeje sobre a superfície desejada;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível.

A partir dessa formulação, com agar como base, foram desenvolvidas três amostras experimentais:

1. Aplicação de duas camadas de lã, formando uma estrutura em “sanduíche” sobre uma tampa plástica. Esta amostra também incluiu bio glitter à base de algas na cor cobre;
2. Aplicação do material em uma tampa plástica, utilizando bio glitter à base de algas na cor cobre, sem a adição de lã como carga de enchimento;
3. Aplicação do material base em outra tampa plástica, sem a incorporação de enchimento ou bio glitter.

Tempo de cozimento: 15 minutos em fogo baixo.

O processo de secagem durou aproximadamente 5 dias.

Figura 5 - Amostras de biomaterial de Agar em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Nos dias seguintes, foram produzidas amostras de polímeros de gelatina com carga de enchimento de lã e amostras com sabonete líquido para a confecção de uma bioespuma . A gelatina apresentou resultados satisfatórios, mas o alginato destacou-se em termos de textura, flexibilidade e plasticidade. Nesse mesmo período, testou-se o alginato misturado com o carvão ativado e o polímero de fécula de batata enxertada com lã e o pó de mica.

Amostra 3 - Bio espuma de Gelatina -Elaborada em 04/09/2023

Gelatina	48g
Glicerina	12g
Água	240ml
Sabonete líquido	10ml

Processo de produção:

- Aqueça a água;
- Adicione a gelatina;
- Adicione a glicerina;
- Misture gentilmente para dissolver;
- Cozinhe por 5 minutos, sem ferver, para que a gelatina não fique quebradiço;
- Despeje sobre a superfície desejada;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado a cada 3 horas.

Foi utilizado um mixer para a formação da espuma, embora o uso de um batedor manual, como um fuê, também se mostre eficaz. Ao trabalhar com a matriz polimérica à base de gelatina, é crucial evitar que a mistura atinja o ponto de fervura, uma vez que isso pode causar fissuras no material após a secagem.

O tempo médio de secagem foi de aproximadamente 12 horas, permitindo a remoção do material da forma sem que ele se quebrasse.

Figura 6. Amostras de biomaterial de gelatina em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Amostra 4 - Tentativa 1 - Alginato de sódio com carvão ativado -Elaborada em 20/09/2023

Alginato	12g
Glicerina	30g
Água	400ml
Carvão ativado	32g

Esta fórmula foi adaptada a partir da receita original da designer e pesquisadora Clara Davis, disponível na biblioteca Materiom.

A receita original previa as seguintes quantidades:

- 26g de gelatina
- 10g de glicerina
- 100ml de água
- 16g de carvão ativado

Processo de produção:

- Adicione o alginato;
- Adicione o carvão ativado;
- Adicione a água;
- Adicione a glicerina;
- Misture com um mixer até virar um mel;
- Cozinhe em fogo baixo por 5 minutos, sem ferver;
- Dissolva o cloreto de cálcio (10g) na água (100ml) e coloque a solução em um borrifador;
- Aplique a solução de cloreto sobre o tecido;
- Despeje o alginato sobre a superfície desejada;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível;
- Aplique o cloreto de cálcio caso perceba que o material não plastificou.

Durante esta experimentação, não foi possível adicionar lã, uma vez que o estoque de lã higienizada estava esgotado. A higienização e secagem da lã requereram alguns dias, sendo, portanto, utilizada em experimentos subsequentes.

Adicionou-se uma pequena quantidade de pó de mica, com o objetivo de verificar a viabilidade de criar um efeito de brilho no material.

O processo de secagem durou aproximadamente 3 dias.

Figura 7. Amostras de biomaterial de alginato com carvão ativado em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Amostra 5 - Fécula de Batata -Elaborada em 02/11/2023

Fécula de batata	24g
Glicerina	24g
Água	100ml
Vinagre	24g

Processo de produção:

- Aqueça a água;
- Adicione a fécula de batata;
- Adicione a glicerina;
- Acrescente o vinagre;
- Misture até virar uma pasta viscosa;
- Despeje sobre a superfície desejada;
- Introduza a lâ;
- Acrescente mais biomassa;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível.
- Essa fórmula foi uma adaptação da receita desenvolvida pela designer e pesquisadora Mirian Ribul, conforme apresentada no eBook *Recipes for Material Activism*, 2014.

A receita original especificava as seguintes quantidades:

- 1 colher de sopa de fécula de batata (equivalente a 14g)
- 1 colher de sopa de glicerina
- 1 colher de sopa de vinagre
- 4 colheres de sopa de água (equivalentes a 56g)

Nesta adaptação, foram adicionados lâ e pó de mica à mistura.

O processo de secagem durou aproximadamente 5 dias.

Figura 8. Amostras de biomaterial de fécula de batata em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Na terceira etapa de testes, o carvão ativado foi inserido como carga de enchimento para conferir maior resistência, e o processo de secagem das amostras foi realizado em uma tela de serigrafia. Essa superfície, entretanto, não foi tão eficiente quanto o tecido embebido em cloreto de cálcio, sendo que a melhor superfície testada até o momento foi a têxtil. O carvão ressecou o material, exigindo uma alteração nas quantidades de glicerina para os próximos experimentos com carvão.

Amostra 6 - Tentativa 2 - Alginato com carvão ativado -Elaborada em 02/11/2023

Alginato	12g
Glicerina	40g
Água	400ml
Carvão ativado	16g
Cloreto de Cálcio	10g
Água para mistura com o cloreto de cálcio	100ml

Processo de produção:

- Adicione o alginato;
- Adicione o carvão ativado;
- Adicione a água;
- Adicione a glicerina;
- Misture com um mixer até virar um mel;
- Cozinhe em fogo baixo por 5 minutos, sem ferver;
- Dissolva o cloreto de cálcio (10g) na água (100ml) e coloque a solução em um borrifador;
- Aplique a solução de cloreto sobre a superfície que será utilizada;
- Despeje o alginato sobre a superfície desejada;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível;
- Aplique o cloreto de cálcio caso perceba que o material não plastificou.

Esta fórmula foi uma adaptação da amostra 4, com ajustes que incluíram a redução da quantidade de carvão ativado e o aumento da proporção de glicerina.

Levaram cerca de 4 dias para a secagem completa da amostra.

Figura 9. Amostras de biomaterial de alginato de sódio com carvão ativado em processo de secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Um quarto teste foi conduzido utilizando carvão ativado, pó de mica e gelatina, que produziu resultados promissores. No entanto, a pesquisa foi direcionada para explorar e compreender mais profundamente as propriedades das matrizes de alginato combinadas com diversas cargas de lã, visando desenvolver um material resistente, durável e comparável ao couro animal ou sintético. Dessa forma, o alginato foi destacado como o principal polímero para os experimentos subsequentes.

Figura 10 - Da esquerda para direita: Primeiros experimentos - Amostra 1: Alginato com Crajiru; Amostra 2: Agar sem lã; Amostra 3: Bioespuma de gelatina; Amostra 4: Alginato de sódio com carvão ativado; Amostra 5: Fécula de batata com lã; Amostra 6: Alginato com carvão ativado em formato maior.



Fonte: autora, 2023.

A partir dessa série de testes, foi possível desenvolver uma fórmula equilibrada que combinasse polímeros de alginato com outros materiais utilizados como carga de reforço ou enchimento. Nessa etapa, a lã já havia sido devidamente higienizada e seca, o que possibilitou maior experimentação nas misturas de alginato com lã e pó de mica, ajustando as proporções de glicerina e água. Essas adaptações foram essenciais para o aprimoramento do material, visando sua padronização em termos de dimensões esperadas e quantidades adequadas de componentes utilizados na formulação.

Amostra 7 - Alginato com lã e pó de mica -Elaborada em 29/11/2023

Alginato	12g
Glicerina	50g
Água	400ml
Óleo mineral	24g
Pó de mica	1 colher de café
Cloreto de Cálcio	10g
Água para mistura com o cloreto de cálcio	100ml

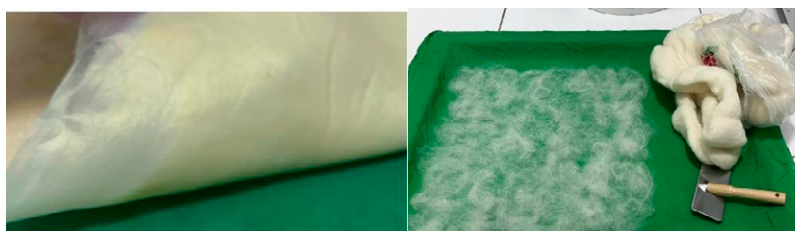
Processo de produção:

- Adicione o alginato;
- Adicione a mica;
- Adicione a água;
- Adicione a glicerina;
- Adicione o óleo mineral;
- Misture com um mixer até virar um mel;
- Cozinhe em fogo baixo por 5 minutos, sem ferver;
- Dissolva o cloreto de cálcio (10g) na água (100ml) e coloque a solução em um borrifador;
- Aplique a solução de cloreto sobre o tecido;
- Despeje o alginato sobre o tecido;
- Faça a feltragem da lã, e faça uma espécie de 'sanduíche' de lã com alginato;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível;
- Aplique o cloreto de cálcio caso perceba que o material não plastificou.

Esta fórmula foi uma adaptação da amostra 6, com modificações que incluíram a adição de pó de mica e da fibra de lã e também o aumento da proporção de glicerina.

Levaram cerca de 3 dias para a secagem completa da amostra.

Figura 11. Amostras de biomaterial de fécula de batata em processo de produção e secagem com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

A partir da amostra 7 foi definido o processo de feltragem⁵ da lã em um ‘sanduíche’ feito com a base polimérica de alginato, como demonstra a figura 12. E assim foi possível dar início a confecção de amostras maiores.

Figura 12 -Etapas de produção da amostra 7 usando a base polimérica de alginato com a carga de enchimento feita com a feltragem da lã.

Processo



1) Adicionando os ingredientes.



2) Batendo até dissolver tudo em fogo baixo.



3) Enquanto espera esfriar o alginato, borifa o cloreto de cálcio na superfície desejada.



4) Despeje o alginato na superfície bem úmida com a solução de 10% de cloreto de cálcio.



5) Coloque a lã cardada e faça um feltro de lã com o alginato e espalhe bem..



6) Faça um sanduíche com a lã e o alginato. (A lã fica no meio desse sanduíche).



7) Misture bem e tente fazer a feltragem da lã com o alginato de maneira uniforme.



8) Verifique o equilíbrio entre alginato e fibras e dê uma borrifada com o cloreto de cálcio para plastificar..

Fonte: autora, 2023.

As primeiras experiências de desenvolvimento voltadas para a extensão do material em relação ao tamanho e dimensão não foram satisfatórias devido à proporção inadequada de lã em relação ao alginato, resultando em descascamento do material. A segunda tentativa, com maior proporção de alginato, teve mais sucesso, cobrindo totalmente a lã. Contudo, a largura e o comprimento das amostras foram menores do que o esperado, levando ao planejamento de um bastidor para padronizar as dimensões das amostras, considerando os processos de secagem e encolhimento de todas as amostras de alginato.

⁵ O feltro é um material têxtil não tecido, produzido pela combinação e pressão de fibras, sendo um dos mais antigos da humanidade. Ele pode ser macio e flexível ou resistente para uso industrial. A técnica tradicional de feltragem, ainda praticada por tribos nômades da Ásia Central, consiste em friccionar fibras naturais com água e sabão para uni-las (Hallet, Johnston, 20).

Amostra 8 - Ampliação da receita do Alginato com pó de mica e a lã - Elaborada em 03/04/2024

Alginato	60g
Glicerina	130g
Água	2400ml
Óleo mineral	15g
Pó de mica	4 colheres de café
Lã - enchimento	20g
Cloreto de Cálcio	10g
Água para mistura com o cloreto de cálcio	100ml

Processo de produção:

- Adicione o alginato;
- Adicione a água;
- Adicione a glicerina;
- Misture com um mixer até virar um mel;
- Cozinhe em fogo baixo por 5 minutos, sem ferver;
- Dissolva o cloreto de cálcio (10g) na água (100ml) e coloque a solução em um borrifador;
- Aplique a solução de cloreto sobre o tecido;
- Despeje o alginato sobre o tecido;
- Faça a feltragem da lã, e faça uma espécie de 'sanduíche' de lã com alginato;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível;
- Aplique o cloreto de cálcio caso perceba que o material não plastificou.

Esta fórmula foi uma ampliação dos insumos da amostra 7.

O peso da lã ainda não tinha sido quantificado anteriormente porque era muito pouco em relação a quantidade de alginato. A partir desse momento começou a pesar a quantidade de lã.

Levaram cerca de 4 dias para a secagem completa da amostra.

Figura 13. Amostras de biomaterial de alginato de sódio em fase de produção com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

Com base no material resultado da amostra 8, foi estabelecido contato com o SENAI/CETIQT, centro de referência em desenvolvimento e inovação têxtil no Brasil, que realizou os seguintes ensaios laboratoriais no dia 15 de maio de 2024:

Os métodos ISO usados nos ensaios realizados sobre o biomaterial avaliado são normas internacionalmente reconhecidas, que garantem a precisão, repetibilidade e confiabilidade dos resultados. A ISO 13934-1:2013, por exemplo, mede a resistência à tração e o alongamento de materiais têxteis. Esse método é essencial porque avalia a capacidade do material de suportar forças mecânicas antes de se romper, além de sua elasticidade, o que é crucial para determinar a durabilidade e o conforto de tecidos em aplicações como moda e decoração. Em biomateriais, especialmente aqueles que visam substituir o couro animal, a resistência à tração e a flexibilidade são parâmetros indispensáveis para garantir que o material possa ser usado em produtos que exigem tanto robustez quanto adaptabilidade.

A ISO 811:2018, que mede a resistência à penetração de água, é igualmente importante, principalmente no estudo de biomateriais para aplicações têxteis. Este teste avalia a capacidade do material de resistir à passagem de água sob pressão, simulando condições como chuva e contato prolongado com ambientes úmidos. Para biomateriais que pretendem ser usados em roupas, calçados ou acessórios, essa norma é crítica, pois a impermeabilidade é um fator determinante para a funcionalidade do produto final. Um biomaterial que não resista à penetração de água pode rapidamente se deteriorar, limitando seu uso.

Já a ISO 12947-2:2016, que mede a resistência à abrasão pelo método Martindale, é relevante para avaliar a durabilidade dos biomateriais têxteis. Este ensaio submete o material a ciclos repetidos de fricção, simulando o desgaste por uso contínuo. A capacidade do material de resistir a mais de 50.000 ciclos sem alteração significativa demonstra que ele pode suportar o desgaste diário, o que é fundamental para sua aplicação comercial, especialmente em produtos como roupas e acessórios que precisam ser resistentes ao atrito constante.

Esses métodos são fundamentais para o desenvolvimento de biomateriais têxteis, pois oferecem uma base científica para comparar a performance desses novos materiais com os têxteis tradicionais. O uso dessas normas permite identificar as propriedades físicas essenciais, como resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade, que são cruciais para garantir a viabilidade dos biomateriais no mercado. Além disso, os resultados obtidos por meio de testes padronizados podem ser replicados e verificados globalmente, facilitando o progresso na pesquisa de novos materiais sustentáveis e ampliando o debate sobre suas aplicações práticas.

Posteriormente, amostras com 1,50 metro foram preparadas utilizando extrato de urucum, obtido pela fricção das sementes em água com sabão neutro. Observou-se que o extrato ressecou o material, o que levou à preparação de uma nova amostra com menor quantidade de extrato e maior proporção de glicerina para testar a maleabilidade. As amostras apresentaram variações em termos de textura, cor, largura e comprimento. A segunda amostra, apesar do aumento de glicerina, sofreu rasgos ao ser retirada da base, possivelmente devido à aplicação inadequada do spray de cloreto de cálcio, que não alcançou uniformemente o material. Durante o processo de secagem, constatou-se que o material não estava pronto para ser desenformado.

Amostra 9 - Alginato com extrato de urucum pó de mica e a lã - Elaborada em 13/07/2024

Alginato	48g
Glicerina	90g
Água	1000ml
Extrato de urucum	600ml
Óleo mineral	15g
Pó de mica	2 colheres de café
Lã - enchimento	10g
Cloreto de Cálcio	10g
Água para mistura com o cloreto de cálcio	100ml

Processo de produção:

- Adicione o alginato;
- Adicione a água e o extrato de urucum;
- Adicione a glicerina;
- Misture com um mixer até virar um mel;
- Cozinhe em fogo baixo por 5 minutos, sem ferver;
- Dissolva o cloreto de cálcio (10g) na água (100ml) e coloque a solução em um borrifador;
- Aplique a solução de cloreto sobre o tecido;
- Despeje o alginato sobre o tecido;
- Faça a feltragem da lã, e faça uma espécie de 'sanduíche' de lã com alginato;
- Deixe secar em local seco, virando - o de lado sempre que possível;
- Aplique o cloreto de cálcio caso perceba que o material não plastificou.

Esta fórmula foi uma ampliação dos insumos da amostra 7 introduzindo o extrato de pigmento natural de urucum para proporcionar uma pigmentação natural.

Levaram cerca de 4 dias para a secagem completa da amostra.

Figura 14 Amostras de biomaterial de alginato de sódio com extrato de urucum em fase de produção com a descrição da fórmula final.



Fonte: autora, 2023.

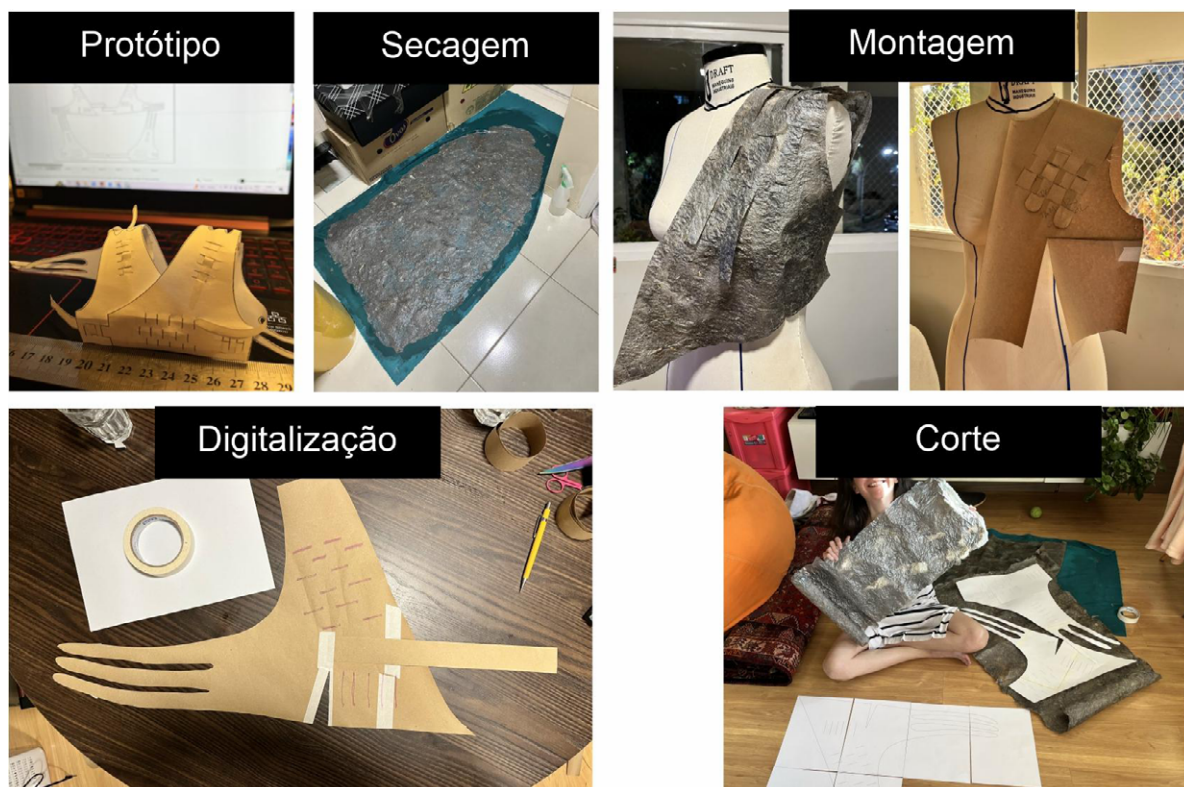
A partir da amostra 9, foi criada a coleção “Guardiões do Cerrado” utilizando biomateriais desenvolvidos pelo *Texturas EcoLab*. Esse projeto foi elaborado para o concurso *Beyond Fashion*, que culmina em um desfile destacando peças produzidas por meio de fabricação digital, com o objetivo de valorizar e promover biomateriais inovadores desenvolvidos ao redor do mundo. O evento ocorreu em Puebla, México, em agosto de 2024, como parte da Conferência Internacional de *FabLabs*, a FAB24. Para essa coleção, também foi desenvolvido um biomaterial composto de alginato de sódio, pó de mica, glicerina, lã de ovelha, serragens variadas e fibra vegetal de paineira baseado na fórmula da amostra 8.

A inspiração para este projeto originou-se do desejo de aumentar a visibilidade do bioma do Cerrado, com ênfase nas comunidades de coletores de sementes, que desempenham um papel fundamental na preservação desse ecossistema. A partir desse conceito, foram desenvolvidas peças ajustáveis, projetadas para serem inclusivas, capazes de ves-

tir qualquer corpo, utilizando um sistema de ímãs como mecanismo de ajuste. A escolha do biomaterial para a confecção da blusa foi motivada pelas limitações de tamanho impostas pelo processo de biofabricação, além de seu potencial para simbolizar uma “armadura protetora”, reforçando o conceito artístico da peça.

O desenvolvimento das peças seguiu um rigoroso processo de modelagem. Inicialmente, os modelos foram criados e ajustados em papel Kraft, visando alcançar o caimento exato desejado. Em seguida, a modelagem foi digitalizada e vetorizada em um software CAD, permitindo novos testes em miniatura de papel para verificar a precisão do design. Após a validação do modelo, o molde final foi impresso em escala real em uma gráfica e recortado manualmente com tesoura apropriada para tecidos. Todo esse processo está ilustrado na Figura 15. A montagem final das peças envolveu a união dos ombros e laterais, realizada por meio de costura reta em máquina doméstica, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 15 -Etapas do desenvolvimento da modelagem da blusa.



Fonte: Rafaella Lacerda (2024)

Figura 16 -Visualização da costura pela parte externa da peça e visualização da parte interna da costura.



Fonte: Rafaella Lacerda (2024)

Juntamente com blusa, foi desenvolvida uma bolsa em formato de semente, confeccionada com biomaterial, feito com urucum da amostra 9, costurado sobre um tecido de crepe de viscose, acompanhada de um cinto tipo *harness* — acessório vestível normalmente produzido com tiras de couro, como ilustrado na Figura 17. As peças foram elaboradas utilizando aviamentos como argolas, mosquetões

e rebites em aço inoxidável, garantindo resistência e durabilidade. A montagem foi reforçada por meio de costuras retas realizadas em máquina de costura doméstica. O tecido de crepe de viscose foi adornado com bordados de contas de madeira e palha de buriti, integrando elementos naturais à estética das peças Figura 18.

Figura 17 - Detalhes de costura e dos aviamentos do cinto vestível (*harness*).



Fonte: Rafaella Lacerda (2024)

Figura 18 - Bolsa bordada com contas de madeira e acoplada no cinto vestível (*harness*).



Bolsa de Biomaterial
costurado no crepe de viscoso



Bolsa acoplada no
cinto *harness*

Fonte: Rafaella Lacerda (2024)

Após o procedimento experimental, foram avaliados métodos de secagem e processos de compostagem. Como parte da pesquisa bibliográfica, diversos métodos de secagem aplicados ao desenvolvimento de biomateriais foram analisados, com base nas informações apresentadas no *The Chemarts Cookbook* (2020). A secagem é um processo essencial no estudo de biomateriais e biocompósitos, pois, mesmo quando aparentemente secos, esses materiais ainda contêm um teor significativo de água.

A secagem em temperatura ambiente - método de secagem usado para desenvolvimento do bicomposto elaborado para esta pesquisa - é um processo lento, uma vez que a evaporação da água ocorre gradualmente. No entanto, em temperaturas elevadas, a secagem é acelerada, embora esse aumento de temperatura possa resultar em descoloração e comprometimento das propriedades do material, especialmente quando há exposição prolongada ao calor (Kääriäinen *et al*, 2020).

Para além da fabricação de materiais, é fundamental considerar seu ciclo de vida completo, alinhado aos princípios da economia circular. Isso implica avaliar todas as fases de sua existência, desde a produção até o descarte, com ênfase em métodos sustentáveis de decomposição. Nesse contexto, foi necessário aprofundar a pesquisa sobre a compostagem de biomateriais, considerando os métodos descritos por Platt, 2006. A compostagem é um processo controlado de decomposição biológica que transforma materiais biodegradáveis em uma substância rica em nutrientes, conhecida como composto, semelhante ao húmus. Esse processo ocorre em condições aeróbicas, ou seja, na presença de oxigênio resultando na conversão da matéria orgânica em dióxido de carbono, água, minerais e matéria orgânica estabilizada. Ao compreender esse ciclo, é possível garantir que os materiais desenvolvidos não apenas atendam às suas funções, mas também contribuam positivamente para um sistema sustentável, retornando à natureza de maneira benéfica após o uso.

Após a definição internacional para plásticos biodegradáveis, foram estabelecidos critérios de tempo, métodos de disposição e testes padrão para garantir que esses materiais possam ser decompostos de maneira eficiente. Organizações como ISO, ASTM e CEN desenvolveram padrões de teste para avaliar a biodegradabilidade, considerando não apenas a decomposição biológica, mas também a ecotoxicidade e os efeitos nos processos de tratamento de resíduos.

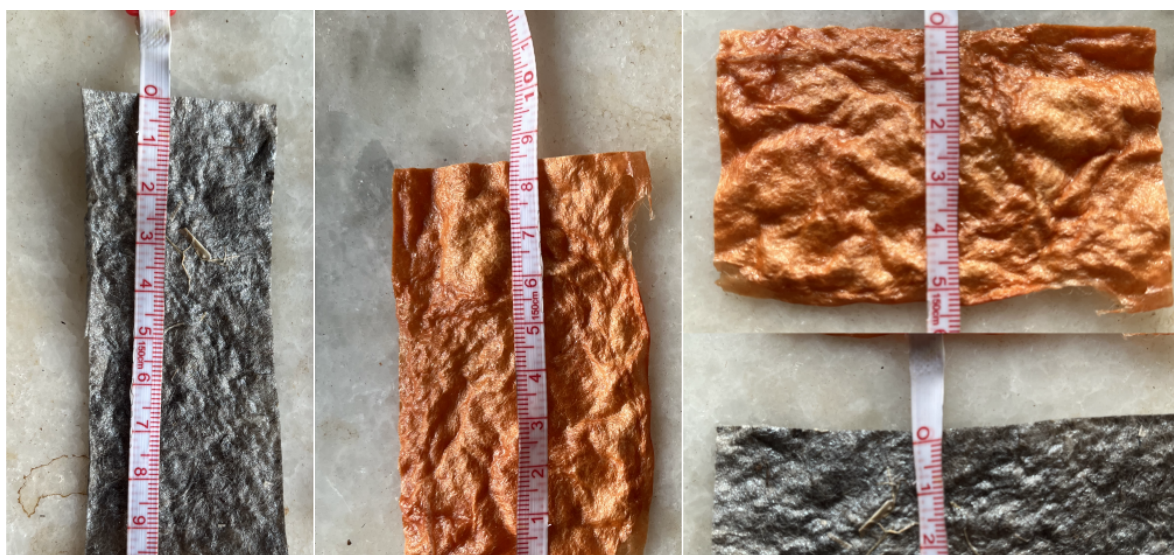
A biodegradação de polímeros ocorre em duas etapas principais: primeiro, a despolimerização, onde grandes cadeias poliméricas são quebradas em fragmentos menores por enzimas ou reações químicas; depois, a mineralização, onde esses fragmentos são consumidos por microrganismos que transformam os resíduos em produtos como gases, água, sais e biomassa.

O processo controlado de compostagem desempenha um papel fundamental na decomposição eficiente de biomateriais, promovendo uma gestão de resíduos que atende às demandas ambientais contemporâneas. Esse controle é essencial para garantir que os biomateriais se decomponham de forma adequada, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção. No dia 6 de setembro de 2024, as amostras 8 e 9 (figura 19) foram inseridas em uma composteira, sob condições de temperatura ambiente variando entre 15 a 25 graus Celsius durante 20 dias.

Figura 19 - Da esquerda para direita: aferição das medidas das amostras 8 e 9. Posicionamento das amostras na caixa composteira.

Biomaterial compostado

06/09/2024



Fonte: autora, 2023.

Ao priorizar uma abordagem holística e circular, há o potencial de transformar profundamente a indústria da moda, superando as limitações das práticas convencionais de reciclagem e mitigação de resíduos. Essa nova perspectiva não apenas aprimora a interação com os materiais, mas também redefine os padrões de produção e consumo, oferecendo caminhos inovadores e mais sustentáveis para o futuro da moda.

4. Resultado e Discussão

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com diferentes formulações de compósitos fibrosos. Cada amostra foi elaborada com uma abordagem específica, buscando desenvolver materiais inovadores e sustentáveis, com propriedades que os tornassem comparáveis ao couro sintético ou animal. A sequência de apresentação dos resultados segue a ordem das amostras, conforme descrito no tópico de método, fornecendo uma análise detalhada das propriedades mecânicas, estruturais e sensoriais de cada formulação. A pesquisa destaca a importância de compreender como a composição e os processos de fabricação impactam na performance final do biomaterial, desde a resistência mecânica e flexibilidade até a resistência à água e à abrasão.

Amostra 1 -Bio Alginato C - Elaborado em 25/07/2023

Figura 20. Resultado da amostra 1.

ALGINATO DE SÓDIO

RESULTADO

- **Textura:** Fria e flexível;
- **Alteração de cor:** O Extrato de Crajiru oxidou e a cor ficou amarronzada;
- **Odor:** Ficou com odor adocicado;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 20%;
- **Endurecimento:** Ficou flexível;



Fonte: autora, 2024.

Figura 21. Resultado da amostra 2.



Fonte: autora, 2024.

Figura 22. Resultado da amostra 3.

GELATINA



RESULTADO

- **Textura:** Seca e flexível;
- **Alteração de cor:** Ficou amarelado com o tempo;
- **Odor:** Ficou com odor do sabão líquido;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 10%;
- **Endurecimento:** Ficou semi flexível.



Fonte: autora, 2024.

Figura 23. Resultado da amostra 4.

ALGINATO DE SÓDIO



RESULTADO

- **Textura:** Seca e rígida;
- **Alteração de cor:** Ficou opaco;
- **Odor:** Não ficou com odor;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 30%;
- **Endurecimento:** Ficou endurecido por conta da quantidade de carvão ativado.



Fonte: autora, 2024.

Figura 24. Resultado da amostra 5.

FÉCULA DE BATATA



RESULTADO

- **Textura:** Pegajosa, grudenta;
- **Alteração de cor:** Em algumas partes ficou transparente e em outras ficou opaco;
- **Odor:** Ficou com muito odor de vinagre;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 20%;
- **Endurecimento:** Ficou muito flexível por conta da quantidade de glicerina usada;



Fonte: autora, 2024.

Figura 25. Resultado da amostra 6.

ALGINATO DE SÓDIO

RESULTADO

- **Textura:** Fria e flexível;
- **Alteração de cor:** Ficou opaco;
- **Odor:** Ficou sem odor;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 15%;
- **Endurecimento:** Ficou flexível.



Fonte: autora, 2024.

Figura 26. Resultado da amostra 7.

ALGINATO DE SÓDIO 

RESULTADO

- **Textura:** Fria e flexível;
- **Alteração de cor:** Escureceu durante a secagem;
- **Odor:** Ficou com odor do óleo mineral;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 15%;
- **Endurecimento:** Ficou flexível.



Fonte: autora, 2024.

Figura 27. Resultado da amostra 8.





Fonte: autora, 2024.

Os resultados referentes à amostra 8, obtidos por meio dos ensaios realizados no laboratório do SENAI CETIQT, são apresentados na figura mencionada abaixo. Apesar de os testes seguirem normas ISO específicas para tecidos e materiais têxteis, o material avaliado, com dimensões de aproximadamente 1,50 m de comprimento por 50 cm de largura, não se enquadra como um têxtil convencional devido à ausência de entrelaçamento de fios de urdume e trama.

O principal objetivo desses ensaios foi avaliar a resistência e a durabilidade do material durante o uso, parâmetros que resultaram em desempenho altamente positivo. Essas características tornam o biomaterial uma alternativa comparável ao couro animal ou sintético, tanto em propriedades mecânicas quanto em sua potencial aplicação no mercado têxtil.

Figura 28 -Da esquerda para direita: Ensaios feitos pelo SENAI/CETIQT, envio da amostra na caixa, amostra de 1,50 m de comprimento por 50 cm de largura inteira sobre uma mesa.

Ensaios realizados no SENAI CETIQT						
Amostra	Descrição do item fornecida pelo cliente: Biomaterial que tem uma estética similar ao couro animal, porém são utilizados polímeros naturais do Alginato de sódio reforçados com lãs de ovelhas e carneiros. O material é colorido com pó de mica mineral misturado com corante alimentício		Código	1415/24-01	Coleta em	--
Ensaio	Resultado	Unidade	Método	Data do Ensaio		
Resistência à tração	Urdume = 99,38 Trama = 87,53 Descritivo a seguir	N	ISO 13934-1:2013	15/05/24 - 15/05/24		
Alongamento	Urdume = 30,11 Trama = 40,70	%	ISO 13934-1:2013	15/05/24 - 15/05/24		
Resistência à penetração de água - Pressão hidrostática	1ª bolha = 197,33 2ª bolha = 197,67 3ª bolha = 197,33 Descritivo a seguir	cmH ₂ O	ISO 811:2018	15/05/24 - 15/05/24		
Resistência à abrasão - método martindale	≥ 50000 Descritivo a seguir	Ciclos	ISO 12947-2:2016	17/05/24 - 17/05/24		

Amostra enviada

Fonte: autora, 2024.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais realizados no biomaterial, semelhante ao couro animal, composto por alginato de sódio e lã indicam um desempenho notável que reflete a viabilidade desse material para aplicações têxteis. A resistência à tração e o alongamento, avaliados conforme a ISO 13934-1:2013, demonstram que o material possui resistência mecânica satisfatória e boa flexibilidade, com uma resposta distinta nas direções de urdume e trama, o que sugere uma estrutura interna equilibrada entre força e elasticidade.

Além disso, a resistência à penetração de água, conforme a ISO 811:2018, destaca a impermeabilidade do biomaterial, tornando-o adequado para usos onde a proteção contra umidade é crucial. A resistência à abrasão, avaliada pelo método Martindale conforme a ISO 12947-2:2016, evidencia a durabilidade do material, suportando elevado desgaste sem alterações significativas, o que o torna uma alternativa promissora para produtos de uso frequente e prolongado.

Estes resultados, interpretados à luz das normas ISO utilizadas, apontam para um biomaterial com propriedades mecânicas e sensoriais adequadas para uma ampla gama de aplicações, alinhadas às demandas de resistência, flexibilidade e conforto típicas de produtos têxteis sustentáveis.

Amostra 9 - Alginato com extrato de urucum pó de mica e a lã - Elaborada em 13/07/2024

Figura 29. Resultado da amostra 9.

ALGINATO DE SÓDIO



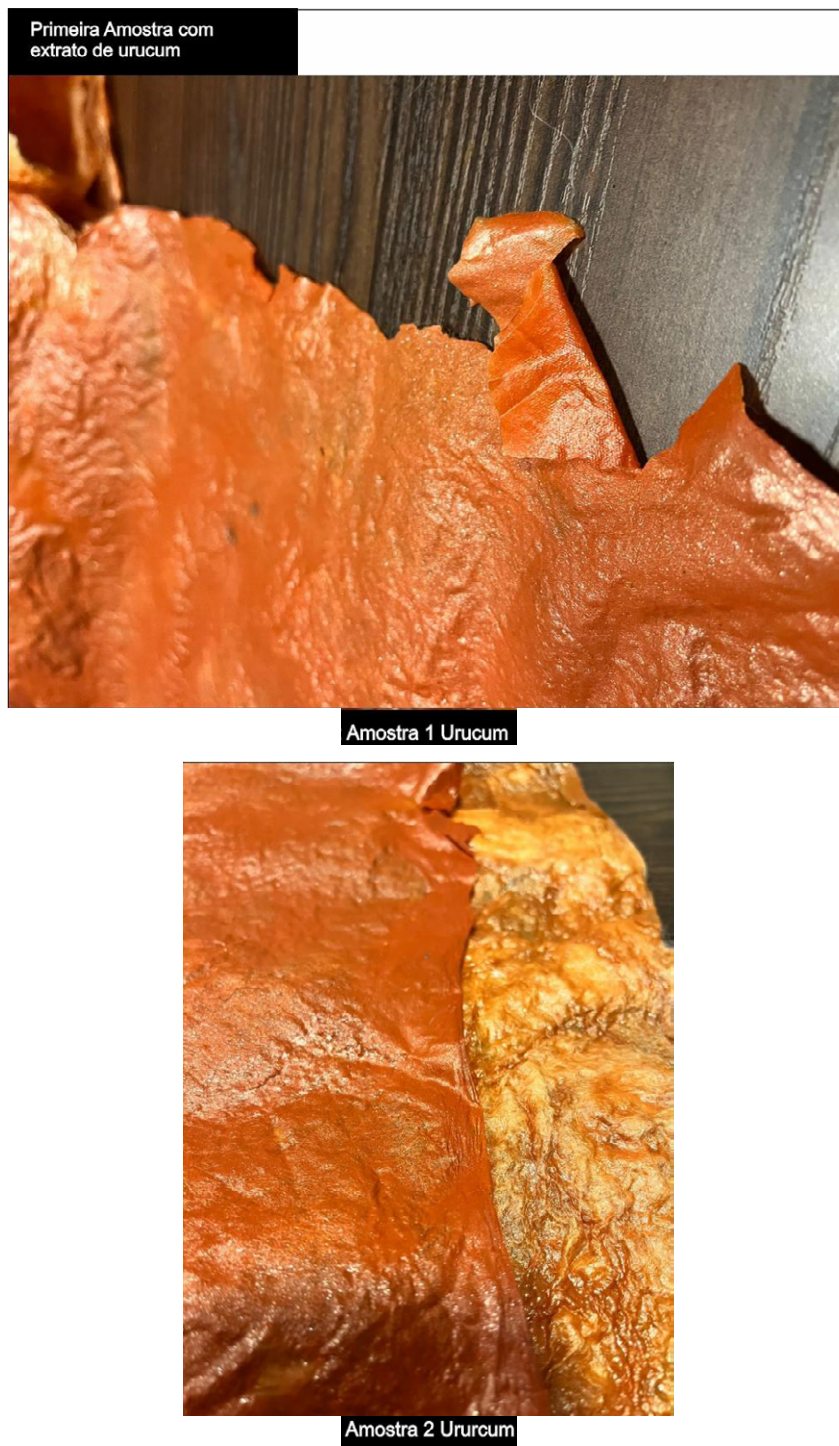
RESULTADO

- **Textura:** Fria e flexível;
- **Alteração de cor:** Escureceu durante a secagem;
- **Odor:** Ficou com odor do óleo mineral;
- **Encolhimento:** Encolheu cerca de 15%;
- **Endurecimento:** Ficou flexível.



Fonte: autora, 2024.

Figura 30 - Da esquerda para direita: A primeira amostra feita como extrato de urucum mais concentrado e em seguida a amostra com o extrato de urucum diluído ao lado da primeira amostra de urucum.



Fonte: autora, 2024.

A partir da amostra 7, foi utilizada a combinação de lã e pó de mica, como reforço de enchimento, que resultou em um material com propriedades físicas comparáveis às do couro sintético, apresentando, adicionalmente, um efeito metalizado. A pesquisadora passou a levar amostras costuradas do biomaterial desenvolvido para diferentes contextos, observando consistentemente a surpresa das pessoas ao constatarem que o produto, visualmente semelhante ao couro, havia sido criado de forma completamente natural mas com um acabamento metálico. Esse fator gerou uma aceitação significativa, tanto em congressos acadêmicos quanto em demonstrações para estudantes do IESB, além de indivíduos sem familiaridade com biomateriais, como familiares e membros de seu círculo social.

As amostras 7, 8 e 9 demonstraram resultados bastante satisfatórios em relação às suas propriedades mecânicas e flexibilidade. Para o processo de secagem, foi utilizado um tecido plano de viscose sobre a tela de serigrafia, previamente borrifado com uma solução de cloreto de cálcio. O tecido de viscose se mostrou a superfície mais adequada para a moldagem e secagem da matriz polimérica de alginato, facilitando o processo.

Essas observações serão incorporadas em futuros ajustes para otimizar ainda mais a remoção eficiente do material após a secagem, garantindo a integridade da amostra.

Destaca-se a importância da mentoria em biomateriais conduzida por Ângela Barbour, cuja experiência em Fablabs ao redor do mundo e participação nos *bootcamps* da *Fabriacademy* contribuíram significativamente para o sucesso do processo. As receitas foram ajustadas meticulosamente, assim como os materiais utilizados. Identificou-se que materiais têxteis são as melhores superfícies de apoio para a secagem de matrizes poliméricas de alginato, facilitando o manuseio das amostras e preservando a integridade dos biomateriais.

A pesquisa evidenciou a importância de ajustes precisos nas receitas e nas condições de secagem para alcançar resultados consistentes e satisfatórios, indicando a viabilidade de produção em escala. Com base nos resultados obtidos durante o processo de pesquisa e experimentação, a substituição de couros e materiais sintéticos na indústria da moda por biocompósitos constituídos por alginato de sódio mostrou-se viável, devido a características como resistência à água, lavabilidade, resistência à queima e costurabilidade, semelhantes às do couro tradicional.

Em relação aos resultados obtidos com as peças apresentadas no evento *Beyond Fashion* em Puebla, no México, o conjunto final demonstrou resistência satisfa-

tória. A modelo que utilizou as peças relatou sentir-se confortável ao longo do período, permanecendo vestida por aproximadamente quatro horas. Ao término do desfile, foram observados alguns rasgos nas peças, o que, entretanto, foi considerado um desempenho positivo quando comparado às criações de outros designers que utilizaram bases poliméricas semelhantes, como alginato com lã. Essas peças de outros participantes sofreram deteriorações mais acentuadas e rasgos significativos devido aos movimentos intensos das trocas de roupas das modelos para a passarela.

Figura 31. Blusa e cinto vestível feitos com biomaterial de alginato de sódio com lã de ovelha apresentado no desfile Beyond Fashion em agosto de 2024, em Puebla no México.



Fonte: Cotera, 2024.

O Texturas EcoLab, esse foi o nome dado ao compósito desenvolvido em Brasília, como foi descrito no capítulo 1, tópico compósito fibrosos criado para esta pesquisa, está na vanguarda do desenvolvimento de um biomaterial inovador e totalmente sustentável, focado na valorização dos recursos naturais e culturais do Cerrado. Este novo material, demonstrado na Figura 19, foi desenvolvido a partir da mistura de alginato de sódio, lãs de ovelhas criadas na região cerratense, serragens de árvores diversas e colorido com pigmentos naturais extraídos de plantas e raízes locais, como por exemplo, o urucum. A produção deste biomaterial utiliza tecnologias de baixa complexidade, o que o torna acessível a todos.

O Texturas EcoLab visa, portanto, criar uma ponte entre o conhecimento tradicional e as inovações em biomateriais, integrando sustentabilidade, cultura e desenvolvimento comunitário em um único projeto. Ao apoiar essa iniciativa, é possível preservar o patrimônio ambiental do Cerrado e empoderando as comunidades locais, especialmente as mulheres, para que possam se beneficiar tanto econômica quanto culturalmente dessa nova tecnologia.

Figura 32: Biomaterial desenvolvido pelo Texturas Ecolab para a coleção guardiões do cerrado, em 2024.



Fonte: autora, 2024.

Constatou-se que, no desenvolvimento de experimentos com biomateriais, é imprescindível manter altos padrões de segurança, independentemente do local de trabalho. A aplicação das receitas do “*The Chemarts Cookbook*” exige precauções rigorosas, tanto para a segurança pessoal quanto para a de colegas e do meio ambiente. Em laboratórios profissionais, o treinamento de segurança é uma exigência essencial, mas mesmo em ambientes domésticos ou ateliês, é crucial ter conhecimento dos materiais e dos processos em uso, bem como dos métodos adequados de descarte de resíduos.

O espaço de trabalho deve ser escolhido conforme o nível de segurança demandado pelos materiais utilizados. No caso do laboratório *Texturas Ecolab*, o planejamento foi baseado em experiências anteriores nas salas do IESB e nas orientações de segurança recomendadas no “*The Chemarts Cookbook*”. Essas orientações objetivam a segurança e limpeza do trabalho e isso inclui na proibição do consumo de alimentos ou bebidas na área de trabalho, mesmo que os ingredientes utilizados sejam de origem alimentar, pois devem ser tratados como produtos químicos, evitando-se o risco de ingestão acidental de substâncias perigosas.

Outro ponto crucial é o uso de equipamentos de proteção individual (EPI), como avental, jaleco de laboratório, óculos de proteção e luvas de borracha nitrílica. Além disso, cabelos longos devem ser mantidos presos para evitar acidentes. É igualmente fundamental familiarizar-se com as fichas de dados de segurança de materiais (MSDS), que fornecem informações detalhadas sobre os riscos associados aos produtos químicos, os equipamentos de proteção necessários e as medidas de primeiros socorros adequadas em caso de exposição.

Antes de iniciar qualquer experimento, é essencial revisar cuidadosamente as instruções, incluindo as recomendações de segurança química. Em caso de dúvidas sobre os procedimentos, é recomendável parar e refletir sobre o processo antes de seguir adiante. A atenção redobrada é especialmente necessária ao manusear água quente, vapor ou solventes inflamáveis, como acetona e etanol. O transporte cuidadoso de produtos químicos também deve ser realizado com precaução, e é fundamental saber como proceder em situações de emergência, como derramamento ou incêndio, administrando primeiros socorros e buscando ajuda médica imediata se necessário.

A identificação correta das amostras, com informações como tipo, nome do pesquisador, data e contato, é igualmente importante. Documentar detalhadamente todas as etapas dos experimentos, incluindo receitas e descrições das amostras, bem como o registro fotográfico ou em vídeo, garante que o trabalho possa ser reproduzido com precisão e permite que outros lidem com as amostras de forma segura.

Após a conclusão dos experimentos, é imprescindível realizar a limpeza completa dos utensílios e da área de trabalho, descartando adequadamente os resíduos gerados e reorganizando o espaço. A higiene pessoal também deve ser mantida, assim como a lavagem das mãos antes ou logo após sair do ambiente experimental.

Sobre os resultados da compostagem, após 20 dias, em 26 de setembro, verificou-se a completa degradação do biocompósito, sem quaisquer sinais remanescentes. Esses resultados ressaltam a necessidade de adotar uma abordagem circular em todas as etapas do ciclo de vida dos produtos, desde a concepção até o pós-descarte, integrando estratégias que considerem o impacto ambiental em cada fase.

Ademais, é fundamental ressaltar a importância da documentação adequada dos processos experimentais, a fim de evitar problemas futuros, especialmente em relação à propriedade intelectual e para facilitar a replicação por outras pessoas, possibilitando a biofabricação de maneira mais acessível. Um dos aspectos centrais discutidos ao longo desta dissertação é que os materiais são admirados, manipulados, avaliados e, de diversas formas, experimentados como componentes inevitáveis de um artefato físico. Entretanto, a elaboração da perspectiva experiencial nas relações entre usuário, material e produto tem ganhado destaque significativo nos últimos anos, embora ainda existam poucas ferramentas especializadas de seleção de materiais voltadas para a experiência do usuário. A presença de abordagens prototípicas desenvolvidas de forma independente para a seleção de materiais reforça a confiança de que essa área possui grande potencial para amadurecer e se consolidar no futuro.

O compósito fibroso desenvolvido nesta pesquisa ocupa um papel central nas discussões contemporâneas sobre as eras geológicas do Antropoceno, Capitaloceno e Cthuluceno, oferecendo respostas inovadoras e sustentáveis aos desafios impostos por essas épocas.

No contexto do **Antropoceno**, caracterizado pelo impacto dominante da ação humana no clima e no meio ambiente, o desenvolvimento de um biocompósito sustentável surge como uma resposta crucial. Este material visa mitigar os danos causados pela atividade antropogênica ao propor inovações que reduzem significativamente a pegada ecológica. O biocompósito, ao evitar o uso de materiais altamente poluentes e não renováveis, contribui para a diminuição dos impactos ambientais, oferecendo alternativas que estão em sintonia com as demandas ecológicas emergentes.

Em relação ao **Capitaloceno**, que enfatiza a exploração capitalista dos recursos naturais para o lucro, o biocompósito desafia esse modelo de consumo predatório. Enquanto os materiais sintéticos derivados de combustíveis fósseis são frequentemente utilizados devido à sua disponibilidade e baixo custo, sua produção e uso exacerbam a crise climática e ambiental. O biocompósito desenvolvido nesta pesquisa oferece uma alternativa sustentável e viável, afastando-se da lógica capitalista de extração intensiva e apresentando um modelo de produção baseado em recursos renováveis e de baixo impacto ambiental.

No escopo do **Cthuluceno**, o biocompósito reflete a interconectividade entre todas as formas de vida e a importância da colaboração entre espécies e disciplinas. Inspirado por uma ética de coexistência e respeito ao meio ambiente, o desenvolvimento deste material demonstra como a convergência entre ciência dos materiais, design e ecologia pode resultar em soluções inovadoras e regenerativas. O biocompósito evidencia que o reconhecimento das interdependências ecológicas é fundamental para o surgimento de novas formas de produção sustentável.

O desenvolvimento de compósitos fibrosos representa uma contribuição significativa para a transição rumo a uma era mais consciente e sustentável. Ao alinhar a inovação material a uma compreensão profunda das interconexões planetárias e dos desafios ambientais contemporâneos, o biocompósito propõe um caminho viável para a construção de soluções que respeitem e valorizem todas as formas de vida, promovendo uma mudança necessária nos paradigmas produtivos e ecológicos.

5. Considerações finais

Os bioplásticos enfrentam desafios significativos na indústria da moda, em grande parte devido aos seus processos de produção mais lentos, o que pode restringir sua expansão no mercado. Embora esses materiais ofereçam vantagens sustentáveis, como menor consumo de energia e redução da dependência de recursos petrolíferos, os altos custos de produção – decorrentes da ausência de processos sistematizados, especialmente no caso do feltro de lã, que é o procedimento mais demorado e realizado manualmente – representam um obstáculo considerável, particularmente para pequenas empresas. No entanto, a crescente demanda por bioplásticos é motivada pela necessidade urgente de abordar as mudanças climáticas, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar o acúmulo de resíduos plásticos. Pesquisas futuras serão direcionadas à identificação de métodos para reduzir os custos de produção desse biocompósito, tornando-o mais acessível e ampliando seu uso na indústria.

Apesar dos desafios, o futuro do biodesign oferece uma oportunidade para reorientar as práticas atuais da moda em direção a uma abordagem mais sustentável, mesmo que esse processo possa ser de longo prazo. A reconceituação do desperdício como um recurso potencial e o desenvolvimento de materiais capazes de retornar ao meio ambiente de forma biodegradável são passos promissores para integrar a sustentabilidade ao ciclo produtivo da moda. A adoção de práticas colaborativas de design pode contribuir substancialmente para reduzir os impactos negativos da produção de moda sobre as pessoas e o meio ambiente. As inovações do biodesign têm o poder de direcionar a moda para um caminho mais sustentável. Em vez de descartá-las como inviáveis, é fundamental explorar e investir em seu desenvolvimento. Apenas ao reconhecer seriamente o potencial do biodesign será possível aproveitar sua capacidade transformadora, alterando as práticas da moda para proteger, ao invés de explorar, o planeta..

A questão da durabilidade dos biomateriais levanta reflexões sobre a obsessão atual pela durabilidade física, que contribuiu para a proliferação de plásticos e microplásticos no meio ambiente. A durabilidade física, contudo, difere da durabilidade emocional, um conceito cada vez mais discutido nos últimos anos. Embora as roupas e objetos ao nosso redor possam ter longa vida útil, muitas vezes ocorre uma desconexão emocional com esses itens, mesmo que permaneçam fisicamente intactos. Nesse contexto, os biomateriais podem não precisar ser duráveis no sentido convencional, mas sim resilientes, e explorar esse conceito pode ser fundamental para a comercialização de produtos feitos com esses materiais.

Pesquisadores e empresas estão cada vez mais focados no estudo e desenvolvimento da biofabricação com ênfase no design sustentável, buscando soluções inovadoras para a indústria da moda. Autores como Rachel Armstrong, Neri Oxman e Melissa Little discutem amplamente a biofabricação em seus trabalhos, destacando suas aplicações na produção de materiais de maneira mais sustentável, no enfrentamento de desafios ambientais, como a poluição e a perda de biodiversidade, bem como na criação de medicamentos e terapias personalizadas.

Diante desses conceitos, a indústria de moda sustentável enfrentará desafios consideráveis, exigindo adaptações substanciais no futuro. A utilização de bioplásticos é impulsionada por questionamentos sobre sua usabilidade, aplicabilidade, vestibilidade e resistência, assim como pela relação emocional que os usuários estabelecem com esses materiais. Através de experimentação contínua e observação rigorosa, esses desafios podem ser superados, abrindo caminho para novas aplicações no design de moda e vestuário.

Embora exista um potencial significativo para o uso de biomateriais na indústria têxtil, tanto nos produtos quanto nas embalagens, muitos aspectos ainda permanecem incertos, principalmente devido à escassez de estudos que investiguem sua aplicação em roupas. Estudos sobre embalagens de biomateriais, embora mais frequentes, costumam focar em produtos alimentícios, com pouca referência ao setor têxtil. Dessa forma, a aplicação de biomateriais na moda ainda se encontra em estágio inicial, demandando pesquisas mais aprofundadas e interdisciplinares.

As experimentações com biopolímeros e lã evidenciaram a viabilidade de aplicação desses materiais no design de moda, especialmente em acessórios tradicionalmente confeccionados em couro ou materiais sintéticos semelhantes. Além de sua função prática, os compósitos fibrosos apresentam um grande potencial para criações que exploram perspectivas artísticas e conceituais, ampliando a gama de possibilidades para designers contemporâneos.

Os resultados da pesquisa indicam que é possível desenvolver biomateriais sustentáveis que atendam aos critérios de desempenho físico e estético exigidos pela indústria da moda, configurando-se como alternativas ao couro convencional. O compósito fibroso elaborado a partir de alginato de sódio e lã de ovelha se revelou uma solução inovadora, apresentando propriedades que satisfazem os padrões de durabilidade e apelo visual essenciais à produção de moda. Ademais, as interações sensoriais, como textura e flexibilidade, mostraram-se alinhadas às expectativas de designers e consumidores, reforçando a aceitação desses materiais em práticas de design de moda.

A investigação sobre a viabilidade de biocompósitos de alginato e lã como alternativa sustentável ao couro atingiu seus objetivos, promovendo avanços no design ecológico e circular. Dentre os principais desafios encontrados, destacam-se a necessidade de otimização dos processos de formulação e secagem, fundamentais para assegurar propriedades como resistência e durabilidade. Futuras melhorias devem focar na sistematização dessas etapas e no desenvolvimento de testes ampliados de usabilidade, vestibilidade e produção em larga escala. A continuidade da pesquisa envolve aprimorar as características desses compósitos fibrosos, reduzindo custos de produção e ampliando suas possibilidades de aplicação, o que demandará uma abordagem multidisciplinar para superar desafios técnicos e econômicos.

A autora prosseguirá com testes e ensaios comparativos, entrando em contato com laboratórios especializados em couro animal e materiais sintéticos que o imitam, visando realizar análises adicionais. Serão também testados outros tipos de fibras como reforço ou enchimento para o compósito fibroso.

A pesquisa contribuiu significativamente para a formação acadêmica da autora, aprofundando conhecimentos em ciência dos materiais, sustentabilidade e design de moda, e fortalecendo habilidades práticas de experimentação e prototipagem. Para o Programa de Pós-Graduação em Design, os achados impulsionam o debate sobre materiais sustentáveis, conferindo relevância ao campo do design de moda e destacando sua importância no contexto acadêmico e industrial.

6. Glossário

Alquimia

Prática antiga que combinava química, filosofia e misticismo, sendo precursora da química moderna, com o objetivo de transformar substâncias.

Antropoceno

Era geológica proposta por Paul J. Crutzen em 2000, marcada pelos impactos significativos das atividades humanas sobre a Terra, como mudanças climáticas e degradação ambiental.

Antropocentrismo

Perspectiva que coloca o ser humano como o centro das preocupações, frequentemente ignorando o impacto sobre outras formas de vida e o meio ambiente.

Ácido Polilático (PLA)

Biopolímero biodegradável produzido a partir de recursos renováveis, como milho, utilizado em embalagens e tecidos como alternativa ao plástico convencional.

Bioderivados

Produtos químicos ou materiais originados de fontes biológicas, como plantas ou resíduos orgânicos, utilizados como alternativas aos derivados de petróleo.

Biodegradabilidade

Capacidade de um material se decompor naturalmente por microorganismos, sem deixar resíduos tóxicos no ambiente.

Biodiversidade

Variedade de espécies em um ecossistema, sendo crucial para a resiliência ecológica e o equilíbrio ambiental.

Biocompósitos

Materiais formados por uma matriz e um reforço, onde pelo menos um componente é de origem biológica, promovendo a sustentabilidade.

Biodegradação Coordenada

Processo de decomposição de biocompósitos, onde tanto a matriz quanto o reforço se degradam simultaneamente, garantindo um ciclo de vida ecológico.

Biomateriais

Materiais de origem biológica, usados como alternativas aos materiais sintéticos derivados de combustíveis fósseis, como plásticos.

Biomimética

Abordagem de design que imita os processos da natureza para criar soluções inovadoras e sustentáveis.

Bioplásticos

Plásticos biodegradáveis feitos a partir de fontes renováveis, como amido de milho, que oferecem uma alternativa aos plásticos derivados do petróleo.

Biopolímeros

Polímeros derivados de fontes renováveis, como plantas, frequentemente biodegradáveis e usados em diversas aplicações.

Capitaloceno

Termo proposto por Donna Haraway, que aponta o capitalismo como o principal responsável pelas mudanças ambientais, devido à sua lógica de exploração contínua dos recursos naturais.

Celuloide

Um dos primeiros plásticos industriais, feito de celulose, utilizado historicamente em filmes fotográficos.

Chthuceno

Termo de Donna Haraway que propõe uma visão de interconexão entre humanos e outras formas de vida, promovendo uma ética de convivência.

Colonialidade

Prática que perpetua a exploração de recursos e pessoas em países ex-colonizados, contribuindo para a desigualdade e insustentabilidade.

Compósitos

Materiais formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos, buscando propriedades superiores às dos materiais individuais.

Compósitos Poliméricos

Compósitos cuja matriz é um polímero, reforçada com fibras ou partículas, amplamente usados em setores como automotivo e construção.

Compósitos Reforçados com Fibras

Compósitos que usam fibras para melhorar as propriedades mecânicas, sendo amplamente usados em construções e na indústria automotiva.

Compósitos de Estrutura Sanduíche

Compósitos compostos por camadas alternadas de diferentes materiais, proporcionando alta resistência e leveza.

Construção Leve

Técnica que utiliza materiais leves para reduzir o peso das estruturas, sem comprometer a resistência, amplamente usada em indústrias como a aeroespacial.

Curtimento com Taninos

Processo de curtimento de couro que utiliza taninos vegetais, oferecendo uma alternativa mais ecológica ao curtimento químico.

Design Regenerativo

Abordagem de design que vai além da sustentabilidade, buscando restaurar e revitalizar o meio ambiente.

Design de Produtos Sustentáveis

Abordagem de design que busca minimizar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto.

Diisobutil Ftalato (DIBP)

Plastificante utilizado em plásticos para aumentar a flexibilidade, mas com preocupações sobre seus impactos ambientais e à saúde.

Economia Circular

Modelo econômico que busca a reutilização contínua de materiais e recursos, minimizando o desperdício e promovendo a sustentabilidade.

Ecologia Industrial

Abordagem que analisa as interações entre sistemas industriais e naturais, visando otimizar o uso de recursos e minimizar o impacto ambiental.

Equidade Interspecies

Princípio que reconhece a importância de tratar todas as espécies, humanas e não humanas, com igualdade e respeito.

Extrusão

Processo industrial de moldagem de materiais forçando-os através de uma abertura para formar uma estrutura contínua.

Fibra de Carbono

Material leve e extremamente resistente, utilizado em compósitos de alto desempenho, principalmente nas indústrias aeroespacial e esportiva.

Fibra de Vidro

Material de reforço feito de filamentos de vidro, utilizado em compósitos para melhorar a resistência mecânica e rigidez.

Fibras Sintéticas

Fibras fabricadas a partir de produtos químicos, frequentemente derivadas do petróleo, com desafios ambientais devido à sua lenta decomposição.

Greenwashing

Prática de marketing que exagera ou falsifica o compromisso ambiental de produtos ou empresas.

Lã do Cerrado

Fibra natural proveniente de ovelhas criadas no bioma Cerrado, com propriedades ecológicas e renováveis, estudada para uso na moda sustentável.

Materiais Bio-baseados

Materiais produzidos a partir de fontes biológicas renováveis, como plantas, usados como alternativas aos derivados de combustíveis fósseis.

Materiais Compósitos Avançados

Compósitos que utilizam materiais de alta tecnologia, como fibras de carbono, para aplicações de alto desempenho.

Materiais Inteligentes

Materiais que respondem a estímulos externos, como temperatura ou luz, alterando suas propriedades em tempo real.

Micélio

Estrutura vegetativa dos fungos utilizada na produção de biomateriais sustentáveis como alternativa ao couro animal.

Microestruturas de Compósitos

Arranjo interno das fases que compõem um compósito, que influencia diretamente suas propriedades mecânicas.

Microplásticos

Pequenas partículas de plástico que resultam da degradação de produtos maiores, sendo uma das principais preocupações ambientais contemporâneas.

Modificação Antropogênica

Alterações no ambiente causadas diretamente por atividades humanas, como urbanização e mudanças climáticas.

Monômero

Pequenas moléculas que servem de blocos de construção para polímeros, conectando-se para formar cadeias maiores.

Obsolescência Planejada

Estratégia de design em que produtos são deliberadamente fabricados para ter uma vida útil limitada, incentivando o consumo regular.

PHA (Polihidroxialcanoato)

Biopolímero biodegradável produzido por bactérias, utilizado em embalagens e produtos médicos.

Pinatex®

Material alternativo ao couro, feito a partir de fibras de folhas de abacaxi, amplamente utilizado na moda sustentável.

Plásticos

Materiais sintéticos ou semissintéticos feitos de polímeros, amplamente usados pela sua versatilidade e durabilidade, mas com sérios impactos ambientais.

Polímeros

Grandes moléculas compostas por unidades repetidas chamadas monômeros, usados em uma ampla gama de produtos, como plásticos e tecidos.

Polímeros Reabsorvíveis

Polímeros utilizados em dispositivos médicos que são gradualmente absorvidos pelo corpo, eliminando a necessidade de remoção cirúrgica.

Resiliência Ecológica

Capacidade de um ecossistema de se recuperar de perturbações, mantendo suas funções e serviços essenciais.

Sistemas de Ciclo Fechado

Modelos de produção que visam a reutilização contínua de materiais, minimizando o desperdício e a extração de novas matérias-primas.

Sustentabilidade

Prática de utilizar recursos de forma a não comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades, equilibrando fatores ambientais, sociais e econômicos.

Taninos

Compostos naturais encontrados em plantas, utilizados no curtimento de couro, tingimento natural e em biocompósitos devido às suas propriedades antioxidantes.

Termodinâmica

Ramo da física que estuda as relações entre calor, trabalho e energia, fundamental para entender o comportamento dos materiais em diferentes condições.

7. Referências

BAK-ANDERSEN, Mette. **Reintroducing materials for sustainable design: Design process and educational practice**. Routledge, 2021.

BARBOUR, Ângela, **Curso online Bioplásticos e o futuro dos materiais**. 2023.

BARAUNA, DEBORA et al. **EXPERIMENTAÇÃO EM DESIGN: BIOMATERIAIS COMO UMA ALTERNATIVA PARA A MODA SUSTENTÁVEL**. In: VIII Simpósio de Design Sustentável/Symposium on Sustainable Design. 2021.

BAUGH, Gail. **The fashion designer's textile directory: the creative use of fabrics in design**. 2011.

BLACK, S. **Eco-chic: The fashion paradox**. Black Dog Pub, 2008.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Materials science and engineering: an introduction**. John wiley & sons, 2020.

CHARTER, Martin; PAN, Bernice; BLACK, Sandy (Ed.). **Accelerating sustainability in fashion, clothing and textiles**. Routledge, 2023.

CORREA, Carlos Alberto Correa. **Considerações sobre o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis para bioplásticos a partir de fontes renováveis como alternativa aos plásticos de origem fóssil**. Unisanta BioScience, v. 7, n. 6, p. 126-143, 2018.

DAVIS, Heather. **Plastic matter**. Duke University Press, 2022.

DOHMANN, Marcus (Ed.). **A experiência material: a cultura do objeto**. Rio Books, 2013.

DOS SANTOS DUARTE et al. **A produção do “couro vegetal” na Amazônia: etnografias em diálogo entre as visões do trabalhador indígena e da empresária**, 2019. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10212019_101011_5dad9af50278.pdf . Acesso 20 mai. 2023.

DRAZIN, Adam; KÜCHLER, Susanne (Ed.). **The social life of materials: studies in materials and society**. Bloomsbury Publishing, 2015.

DRZAL, Lawrence T et al. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. CRC press, 2005.

DUNNE, M. **Bioplastic cook book. Fab Lab Barcelona: FabTextiles**, julho, 2018. Disponível em https://issuu.com/nat_arc/docs/bioplastic_cook_book_3 . Acesso: 14 jul. 2022.

EARLEY, Rebecca; HORNBUCKLE, Rosie (Ed.). **Design Materials and Making for Social Change: From Materials We Explore to Materials We Wear**. Taylor & Francis, 2023.

Eunomia, 2016, **Plastics in the Marine Environment** (<https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>) Acesso: 21 mar. 2023.

EUROPEIA, Comissão. **Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular. Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões.** COM, v. 28, 2018.

FLETCHER, Kate; PIERRE, Louise St; THAM, Mathilda (Ed.). **Design and nature: A partnership.** Routledge, 2019.

FLETCHER, Kate. **Sustainable fashion and textiles: design journeys.** Routledge, 2013.

FLETCHER, Kate; THAM, Mathilda. **Earth logic: Fashion action research plan.** JJ Charitable Trust, 2019.

FUTURE MATERIALS BANK. Disponível em: <https://www.futurematerialsbank.com/>. Acesso 01 ago. 2023.

GREENE, Joseph P. **Sustainable plastics: environmental assessments of biobased, biodegradable, and recycled plastics.** John Wiley & Sons, 2022.

GOLDSTEIN, Julia L. Freer; FOULKES-ARELLANO, Paul. **Materials and Sustainability: Building a Circular Future.** Taylor & Francis, 2024.

GORDON, Jennifer Farley; HILL, Colleen. **Sustainable fashion: Past, present and future.** Bloomsbury Publishing, 2015.

HALLETT, Clive et al. **Fabric for fashion: the swatch book.** Laurence King Publishing, 2014.

HARAWAY, Donna J. **Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene.** Duke University Press, 2016.

HOLROYD, Amy Twigger; GORDON, Jennifer Farley; HILL, Colleen. **Historical Perspectives on Sustainable Fashion: Inspiration for Change.** Bloomsbury Publishing, 2023.

KÄÄRIÄINEN, Pirjo et al. **The CHEMARTS cookbook.** Aalto University, 2020.

KARANA, Elvin; PEDGLEY, Owain; ROGNOLI, Valentina (Ed.). **Materials experience: Fundamentals of materials and design.** Butterworth-Heinemann, 2013.

KLEBIS, Daniela. **Antropoceno, capitaloceno, cthuluceno: o que caracteriza uma nova época.** Campinas: Laboratório de Estudos Avançados, v. 1, p. 101-103, 2014.

KULA, Daniel; TERNAUX, Élodie. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. São Paulo: Senac, 2012.

LUCIBELLO, Sabrina et al. **Alginate Materials for Circular Fashion: from Consumptive to Regenerative Systems**. In: BEYOND ALL LIMITS. Dadi Press, 2022. p. 598-602.

MACARTHUR, E. **Foundation a new textiles economy: Redesigning fashion's future**. London, UK, 2017.

MANSHOVEN, Saskia et al. **Microplastic pollution from textile consumption in Europe**. 2022.

MANZINI, Ezio. **Design para a inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Editora E-papers, 2008.

MATERIALS EXPERIENCE LAB. Disponível em: <https://materialexperiencelab.com/> Acesso: 23 dez. 2023.

MATERIALS LIBRARY. Materiom, 2022. Disponível em: <https://materiom.org/> Acesso: 20 jul. 2022.

MEYER, Michael et al. **Comparison of the technical performance of leather, artificial leather, and trendy alternatives**. Coatings, v. 11, n. 2, p. 226, 2021.

MIGNOLO, Walter D.; WALSH, Catherine E. **On decoloniality: Concepts, analytics, praxis**. Duke University Press, 2018.

MONTENEGRO, Marcelo; VIANNA, Manoela; TELES, Daisy BISPO. **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll Stiftung, 2020.

MOULIN, Gabriela et al. **Habitar o antropoceno**. BDMG Cultural, 2022.

NICHOLSON, John. **The chemistry of polymers**. RSC Publishing, 2006.

NOGUEIRA, Marcela Tiemi. **Extração e caracterização de alginato de sódio da macroalga Sargassum cy-mosum C. Agardh**. 2017.

PAPANNEK, Victor. **Design for the real world: Human ecology and social change**. Bantan Books, 1971.

PAYNE, Alice. **Designing fashion's future: present practice and tactics for sustainable change**. Bloomsbury publishing, 2020.

PILIDINI, Kiran e PATEL, Hiralkumar. **Bioplastic Textiles Market, 2023-2032**. Global Market Insights. 2023. Disponível em <https://www.gminsights.com/industry-analysis/bioplastic-textile-market>. Acesso: 01 julho de 2023.

PISTOFIDOU, Anastasia. **Fabricademy Global Faculty**. Disponível em: <https://elisava.academia.edu/AnastasiaPistofidou>. Acesso 20 jul. 2022.

PLATT, David K. **Biodegradable polymers: market report**. iSmithers Rapra Publishing, 2006.

QIN, Yimin. **Alginate Fibers and Wound Dressings: Seaweed Derived Natural Therapy**. John Wiley & Sons, 2023.

RAMAKRISHNA, Seeram. **An introduction to biocomposites**. Imperial College Press, 2004.

RIBUL, M. **Recipes for Material Activism: part 1**. Abril, 2014. Disponível em: <https://www.miriamribul.com/publications>. Acesso 11 jul. 2022.

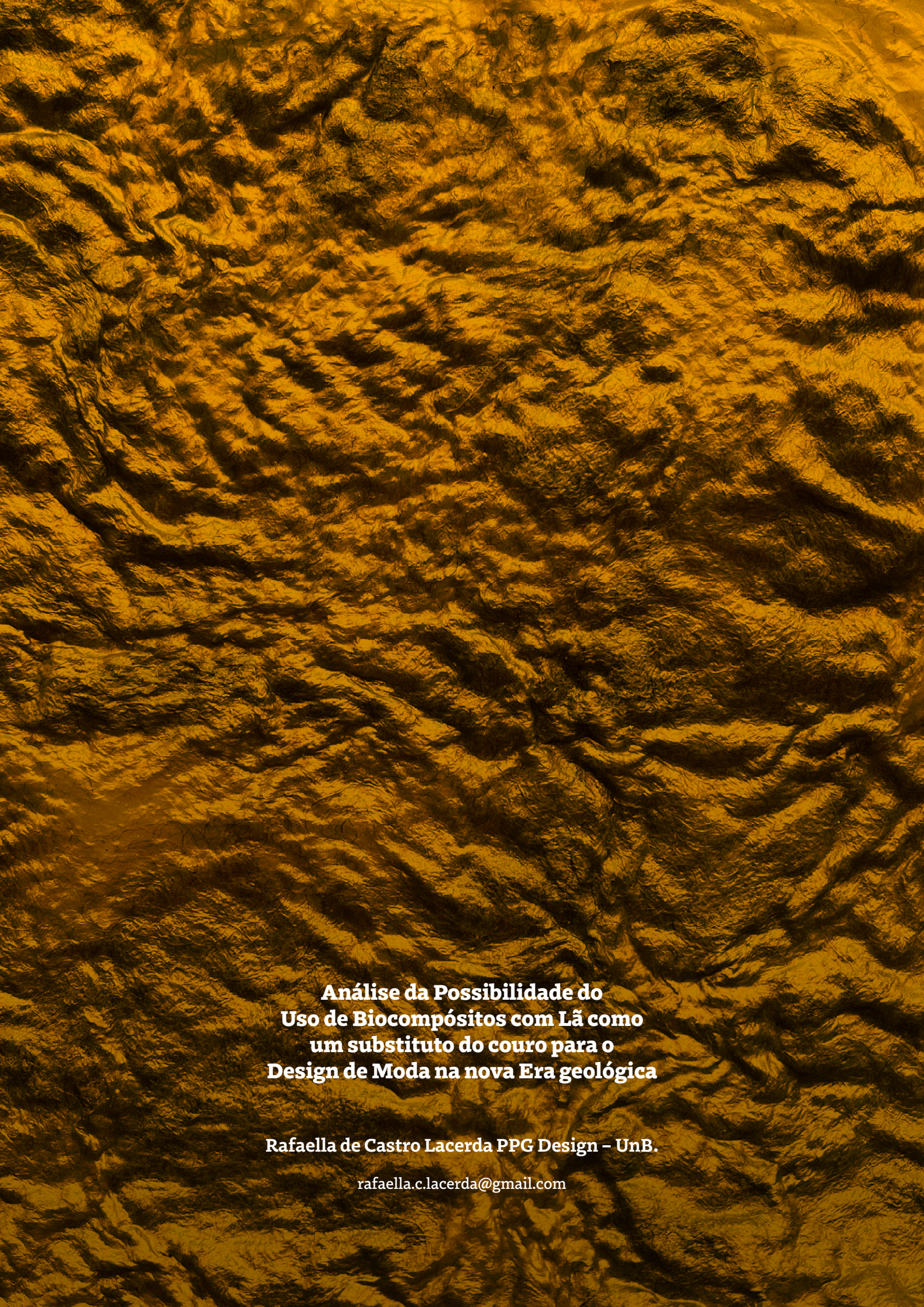
ROGNOLI, Valentina et al. **Materials biography as a tool for designers' exploration of bio-based and bio-fabricated materials for the sustainable fashion industry**. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, v. 18, n. 1, p. 749-772, 2022.

THOMPSON, Rob. **Materiais sustentáveis, processos e produção**. São Paulo, SP: SENAC, 2015.

VETLESEN, Arne Johan. **Cosmologies of the Anthropocene: panpsychism, animism, and the limits of posthumanism**. Routledge, 2019.

WISSINGER, Elizabeth. **Can biodesign fix fashion, Biodesigned**, 2021. Disponível em: <https://www.biodesigned.org/elizabeth-wissinger/cumulus>. Acesso 11 mai. 2024.

WWF-Brasil. Relatório Anual 2021: **Um ano de luta pela vida**. WWF-Brasil, 2021. Disponível em: https://www.fbrnew.awsassets.panda.org/downloads/ra_2021_completo_final_pt.pdf. Acesso 05 mai. 2023.



**Análise da Possibilidade do
Uso de Biocompósitos com Lã como
um substituto do couro para o
Design de Moda na nova Era geológica**

Rafaella de Castro Lacerda PPG Design – UnB.

rafaella.c.lacerda@gmail.com