



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

DANIEL RENAN DE FRANÇA RODRIGUES

**INCORPORAÇÃO DE PÓ DE CASCA DE OVO À CELULOSE BACTERIANA DA  
KOMBUCHA PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVO MATERIAL  
BIODEGRADÁVEL**

Recife

2024

DANIEL RENAN DE FRANÇA RODRIGUES

**INCORPORAÇÃO DE PÓ DE CASCA DE OVO À CELULOSE BACTERIANA DA  
KOMBUCHA PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVO MATERIAL  
BIODEGRADÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Profa. Dr<sup>a</sup>. Glória Maria Vinhas

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rodrigues, Daniel Renan de França.

Incorporação de pó de casca de ovo à celulose bacteriana da kombucha para o desenvolvimento de novo material biodegradável / Daniel Renan de França Rodrigues. - Recife, 2024.

32 p. : il.

Orientador(a): Glória Maria Vinhas

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Biomateriais. 2. Compósitos. 3. Couro. 4. Kombucha. 5. Scoby. I. Vinhas, Glória Maria. (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

DANIEL RENAN DE FRANÇA RODRIGUES

**INCORPORAÇÃO DE CASCA DE OVO À CELULOSE BACTERIANA DA  
KOMBUCHA PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVO MATERIAL  
BIODEGRADÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Química Industrial da  
Universidade Federal de Pernambuco, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 14/10/2024

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **GLORIA MARIA VINHAS**  
Data: 19/10/2024 07:18:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profª. Drª. Glória Maria Vinhas (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA DE LOS ANGELES PEREZ FERNANDEZ**  
Data: 18/10/2024 14:14:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Drª. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha  
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente  
 **CARLA FABIANA DA SILVA**  
Data: 18/10/2024 11:46:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Ma. Carla Fabiana da Silva  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que, de alguma forma, me deram forças para finalizar este trabalho. Ao meu lado ou à distância.

À minha mãe, Sirleuza Maria de França Rodrigues, pelo planejamento e esforço desmedidos que fez para garantir de forma segura o meu desenvolvimento pessoal e profissional, e ao meu pai, Paulino Rodrigues Filho, que gostaria de ter presenciado mais essa conquista. Ao meu núcleo familiar mais próximo, por prover os suportes necessários para o meu desenvolvimento; a Tarcísio Antônio, por ter sido meu companheiro nos altos e baixos dos últimos anos e me inspirar com sua arte diariamente; também gostaria de agradecer às amigas que estiveram ao meu lado e que direta ou indiretamente ajudaram-me a tecer essa etapa da minha vida.

À equipe técnica, discentes e docentes do Departamento de Engenharia Química que estiveram comigo e me incentivaram a concluir mais esta etapa, à pesquisadora Mariana Alves Henrique por ter executado as análises de caracterização dos filmes, à pesquisadora Karina Carvalho de Souza, pelas trocas durante as fases iniciais da pesquisa e à Universidade Federal de Pernambuco, por prover ensino superior, público e de qualidade na cidade de Recife e me receber durante o período da graduação.

Por fim, dedico também este trabalho à criança curiosa que um dia sonhou em ocupar este espaço de pesquisa e compartilhamento de saberes, para que ela nunca esqueça de acreditar em si mesma.

## RESUMO

A concepção de um material compósito se dá na intenção de desenvolver um novo material com características diferentes e melhores que as características dos materiais que o compõem isoladamente, além de diminuir custos e impactos de produção. A celulose bacteriana (CB) é um material bastante versátil que possui alto poder adsorptivo, o que a torna uma boa candidata para compor a matriz de um compósito. Neste estudo, a CB da kombucha (CBK) foi combinada com partículas de pó de casca de ovo em concentrações (25%, 50% e 75%) e granulometrias (65 e 28 *mesh*) diferentes para o desenvolvimento de um novo material biodegradável que pode ser utilizado como alternativa ao couro animal dentro da indústria têxtil. Ensaio termogravimétrico demonstraram que os filmes com concentração de partículas de 25% e granulometria de 28 *mesh* apresentaram três vezes mais resistência à degradação térmica quando comparados com os filmes de CBK puros. As micrografias ópticas e eletrônicas revelaram filmes com superfícies bem homogêneas, porém com formação de pequenos aglomerados de partículas nos compósitos mais concentrados. Por fim, como proposta de aplicação, confeccionou-se uma mini carteira para cartões de crédito utilizando o material desenvolvido em laboratório.

**Palavras-chave:** biomateriais; compósitos; couro; kombucha; scoby.

## ABSTRACT

Designing composites is a way to create a new material using two or more different compounds which combine the qualities of the filler with the qualities of the matrix to obtain a new one with hybrid characteristics, besides reducing production costs and impacts. Bacterial cellulose (BC) is a versatile material that has high adsorption power and this makes it a good candidate to form the matrix of a composite. In this study, CB from kombucha (CBK) was combined with eggshell powder particles in different concentrations (25%, 50% and 75%) and particle sizes (65 and 28 *mesh*) to develop a new biodegradable material that can be used as an alternative to animal leather within the textile industry. Thermogravimetric analysis demonstrated that the films with a particle concentration of 25% and particle size of 28 *mesh* showed greater resistance to thermal degradation when compared to pure CBK films. Optical and electronic micrographs revealed films with well-homogenized surfaces, but with the formation of small agglomerates of particles in the most concentrated composites. Finally, a wallet for credit cards was designed and manufactured using the material developed in this work.

**Keywords:** biomaterial; composites; kombucha; leather; scoby.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Focos de incêndio registrados no Brasil entre os dias 12 e 13 de setembro.....	12
Figura 2 – Aplicação da celulose bacteriana em diversas áreas de pesquisa.....	14
Figura 3 – Molde utilizado para a confecção da carteira.....	20
Figura 4 – Filme de CBK/PCO com 65 <i>mesh</i> e concentração de 50%.....	21
Figura 5 – Filme de CBK/PCO com 28 <i>mesh</i> e concentração de 25%.....	22
Figura 6 – Micrografias dos filmes de CBK (a) e CBK/PCO 25% (b).....	23
Figura 7 – Resultados das análises de TGA para os filmes de CBK e CBK/PCO.....	24
Figura 8 – Gráfico da primeira derivada (dTGA).....	25
Figura 9 – Carteira confeccionada com CBK/PCO 25% e 28 <i>mesh</i> .....	26
Figura 10 – Comparação visual entre os filmes de CBK (a) e CBK/PCO (b).....	27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1	OBJETIVO GERAL.....	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	11
2.1	INDÚSTRIA DO COURO ANIMAL.....	12
2.2	CELULOSE BACTERIANA.....	14
2.3	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	16
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	19
3.1	PREPARAÇÃO DO MATERIAL.....	19
<b>3.1.1</b>	<b>Celulose bacteriana</b> .....	19
<b>3.1.2</b>	<b>Casca de ovo</b> .....	19
<b>3.1.3</b>	<b>Peso seco de CBK</b> .....	19
<b>3.1.4</b>	<b>Composição do novo material biodegradável</b> .....	20
<b>3.1.5</b>	<b>Fabricação do novo material biodegradável</b> .....	20
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL.....	20
<b>3.2.1</b>	<b>Análise Termogravimétrica (TGA)</b> .....	20
<b>3.2.2</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b> .....	20
<b>3.2.3</b>	<b>Microscopia Óptica</b> .....	21
<b>3.2.4</b>	<b>Teor de umidade</b> .....	21
3.3	APLICAÇÃO DADA AO COMPÓSITO.....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
4.1	PESO SECO.....	22
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	22
<b>4.2.1</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura</b> .....	24
<b>4.2.2</b>	<b>Análise Termogravimétrica</b> .....	25
4.4	APLICAÇÃO DADA AO COMPÓSITO.....	26
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as questões ambientais tem promovido uma revolução nos padrões de produção industrial, direcionando a atenção para metodologias sustentáveis que visam otimizar o aproveitamento de recursos e minimizar os impactos negativos no meio ambiente, de acordo com as Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU para 2030 (Amobonye *et al.*, 2023).

Um setor que tem sido especialmente desafiado a repensar suas práticas produtivas é a indústria têxtil, que é uma das maiores fontes de poluição no mundo, principalmente após a aparição das marcas de consumo rápido, ou *fast-fashion*. Uma alta demanda por consumo acaba também gerando altas quantidades de resíduos, que dentro dessa indústria podem ser sintéticos ou naturais, recicláveis ou não. O algodão, que é a matéria-prima utilizada na confecção de diversos tecidos naturais, é um material que, apesar de ser considerado renovável, biodegradável e mais seguro que os tecidos sintéticos, também deixa um grande rastro de impacto ambiental no seu processamento (Domskiene *et al.*, 2019). O despertar da consciência do consumidor para práticas sustentáveis impulsiona a indústria a reavaliar e inovar suas tecnologias de produção.

Um exemplo paradigmático dessa mudança de mentalidade é observado no uso do couro animal, tradicionalmente empregado na fabricação de roupas e calçados. O processo de produção de couro, um subproduto da indústria de carne, envolve desmatamento extensivo para a criação de animais, além de questões éticas relacionadas ao bem-estar animal. Os processos de curtimento e acabamento também liberam substâncias tóxicas no ambiente, tornando a produção de couro ambientalmente impactante (Joseph; Nithya, 2009). O uso intensivo de recursos não renováveis, o desmatamento, o emprego significativo de produtos químicos no processamento do couro e o elevado consumo de energia e água destacam-se como preocupações centrais. Neste contexto, diversos estudos buscam identificar alternativas sustentáveis para substituir o couro tradicional. No mundo todo, cientistas e *designers* têm se unido para buscar soluções para os problemas gerados pela indústria têxtil, por isso biomateriais têm sido cada vez mais estudados.

Dentre as alternativas, a celulose bacteriana (CB) emerge como uma aposta promissora. Este polímero natural, sintetizado por bactérias como parte do processo de fermentação da kombucha, apresenta propriedades únicas em termos de estabilidade química, estrutura molecular e resistência mecânica. Diferenciando-se da celulose vegetal, a CB exhibe

microfibras mais finas, maior porosidade e pureza, tornando-a ideal para aplicações em bioplásticos, bioenergia e na indústria têxtil (Laavanya *et al.*, 2021).

A utilização de compósitos, que são formados a partir da junção de diferentes materiais para a criação de um novo material com propriedades híbridas, oferece uma abordagem inovadora para promover a sustentabilidade. O aproveitamento de resíduos industriais, como a casca de ovo proveniente da produção em larga escala de aves, mostra-se uma alternativa viável como material de reforço para compósitos poliméricos. O desenvolvimento de novos materiais compósitos contribui para a gestão adequada de resíduos e promove a redução de impactos ao meio ambiente (Villarreal, 2018).

Deste modo, este trabalho propõe-se a explorar a celulose bacteriana da kombucha (CBK) como uma alternativa sustentável para a indústria têxtil, avaliando suas propriedades e aplicações potenciais. Além disso, busca-se investigar a viabilidade do uso de pó de casca de ovo (PCO) como material de reforço em compósitos poliméricos com a matriz de CBK, destacando a importância de práticas inovadoras na busca por soluções ecologicamente responsáveis. Para isso, os filmes de compósitos criados em laboratório serão analisados em relação às suas propriedades visuais, químicas, físicas e mecânicas, comparando os resultados obtidos com uma amostra de CBK pura. O entendimento e a aplicação desses materiais emergentes são fundamentais para promover avanços significativos em direção a uma produção industrial mais sustentável e alinhada com as demandas da sociedade contemporânea.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, a partir de resíduos agroindustriais, um novo material biodegradável que possa ser utilizado na indústria têxtil como alternativa sustentável ao couro animal.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Promover o debate sobre uso de materiais biodegradáveis dentro da indústria têxtil;
- Produzir filmes de compósito CBK/PCO em diferentes proporções para avaliação qualitativa;
- Realizar análises de caracterização (TGA, MEV, peso seco) nos filmes desenvolvidos;
- Confeccionar uma carteira utilizando o material desenvolvido em laboratório.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 INDÚSTRIA DO COURO ANIMAL

De acordo com o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP), aplicar metodologias sustentáveis às diferentes etapas de um processo de produção pode levar a um maior aproveitamento dos recursos disponíveis e diminuir os riscos que o seu mau uso pode causar à vida na terra. Esta ideia também está de acordo com as metas de desenvolvimento traçadas pela ONU para 2030 para os setores da Indústria, Inovação e Infraestrutura, assim como para o Consumo e Produção Responsáveis (Amobonye *et al.*, 2023).

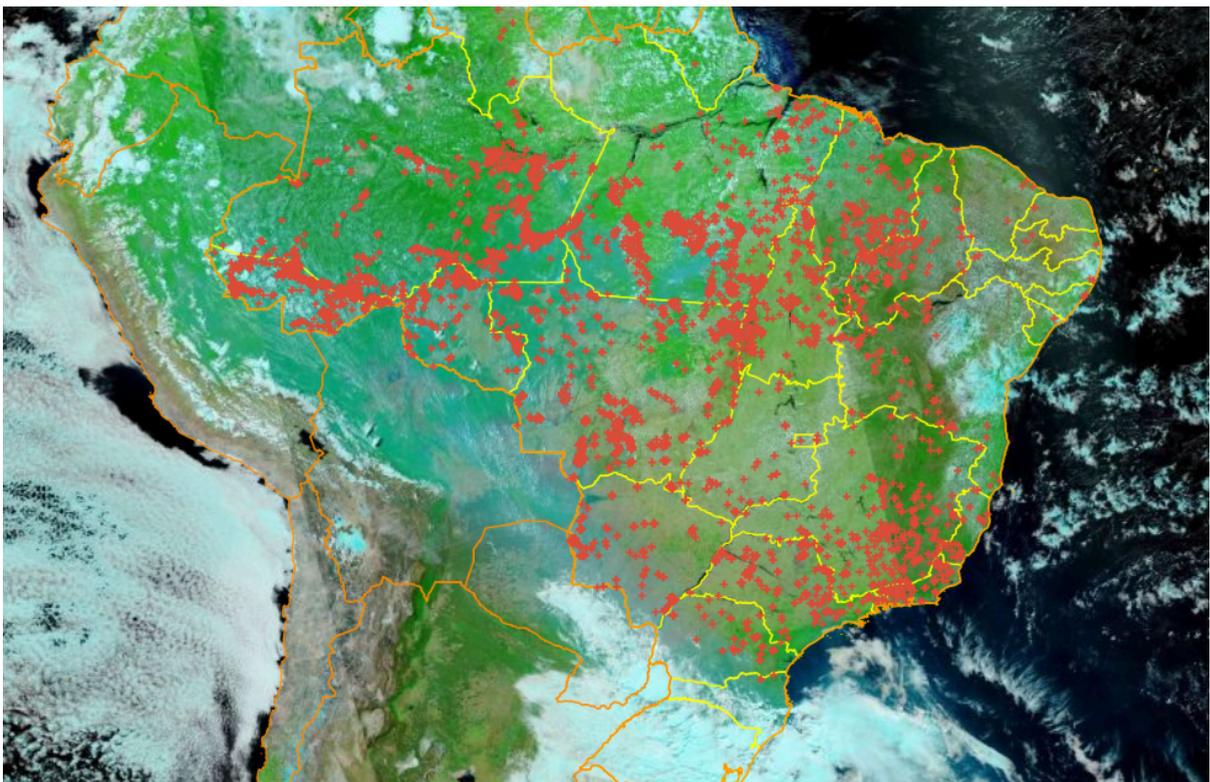
Dentro deste cenário, a indústria têxtil é um setor que tem sido pressionado a atualizar suas práticas de produção que, ao longo dos anos, com a evolução da tecnologia, têm se mostrado cada vez mais nocivas à saúde humana e ao meio ambiente. A utilização de recursos naturais não-renováveis, condições de trabalho precárias, alta demanda de produtos químicos para o processamento de tecidos e elevado consumo de energia e água, por exemplo, têm sido algumas das questões centrais levantadas pelas agências de fiscalização do meio ambiente e a população civil no mundo. Com a popularização das marcas de consumo rápido, ou *fast-fashion*, o problema se agravou. Apenas nos Estados Unidos, 15 milhões de toneladas de tecidos usados são descartados anualmente (LeBlanc, 2015). No Brasil, a produção anual de lixo têxtil é de 170 mil toneladas, onde apenas 20% desse total é destinado para a reciclagem. O restante é descartado em lixões ou em aterros sanitários (SEBRAE, 2014). Um material muito utilizado para a confecção de roupas é o algodão, que é composto por fibras de celulose. Apesar de ser considerado um material natural e biodegradável, o algodão exige um processamento intensivo que também é degradante. Para a produção de 1 kg de algodão, são necessários 7 a 29 toneladas de água, além de também serem utilizadas quantidades elevadas de inseticidas, fertilizantes, pesticidas e herbicidas que, quando usados de maneira indevida, chegam a poluir o solo e as águas, atingindo até os lençóis freáticos (Domskiene; Sederaviciute; Simonaityte, 2019).

O couro animal, tradicionalmente utilizado para criar roupas, calçados e uma grande variedade de produtos do dia a dia, é um exemplo atual de como essa mudança de comportamento pode influenciar o futuro de um produto na indústria. As novidades se dão, principalmente, pela mudança na percepção do consumidor, que passou a valorizar mais empresas que aplicam iniciativas sustentáveis dentro da sua cadeia produtiva (Choi; Lee, 2021). Inicialmente, para que o couro – que é um subproduto da indústria de carnes - seja

produzido, é necessário que grandes porções de áreas florestais sejam desmatadas para dar lugar aos pastos de criação do animal. Além de desflorestar grandes áreas, a produção do couro também esbarra na questão ética em relação ao bem-estar animal.

Recentemente, o Brasil tem quebrado recordes de queimadas em biomas já comprometidos, como na Amazônia e no Cerrado. Neste último, a área queimada aumentou 2362% no primeiro semestre de 2024, em comparação com o mesmo período do ano passado. A imagem de satélite referente a Figura 1 mostra os focos de incêndio detectados pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) apenas no período de 12 a 13 de setembro de 2024. No primeiro semestre deste mesmo ano, o órgão aponta que aproximadamente 95% dos focos de incêndio se iniciaram em propriedades privadas, sobretudo as de criação de gado (INPE, 2024).

Figura 1 – Focos de incêndio registrados no Brasil entre os dias 12 e 13 de setembro de 2024.



Fonte: BDQueimadas (INPE)

Depois que o animal cresce e amadurece, ele é abatido e sua pele é extraída. Após a extração, a pele passa por processos de tratamento químico que liberam grandes quantidades

de substâncias tóxicas no meio ambiente, incluindo sais de crômio, cloretos, sulfetos, taninos, óleos, resinais e detergentes (Chaurasia; Kumar, 2022).

De acordo com Joseph e Nithya (2009), que analisaram a produção de couro animal na Índia, os processos de curtimento e acabamento são as etapas de maior carga ambiental, chegando a consumir cerca de 17,4 m<sup>3</sup> de água e 348 kg de produtos químicos para a produção de 100 m<sup>2</sup> de couro.

Atualmente, diversos estudos têm sido feitos na tentativa de se descobrir potenciais substitutos para esse material têxtil milenar. Alguns processos inovadores utilizados por *start-ups* e marcas da “moda verde” utilizam-se de diversos tipos de matérias-primas secundárias, como resíduos agroindustriais, e têm adotado novas tecnologias de fabricação para desenvolver biomateriais têxteis diferenciados. Um exemplo disso é a utilização de fibras de folha do abacaxi, da celulose bacteriana ou o cultivo de micélio de fungos para fabricação de materiais semelhantes ao couro animal (Hidelbrandt et. al, 2021).

## 2.2 CELULOSE BACTERIANA

Uma grande aposta dentro deste cenário de novas tecnologias sustentáveis é a celulose bacteriana. Devido a sua versatilidade, a CB é um material utilizado em diversas aplicações diferentes, como mostra a Figura 2.

A celulose é o polímero natural mais abundante no planeta, podendo ser encontrada nas paredes celulares das células vegetais, das algas e de alguns fungos, como os oomicetos (Muiruri *et al.*, 2023). O polímero também pode ser sintetizado por bactérias, como acontece na fermentação da kombucha. O SCOBY (sigla em inglês para Cultura Simbiótica de Bactérias e Leveduras), que se forma durante este processo, é um tipo de comunidade microbiana que apresenta relações mutualísticas de colaboração entre micro-organismos eucarióticos e procarióticos, como as bactérias e leveduras (Reva *et al.*, 2015). A estrutura principal do SCOBY é composta por celulose, um dos metabólitos secundários produzidos pelas bactérias ácido acéticas (BAA) presentes na bebida. A síntese da CB ocorre quando as BAA se multiplicam, consomem o oxigênio dissolvido no meio e começam a produzir o polímero, até que se forme uma fina película na interface ar/líquido. À medida que novas camadas de celulose vão se formando na superfície, esta membrana vai se tornando cada vez mais grossa, podendo chegar à espessura de aproximadamente 2 cm em até 14 dias (Villarreal-soto *et al.*, 2018).

Figura 2 – Aplicação da celulose bacteriana em diversas áreas de pesquisa.

Área	Aplicações	Exemplos
Alimentos	Embalagens antibacterianas e biodegradáveis, biofilme, emulsificante, celulose comestível (nata de coco).	  Nata de Coco      Embalagem salgadinho
Eletrônica	Nanoplaças de grafite; substrato de filme de luz de diodo; membranas célula combustível.	  Fone Everglide s-500      Baterias
Biomédica	Nanofilmes; estrutura para regeneração de ossos; pele artificial curativa; absorvente feminino	   Reprodução de tecido      Absorvente feminino      Curativo
Cosméticos	Máscaras faciais; emulsificantes; condicionadores; polidores de unhas.	 Máscara Bel Mondo
Indústria Têxtil	Vestuário; bolsas; calçados; tendas e equipamentos de camping.	     Jaqueta      Sapato      Bolsa      Luva      Brinco
Produtos	Capas de celulares, luminária, tijelas	   Capa celular      Tijela      Luminárias
Arte	Artefatos conceituais; esculturas	    Escultura      Escultura      Cones xylinum      Kernels of Chimaera

Fonte: Costa; Biz (2017)

Estas bactérias, principalmente as da espécie *Acetobacter xylinum*, utilizam a sacarose como fonte de carbono para tecer um biofilme no qual as bactérias e leveduras irão se aderir, formando uma membrana gelatinosa na superfície do líquido.

Alguns parâmetros, como temperatura e pH, são considerados importantes para o desenvolvimento deste biofilme. Experimentos realizados por Chawla *et al.* (2009) apresentaram produção máxima de celulose quando a temperatura se encontrava entre 28 e 30 °C.

Fontana (1991), em um estudo que pretendia examinar quais compostos naturais presentes na kombucha interfeririam na produção de celulose, notou que a cafeína e outros compostos semelhantes, como a teofilina e teobromina, estimulam as bactérias a produzirem o biofilme. Entretanto, níveis elevados de cafeína (4 a 16 vezes o valor normal, que é de 40 mg/L), podem inibir a fermentação (Greenwalt, 1998).

A celulose produzida durante a fermentação da kombucha possui características únicas em termos de estabilidade química, estrutura molecular e resistência mecânica (Jayabalan *et al.*, 2014). Diversos estudos têm sido feitos com este subproduto da fermentação, a fim de explorar as possibilidades de utilizá-lo como matéria-prima nas áreas da tecnologia dos alimentos, produção de biomateriais, indústrias têxtil e da moda, biotecnologia ambiental, entre outras (Laavanya *et al.*, 2021). Outras propriedades como alta cristalinidade, biocompatibilidade, atoxicidade e elevada porosidade fazem da celulose bacteriana um material apropriado para aplicações tecnológicas em bioplásticos, bioenergia, suplementação alimentar e embalagens (Chawla *et al.*, 2009).

Quando comparada com a celulose vegetal (CV), a CB apresenta microfibras 100 vezes menores, o que lhe confere mais porosidade. Além disso, possui uma estrutura mais fina e menos ramificada, tornando-a um material com maior superfície de contato, maior poder de absorção de água e com mais resistência mecânica em sua forma úmida (Laavanya *et al.*, 2021). A CB também é considerada mais pura, por não conter resíduos de lignina, hemicelulose e pectina, presentes nas paredes das células vegetais (Muiruri *et al.*, 2023).

### 2.3 MATERIAIS COMPÓSITOS

A possibilidade de aproveitamento de resíduos industriais para o desenvolvimento de compósitos tem se tornado uma possibilidade cada vez mais valorizada dentro do cenário industrial, que atualmente vem tentando associar seu modo de produção às questões de combate e minimização de problemas ambientais. Muitas vezes é apenas “greenwashing”, técnica de *marketing* onde uma empresa utiliza a pauta verde para se promover, mas não implementa medidas que efetivamente minimizem o impacto ambiental causado por ela ou por seus produtos (Andreoli *et al.*, 2019).

Esses materiais são extensamente utilizados na produção de elementos otimizados que, por exemplo, necessitam de reduzida massa, mais flexibilidade ou maior resistência ao calor, como no *design* de componentes automotivos e aeronáuticos. Os materiais compósitos

são compostos por dois ou mais materiais de propriedades diferentes, que não se dissolvem um no outro e combinam as características do material de reforço com as da matriz para gerar um novo material de características híbridas (Maziero *et al.*, 2019). Qualquer material pode ser usado como matriz para formar um compósito, sendo as cerâmicas, metais e polímeros os materiais mais comuns; os materiais de reforço geralmente vêm na forma de flocos, partículas ou fibras, e cada uma dessas configurações podem contribuir com diferentes propriedades para os compósitos, a depender da aplicação final desejada (Ngo, 2020).

No mundo todo, cerca de 59,2 milhões de toneladas de ovos foram produzidos no ano de 2011, sendo a China a maior produtora, responsável por 41,8% do total de ovos produzidos. Estima-se que a produção de ovos atinja as 90 milhões de toneladas no ano de 2030 (Vandeginste, 2021). Em 2021, o Brasil foi o 8º maior produtor de ovos para consumo, registrando uma marca de 1,8 milhão de toneladas. Em 2013, 1,9 milhão de toneladas de ovos foram produzidas em todo país. No período entre 2003 e 2013, a produção no Brasil aumentou cerca de 3,3% (Amaral *et al.*, 2016). De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), 99,57% dos ovos produzidos no país foram destinados ao mercado interno em 2016 (ABPA, 2017). Já Pernambuco, considerado o maior produtor de ovos do Nordeste no ano de 2022, segundo um levantamento feito pelo Anuário do Agronegócio Brasileiro (AAB), teve uma produção total de 14 milhões de ovos por dia, o que correspondeu a um valor de R\$ 1,236 bilhão na produção deste mesmo ano (AAB, 2022).

Muitas vezes, resíduos industriais podem servir como matriz ou reforço na composição de um compósito, e com uma produção anual tão grande de ovos para consumo, muitos resíduos de casca de ovo são gerados também. Só no Brasil, estima-se que são 172 mil toneladas por ano, enquanto no resto do mundo uma média de 5,92 milhões de toneladas são geradas todos os anos. Quando essa grande quantidade de resíduo é despejada de modo errado, diversos problemas ambientais e de saúde pública podem ser criados, visto que a composição química das cascas consiste em 95% de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Oliveira *et al.*, 2019). Os outros 5% são referentes à matéria orgânica, como polissacarídeos sulfatados, colágeno e outras proteínas (Maziero, 2019). Sendo assim, a utilização deste tipo de resíduo como material de reforço para compósitos poliméricos se torna justificável, pois a casca de ovo é biodegradável e tem um baixo custo de obtenção, além de ser capaz de melhorar as propriedades mecânicas e promover a cristalinidade em polímeros (Villarreal-Lucio, 2018).

Atualmente, diversos estudos têm sido feitos para analisar os impactos nas propriedades de compósitos poliméricos adicionados de partículas de casca de ovo. Em

estudo feito por Nayak *et al.* (2015), o pó da casca de ovo foi adicionado a uma matriz de e-glass/epóxi, aumentando o módulo de tensão do material final e diminuindo sua resistência a tração.

Venkatamuni *et al.* (2016) adicionaram fibra de coco e pó de casca de ovo em diferentes proporções à uma matriz de resina epóxi, obtendo um compósito com resistência a tração razoável, capaz de substituir materiais poliméricos convencionais, como poli(tetrafluoretileno) (PTFE) e polipropileno (PP).

Em 2012, Patrick *et al.* realizaram testes utilizando partículas de casca de ovo carbonizadas (COC) e não carbonizadas (CONC) para a preparação de compósitos em uma matriz de poliéster. Neste estudo, observaram melhorias nas propriedades mecânicas (resistência à tração, compressão e flexão) dos compósitos adicionados da casca de ovo carbonizada e concluíram que o fortalecimento do material se deu porque as partículas carbonizadas formam uma ligação interfacial mais eficiente com a matriz de poliéster. Um outro estudo realizado por Betancourt e Cree (2017) envolveu a adição de partículas de casca de ovo, em diferentes concentrações (5%, 10% e 20%) e granulometrias (63  $\mu\text{m}$  e 32  $\mu\text{m}$ ), a uma matriz de poli(ácido láctico) (PLA). Em geral, observaram-se melhorias nas propriedades mecânicas dos compósitos com menor granulometria e aumento no módulo de elasticidade nas amostras com maior porcentagem de casca de ovos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentadas as metodologias utilizadas para fabricação e caracterização do material em desenvolvimento.

#### 3.1 PREPARAÇÃO DO MATERIAL

##### 3.1.1 Celulose bacteriana

A celulose bacteriana da kombucha foi obtida através de uma doação feita por Márcia Santos, orientada no trabalho de mestrado pela prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Glória Vinhas, e técnica do laboratório de Bioprocessos, no prédio de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química da UFPE. Para a produção de 1 L de kombucha, foram utilizados 8 g de chá verde seco, 65 g de açúcar e 100 mL de uma kombucha preparada previamente (*starter*). Após 14 dias, forma-se uma película de CBK com aproximadamente 2 cm de espessura. Antes de ser utilizada na pesquisa, a CBK foi esterilizada em Autoclave PRISMATEC de 75L durante 15 minutos a 121°C e 1 atm.

##### 3.1.2 Casca de ovo

As cascas de ovos foram obtidas por doação de Janete Melo, pequena produtora de bolos e doces de Recife, localizada no bairro do Ipsep, que utiliza ovos como matéria-prima em diversas receitas. As cascas foram trituradas em um liquidificador de cozinha até que todo o conteúdo virasse um pó. Em seguida, o pó foi peneirado e obtiveram-se duas frações de granulometrias diferentes (65 e 28 *mesh*). No total, foram obtidos 274 g de pó de casca de ovos.

##### 3.1.3 Peso seco de CBK

Para a análise de peso seco (PS) de CBK, 3 béqueres foram levados a uma estufa de 100°C ± 1°C por 24 horas até que suas massas permanecessem constantes e fosse obtido um peso médio dos béqueres secos ( $b_s$ ), pesados em balança analítica Bel M214-AIH. Paralelamente, 192 g de CBK foram batidos junto a 250 ml de água destilada em um liquidificador, até que fosse formada uma pasta grossa. Desta pasta, retiraram-se 3 amostras de aproximadamente 1 g, que foram adicionadas aos béqueres previamente secos. Estes béqueres adicionados de pasta foram levados à estufa de 100°C ± 1°C para tirar uma média de seus pesos após 24 horas, obtendo-se assim a massa média de CBK no béquer após a secagem

( $b_{cb}$ ). Deste modo, o PS médio foi calculado de acordo com a Equação 1, onde  $\sigma$  é o desvio padrão da média dos pesos .

$$PS (g) = (b_{cb} - b_s) \pm \sigma \quad (\text{Equação 1})$$

### **3.1.4 Composição do novo material biodegradável**

Foram testadas três porcentagens de massa de casca de ovo (25%, 50% e 75% m/m), sendo cada uma adicionada a 100 g de pasta de CBK. As porcentagens foram calculadas proporcionalmente em relação ao peso seco de CBK presente em 1 g da pasta (PS), como obtido na sessão anterior. A mistura foi transferida para duas placas de Petri de plástico, cada uma com 50 g da pasta, que foram levadas à estufa (LEEC Mk II) a  $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  para secar durante o período de 60 horas. Após a secagem, os filmes que obtiveram as melhores características visuais e táteis foram escolhidos para prosseguir com as análises de caracterização.

### **3.1.5 Fabricação do novo material biodegradável**

Para produzir o material em grande quantidade, utilizou-se uma forma antiaderente com dimensões de 30x45x5 cm que foi preenchida com 1000 g de pasta de CBK e 15 g de pó de casca de ovo, seguindo a proporção de 25% obtida de acordo com os testes de peso seco realizados. A mistura foi homogeneizada em um liquidificador durante 10 minutos e despejada sobre o recipiente, formando uma camada de aproximadamente 1 cm de altura da pasta, que foi levada à estufa a  $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 60h para a etapa de secagem.

## **3.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL**

### **3.2.1 Análise Termogravimétrica (TGA)**

As leituras foram realizadas usando um analisador térmico simultâneo (STA 5000, PerkinElmer) em amostras de cerca de 5 mg. Cada amostra foi analisada na faixa de temperatura de 30 a  $800^{\circ}\text{C}$ , com uma taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} / \text{min}$ . A análise foi feita no Laboratório de Petroquímica do I-LITIPEG (LPQ) da Universidade Federal de Pernambuco.

### 3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os materiais foram montados em *stubs* de cobre usando fita adesiva dupla condutora de carbono e revestidas com uma camada de ouro por 30 segundos (SC-701 Quick Coater, Japão). As microfotografias do MEV foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura (TESCAN, MIRA 3, República Tcheca) operando a 5 kV em temperatura ambiente e 2,5 kx de ampliação. A análise foi realizada no laboratório do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais.

### 3.2.3 Microscopia Óptica

Os materiais foram levados ao microscópio óptico Nikon Eclipse E200 para análise da sua estrutura superficial. Para isso, as amostras foram cortadas em um tamanho de 20x20 mm e colocadas sobre uma lamínula para a observação na objetiva de 10x.

### 3.2.4 Teor de umidade

O teor de umidade final dos filmes foi calculado através da técnica de peso seco. Após o processo de secagem descrito em 3.1.4, os filmes já prontos foram pesados e novamente levados à estufa de secagem a 100°C durante 24 horas. Decorrido este tempo, pesaram-se as amostras secas e determinou-se o teor de umidade dos filmes através de uma média.

## 3.3 APLICAÇÃO DADA AO COMPÓSITO

O biomaterial produzido em laboratório foi utilizado para confeccionar uma carteira de uso diário utilizando um molde, como mostra a Figura 3, e possui dois espaços para guardar cartões.

Figura 3 – Molde utilizado para a confecção da carteira.



Fonte: Autoria própria (2024)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

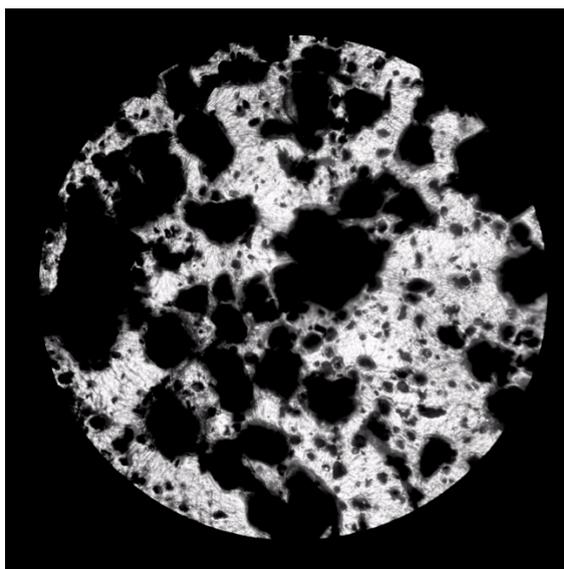
### 4.1 PESO SECO DE CBK

As análises de peso seco indicaram que 1,015 g de pasta de CBK contém aproximadamente  $0,015 \pm 0,002$  g de CB. É importante levar em consideração o peso da amostra após a secagem porque como o SCOBY é formado por aproximadamente 98% de água, a maior parte do peso inicial da pasta é relativo ao peso da água. A secagem nos mostra que a pasta é composta por aproximadamente 1,5% de CB e a porcentagem da mistura é calculada com relação à massa de CB presente na pasta.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A imagem obtida em microscópio ótico utilizando a objetiva com ampliação de 10x (Figura 4), mostra a membrana de CBK com 50% de pó da casca do ovo (CBK/PCO) e partículas de 65 *mesh*, apresentaram um aspecto grosseiro e superfície áspera devido ao tamanho das partículas, que eram muito grandes e formam grandes agregados particulares, resultando em um material frágil. Esta característica se apresentou em todas as concentrações testadas, sendo mais perceptível nas amostras com porcentagem maior de casca de ovo (50 e 75%). Nas imagens obtidas através da microscopia óptica, é possível observar que as partículas de pó de casca de ovo agregam-se em formato irregular e tamanhos variados.

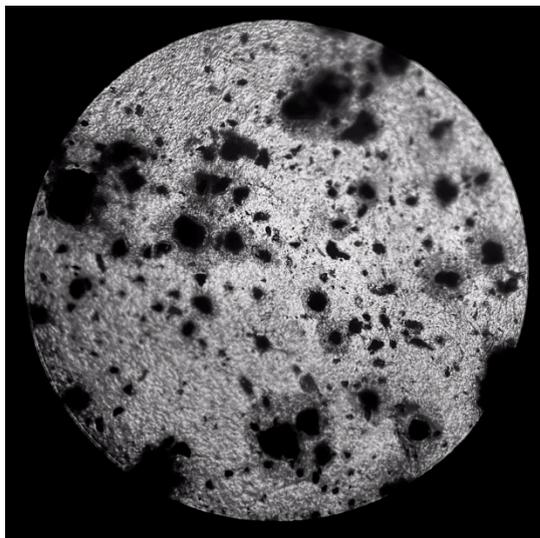
Figura 4 – Filme de CBK/PCO com 65 *mesh* e concentração de 50%.



Fonte: Autoria própria (2024)

Entretanto, as películas obtidas com partículas de 28 *mesh* apresentaram-se com um aspecto visual mais homogêneo, devido a presença de partículas menores que permitem uma maior coesão na estrutura do material, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Filme de CBK/PCO com 28 *mesh* e concentração de 25%.



Fonte: Autoria própria (2024)

Sendo assim, optou-se por continuar o estudo utilizando apenas as amostras com partículas de 28 *mesh*. Destas, as que continham material particulado de casca de ovo com porcentagens entre 75% e 50% foram descartadas por não obterem a flexibilidade desejada para os fins da pesquisa. Percebeu-se que estas amostras se tornaram muito rígidas e quebradiças, com uma aparência de cerâmica, devido às altas concentrações de carbonato de cálcio derivados do pó da casca de ovo. As amostras com 25% de material particulado apresentaram características visuais e táteis mais interessantes, por serem mais homogêneas e manterem a maleabilidade após a secagem. Durante o período de secagem, observou-se que tempos de secagem prolongados (acima de 60h a 45°C) tornavam o material mais quebradiço, devido ao baixo teor de umidade. As amostras com melhor maleabilidade possuíam teor de água após a secagem de aproximadamente 20%, calculados através da técnica de peso seco.

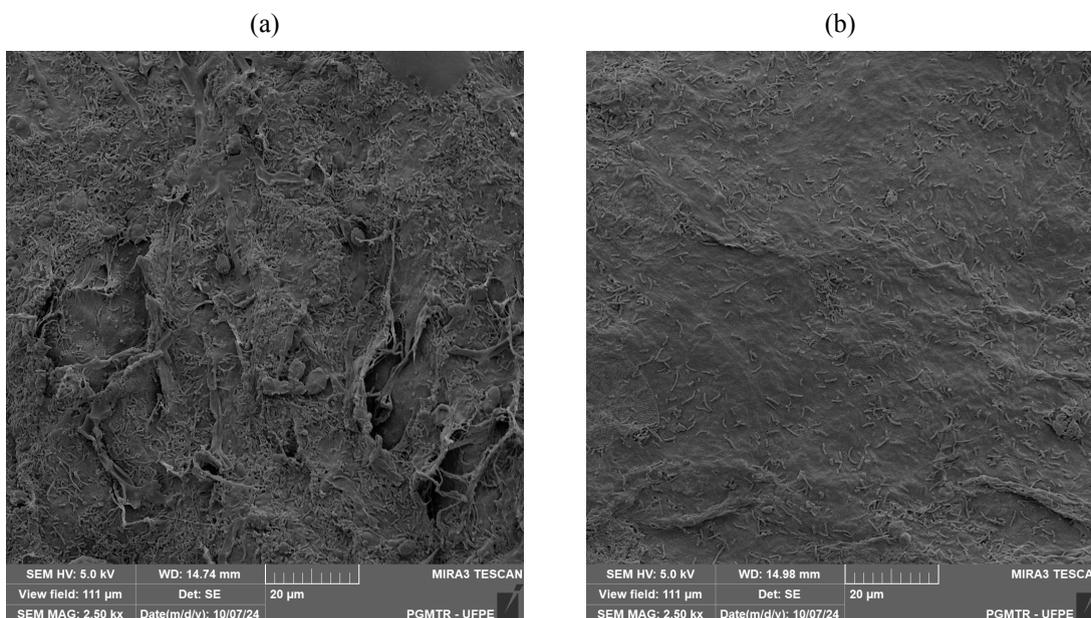
Ummartyotion (2016) em seus estudos com a incorporação do pó da casca de ovo à celulose bacteriana também observou que altas concentrações de pó de casca de ovo enfraquecem as propriedades mecânicas do material, devido à natureza das interações químicas estabelecidas entre a celulose e o carbonato de cálcio, que majoritariamente aconteceriam através de atrações eletrostáticas, mais fracas que as ligações iônicas ou

covalentes. Neste mesmo estudo, observou-se que a incorporação do pó da casca de ovo à matriz de celulose bacteriana melhora o poder de absorção do compósito, apesar de torná-lo mais frágil mecanicamente. Um alto percentual de pó de casca de ovo pode levar a uma maior interação entre as partículas, criando áreas de aglomeração entre os materiais particulados, que enfraquecem as propriedades mecânicas do material e se sobrepõem à interação das partículas com a matriz, facilitando o surgimento de fraturas devido a falta de homogeneidade (Sundaresan *et al.*, 2023).

#### 4.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

A micrografia permite que seja possível observar a estrutura superficial dos filmes desenvolvidos em laboratório com altas resoluções (Figura 6). Em todos os filmes, observa-se a presença de bactérias no formato de bastonetes, visto que a CBK utilizada neste trabalho não recebeu tratamento adicional para removê-las. Estas bactérias, do gênero *Acetobacter*, são as responsáveis por tecer as fibras de celulose durante o processo de fermentação da kombucha.

Figura 6 – Micrografias dos filmes de CBK (a) e CBK/PCO 25% (b)



Fonte: Autoria própria (2024)

Também é possível observar que a incorporação do pó de casca de ovo à CBK promoveu um efeito de uniformização na superfície do filme, como pode ser observado em B1 e B2. Isto pode indicar uma boa homogeneização das partículas distribuídas na matriz de

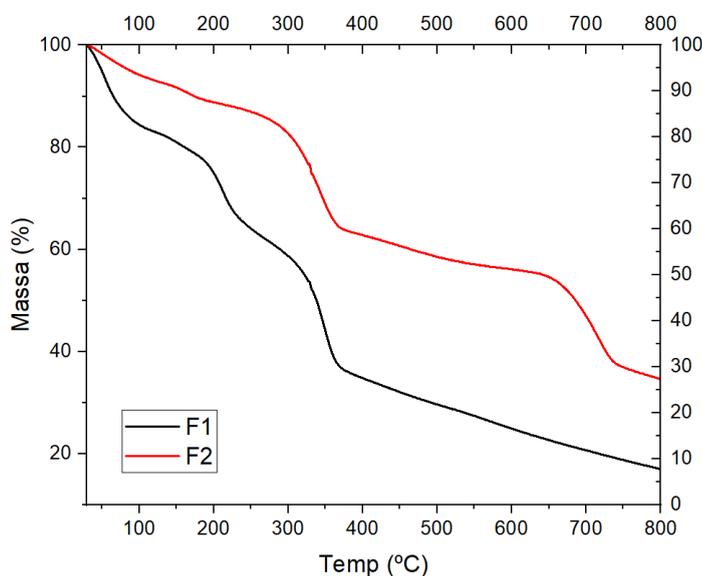
CBK. Por este motivo, a estrutura de fibras no compósito CBK/PCO fica menos evidente, pois está coberta pela camada de pó de casca de ovo. Nas imagens com maior magnificação, observam-se as redes de nanofibras de celulose ordenadas de forma randômica, umas sobre as outras, na amostra de CBK pura.

#### 4.2.2 Análise Termogravimétrica

As amostras de CBK analisadas não receberam tratamento de purificação, o que justifica a grande variação de massa durante a etapa de secagem (30 – 300 °C) dos materiais na Figura 7. Isto indica que a evaporação das substâncias mais voláteis presentes na película, assim como a presença de água, células de bactérias, leveduras, proteínas, polifenóis e outras impurezas interferiram neste processo, criando uma curva multinível.

Ao atingir 10% de perda de massa, o filme de CBK/PCO (F2) apresentou maior resistência térmica quando comparado com o filme de CBK (F1). Os filmes atingiram este estágio de degradação a 174°C e 63,5°C, respectivamente. A tendência de maior resistência à degradação térmica se mantém com o aumento da temperatura para F2.

Figura 7 – Resultados das análises de TGA para os filmes de CBK e CBK/PCO.



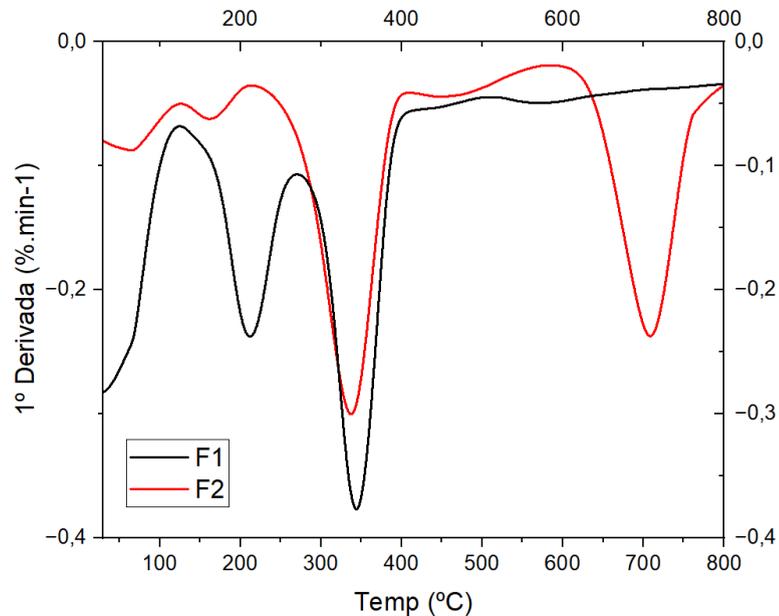
Fonte: Autoria própria (2024)

Ainda na Figura 7, também se observa que, na fase de carbonização do material (> 700°C), a porcentagem de massa residual de F2 estabiliza-se por volta dos 25%, referentes à

massa de óxido residual formado durante esse processo. Ao analisar a estabilidade térmica do compósito de celulose bacteriana misturado com pó de casca de ovo, Ummartyotin (2016) também observou a degradação do material em 3 fases.

Analisando a primeira derivada (dTGA) de F1, na Figura 8, observa-se um pico por volta da temperatura de 350°C que indica o início do processo de decomposição da CBK. Em F2, este mesmo pico de 350°C é observado, porém surge um novo pico logo após os 700°C indicando o início do processo de degradação do carbonato de cálcio presente na casca do ovo, que é convertido para óxido de cálcio quando exposto a altas temperaturas. Acima dessas temperaturas, a variação de massa se estabiliza, indicando o fim do processo de degradação dos materiais.

Figura 8 – Gráfico da primeira derivada (dTGA)



Fonte: Autoria própria (2024)

#### 4.4 APLICAÇÃO DADA AO COMPÓSITO

Durante a escolha do *design* da carteira, consideraram-se os tipos de materiais que seriam utilizados na finalização do artefato (Figura 7). Sendo assim, optou-se pelo acabamento com costura em fio encerado, evitando o uso de colas, resinas ou outros materiais não biodegradáveis que seriam incompatíveis com a proposta inicial do projeto de gerar o mínimo de resíduos possível.

Para aumentar a durabilidade do material, aplicou-se uma camada de cera de abelha misturada com óleo de coco sobre a superfície interna e externa do biomaterial com a finalidade de impermeabilizá-lo. O material apresentou odor característico, adocicado e boa maleabilidade. Cores e texturas se assemelham às da cortiça, assim como a característica porosa.

A porosidade obtida pela interação das partículas de pó de casca de ovo e seus derivados com os diversos tipos de matrizes de compósitos tem sido explorada por pesquisadores no desenvolvimento de materiais adsorventes, que podem ser utilizados no desenvolvimento de embalagens ativas (Ummartyotin, 2016) e bioadsorventes para tratamento de efluentes (Steiger *et al.*, 2024).

Figura 9 – Carteira confeccionada com CBK/PCO 25% e 28 mesh.



Fonte: A autoria própria (2024)

Além disso, seu uso também tem sido explorado na fabricação de cosméticos, catalisadores e cimento (Vandeginste, 2021). Na Figura 7, é possível observar a mudança visual causada pela adição do pó da casca de ovo à CBK. Algumas mudanças na estrutura da CBK modificada são perceptíveis a olho nu (textura, maleabilidade, transparência), que se tornou mais áspera, rígida e opaca em decorrência da adição do pó da casca de ovo. A CBK pura, à direita, assemelha-se mais a uma folha de papel, sendo que um pouco mais resistente – a depender da espessura - e possui um aspecto plastificado, translúcido.

Figura 10 – Comparação visual entre os filmes de CBK (a) e CBK/PCO (b)



Fonte: Autoria própria (2024)

A textura natural do “couro de kombucha” pode ser acentuada através de técnicas de modificação química, e a partir do tingimento, impressão ou bordado, permitindo a personalização de cada peça. A estética orgânica e as variações visuais deste material inspiram *designers* e pesquisadores a criarem produtos que surgem da interseccionalidade entre os movimentos sustentáveis na moda e no *design* de novos materiais.

## 5 CONCLUSÃO

Em um mundo onde o consumismo se tornou ideologia e os produtos são cada vez mais descartáveis, torna-se necessário repensar hábitos de consumo e produção de bens materiais. Além de realizar um estudo científico acerca do desenvolvimento de um novo material biodegradável que pode ser utilizado como substituto ao couro animal dentro da indústria da moda, este trabalho também se propôs a promover uma reflexão sobre o que tem sido consumido e descartado por esta indústria.

O estudo mostrou que é possível, utilizando resíduos agroindustriais, desenvolver em laboratório um material composto com potencial para ser explorado em diversas aplicações. Os resultados da pesquisa mostraram que altas concentrações de pó de casca de ovo incorporadas à matriz de celulose bacteriana tornam o produto final muito quebradiço, e a utilização de material particulado com granulometrias maiores fragilizam a estrutura do compósito, devido a formação de agregados particulares. As análises termogravimétricas demonstraram que a associação da CBK com o carbonato de cálcio presente na casca do ovo forma um compósito mais resistente à degradação térmica, quando comparada com a CBK pura. A mistura de pó de casca de ovo com celulose bacteriana também tem sido bastante pesquisada na área de embalagens ativas, pois o compósito é formado por dois materiais que apresentam alto poder absorvivo, tanto para a água, quanto para óleos vegetais.

Para que o material seja utilizado de modo seguro como substituto ao couro animal dentro da indústria da moda, ainda é necessário que análises complementares sejam realizadas, principalmente as que avaliam a resistência mecânica do material, como testes de resistência à tração, dureza e flexibilidade. Testes mais longos, como os de biodegradabilidade, também são importantes para determinar o tempo que o material levaria para se decompor em condições específicas e indicar seu tempo de vida útil.

A celulose de kombucha modificada é um exemplo notável de inovação no uso de materiais sustentáveis, que combinam ciência, técnica e arte. Seu desenvolvimento representa uma alternativa viável e ecológica ao couro animal e promove a reflexão sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pelo modo de produção da indústria têxtil contemporânea. Ao integrar conhecimento científico e criatividade, esse material não apenas desafia normas tradicionais, mas também abre caminhos para um futuro mais responsável e ético no *design* de processos industriais e de produtos.

## REFERÊNCIAS

Adote práticas para diminuir resíduos na produção de moda - Sebrae. [s.d.]. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/adote-praticas-para-diminuir-residuos-na-producao-de-moda,d37cae21e224f410VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 29 jan. 2024.

AMARAL, G., GUIMARÃES, D., NASCIMENTO, J. C., CUSTODIO, S.. Avicultura de postura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES. [s.d.].

AMOBONYE, A., LALUNG, J., AWASTHI, M.K., PILLAI, S. Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. **Sustainable Materials and Technologies**, dez. 2023. v. 38, p. e00724.

ANDREOLI, T. P.; BATISTA, L. L. Pareço Verde, Logo Sou? Uma Análise das Associações Feitas Após Exposição a Peças Publicitárias Com Apelos Verdes. **Revista Interdisciplinar de Marketing**, 2019. v. 9, n. 2, p. 113–125.

Anuário do Agronegócio Brasileiro - Dezembro 2022 - Janeiro 2023. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.flip3d.com.br/pub/opresenterural/?numero=224&edicao=5421#page/4>>. Acesso em: 29 jan. 2024.

Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) (2017). Relatório Anual 2017. Ovos. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/02/abpa-relatorio-anual-2017.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2024.

BETANCOURT, N. G., CREE, D. E. Mechanical Properties of Poly (lactic acid) Composites Reinforced with CaCO<sub>3</sub> Eggshell Based Fillers. *Soft Materials and Biomaterials*, v. 2, n. 47, p. 2545-2550, 2017.

CHAURASIA, P., KUMAR, S. Treatment, Recycling, and Reuse of Wastewater from Tannery Industry: Recent Trends, Challenges, and Opportunities. *Em*: KUMAR, V.; THAKUR, I. S. (Org.). **Omics Insights in Environmental Bioremediation**. Singapore: Springer Nature, 2022, p. 317–337.

CHAWLA, P. R, BAJAJ, I., SURVASE, S. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. **Food Technol. Biotechnol**, 2019. V. 47, n. 2, p. 107–124.

CHOI, Y.-H.; LEE, K.-H. Ethical Consumers' Awareness of Vegan Materials: Focused on Fake Fur and Fake Leather. **Sustainability**, jan. 2021. v. 13, n. 1, p. 436.

COSTA, P. Z. R.; BIZ, P. Cultivando materiais: o uso da celulose bacteriana no design de produtos. PPDESDI, 2018. Disponível em: <[https://www.even3.com.br/anais/spgd\\_2017/61907-cultivando-materiais---o-uso-da-celulose-bacteriana-no-design-de-produtos/](https://www.even3.com.br/anais/spgd_2017/61907-cultivando-materiais---o-uso-da-celulose-bacteriana-no-design-de-produtos/)>. Acesso em: 10 out 2024.

DOMSKIENE, J.; SEDERAVICIUTE, F.; SIMONAITYTE, J. Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 2 set. 2019. v. 31, n. 5, p. 644–652.

FONTANA, J. D.; FRANCO, V. C.; DE SOUZA, S. J.; LYRA, I. N.; DE SOUZA, A. M. Nature of plant stimulators in the production of *Acetobacter xylinum* (“tea fungus”) biofilm used in skin therapy. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 1 mar. 1991. v. 28, n. 1, p. 341–351.

GREENWALT, C. J.; LEDFORD, R. A.; STEINKRAUS, K. Determination and Characterization of the Antimicrobial Activity of the Fermented Tea Kombucha. **LWT - Food Science and Technology**, abr. 1998. v. 31, n. 3, p. 291–296.

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Banco de Dados de queimadas. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 17 de out. 2024

JAYABALAN, R.; MALBASA, R.; LONCAR, E.; VITAS, J.; SATHISHKUMAR, M. A Review on Kombucha Tea-Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus: A review on kombucha.... **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, jul. 2014. v. 13, n. 4, p. 538–550.

HILDEBRANDT, J.; THRÄN, D.; BEZAMA, A. The circularity of potential bio-textile production routes: Comparing life cycle impacts of bio-based materials used within the manufacturing of selected leather substitutes. **Journal of Cleaner Production**, mar. 2021. v. 287, p. 125470.

JOSEPH, K.; NITHYA, N. Material flows in the life cycle of leather. **Journal of Cleaner Production**, maio. 2009. v. 17, n. 7, p. 676–682.

LAAVANYA, D.; SHIRKOLE, S.; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, maio. 2021. v. 295, p. 126454.

LEBLANC. Textile and Garment Recycling Facts and Figures. **LiveAbout**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.liveabout.com/textile-recycling-facts-and-figures-2878122>>. Acesso em: 29 jan. 2024.

MAZIERO, R.; CASTRO, B. D. D.; RUBIO, J. C. C. APROVEITAMENTO DE CASCA DE OVO NA PREPARAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS. *Em*: CASTRO, B. D. D.; MAZIERO, R. (Org.). **As tecnologias e processos de Produção Industrial**. [S.l.]: Synapse Editora, 2023, p. 159–169.

MUIRURI, J. K.; YEO, J.C.C; ZHU, Q.; YE, E.; LOH, X.J.; LI, Z. Bacterial cellulose: Recent advances in biosynthesis, functionalization strategies and emerging applications. **European Polymer Journal**, 3 nov. 2023. v. 199, p. 112446.

NGO, T.-D. Introduction to Composite Materials. **Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications**. [S.l.]: IntechOpen, 2020.

NAYAK, S.; HECKADKA, S.; SHARMA, P.; AMAN, I.; DEY, S. Use of egg shell particulate as fillers in e-glass/epoxy composites. In: Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Industrial Automation. Dubai, 2015.

OLIVEIRA, D.; BENELLI, P.; AMANTE, E. Valorização de Resíduos Sólidos: Casca de Ovos como Matéria-Prima no Desenvolvimento de Novos Produtos. 1 jan. 2009.

PATRICK, S. N.; HASSAN, S. B.; AIGBODION, V. S. Development of polyester/egg shell particulate composites. *Tribology in Industry*, v. 34, n. 4, p. 217-225, 2012.

REVA, O. N.; ZAETS, I. E.; OVCHARENKO, L. P.; KUKHARENKO, O. E.; SHPYLOVA, S. P.; PODOLICH, O. V.; DE VERA, J. P.; KOZYROVSKA, N. O. Metabarcoding of the kombucha microbial community grown in different microenvironments. **AMB Express**, dez. 2015. v. 5, n. 1, p. 124.

STEIGER, B. G. K; BUI, N. T.; BABALOLA, B. M.; WILSON, L. D. Eggshell incorporated agro-waste adsorbent pellets for sustainable orthophosphate capture from aqueous media. **RSC Sustainability**, 8 maio. 2024. v. 2, n. 5, p. 1498–1507.

SUNDARESAN, S.; PRAKASH, R.; PADMA, S. Properties of biocomposites from waste eggshell as fillers. **Global NEST Journal**, 14 jun. 2023. v. 25, p. 109–115.

UMMARTYOTIN, S.; PISITSAK, P.; PECHYEN, C. Eggshell and Bacterial Cellulose Composite Membrane as Absorbent Material in Active Packaging. **International Journal of Polymer Science**, 2016. v. 2016, n. 1, p. 1047606.

VENKATAMUNI, T.; DEVANATHAN, R. Effect of Eggshell Composite Material for the Replacement of Conventional Material. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, v. 3, n. 12, p. 44-48, 2016.

VILLARREAL, S.; RIVERA-ARMENTA, J.; MARTINEZ-HERNANDEZ, A.; ESTRADA, I. Effect Of Eggshell Particle Size In Thermal And Thermomechanical Properties Of Pp/Eggshell Composites. 5 abr. 2018. Disponível em: <<https://zenodo.org/record/1213009>>. Acesso em: 29 jan. 2024.

VANDEGINSTE, V. Food waste eggshell valorization through development of new composites: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, set. 2021. v. 29, p. e00317.

VILLARREAL-SOTO, S. A.; BEAUFORT, S.; BOUAJILA, J.; SOUCHARD, J. P.; TAILLANDIER, P. Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. **Journal of Food Science**, 2018. v. 83, n. 3, p. 580–588.