



Instituto Federal De Ciência, Educação e Tecnologia de Brasília
Campus Gama
Licenciatura Em Química

GIOVANNA ADRIELE FRANCO BARCELOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SCOPY RESIDUAL DA KOMBUCHA PARA
UTILIZAÇÃO COMO TECIDO EM *SHEET FACE MASK***

Brasília - DF
2023

GIOVANNA ADRIELE FRANCO BARCELOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SCOPY RESIDUAL DA KOMBUCHA PARA
UTILIZAÇÃO COMO TECIDO EM SHEET FACE MASK**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Química do Instituto Federal de Brasília - *Campus* Gama, como requisito obrigatório para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Dra. Adriana Linhares Drummond

Coorientadora: Dra. Patrícia Abrão de Oliveira Molinari

Brasília - DF
2023

GIOVANNA ADRIELE FRANCO BARCELOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SCOBY RESIDUAL DA KOMBUCHA PARA
UTILIZAÇÃO COMO TECIDO EM SHEET FACE MASK**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura
em Química do Instituto Federal de Brasília -
Campus Gama, como requisito obrigatório para
obtenção do título de Licenciada em Química.

Aprovada em: 22/12/2023

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ADRIANA LINHARES DRUMMOND
Data: 16/04/2024 11:00:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Adriana Linhares Drummond - Orientadora
Instituto Federal de Brasília - Campus Gama



Documento assinado digitalmente
PATRICIA ABRAO DE OLIVEIRA MOLINARI
Data: 12/04/2024 11:09:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Patrícia Abrão de Oliveira Molinari - Coorientadora
Embrapa Agroenergia



Documento assinado digitalmente
RODRIGO ALVES DA SILVA
Data: 12/04/2024 10:53:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Alves da Silva - Avaliador
Instituto Federal de Brasília - Campus Gama

Barcelos, Giovanna Adriele Franco.

Caracterização química do Scoby residual da kombucha para utilização como tecido em sheet face mask / Giovanna Adriele Franco Barcelos ; orientação Adriana Linhares Drummond. — Gama, DF: 2023.

84 f. : il. color. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) — Instituto Federal de Brasília, Campus Gama, Gama, DF, 2023.

Orientador(a): Adriana Linhares Drummond.

1. Kombucha. 2. SCOPY. 3. Celulose bacteriana. 4. Sheet face mask. 5. Economia Circular. I. Drummond, Adriana Linhares, orient. II. Instituto Federal de Brasília. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus por ter me permitido chegar até aqui, cuidando, dando força e guiando meus passos para estar sempre na luta para alcançar meus objetivos.

A minha mãe Anelita que está sempre me dando suporte, me ajudando e dando os melhores conselhos, um exemplo de luta e dedicação, mostrando que tudo que fazemos não importa o que seja, deve ser feito com excelência, sempre me incentivando e inspirando a ir mais longe.

À minha família que está sempre me apoiando, buscando sempre me encorajar, desejando coisas boas e muito sucesso na minha caminhada, comemorando todos os avanços ao longo da jornada acadêmica.

Ao meu cachorro Calleri que me deu apoio nas fases mais difíceis, estando sempre atento aos meus passos e estando por perto nos momentos de dificuldade.

À minha orientadora Dra. Adriana Linhares Drummond, que sempre cuidou muito bem de mim, estando disposta a ensinar e aumentar minha curiosidade sobre o mundo dos polímeros, sempre realizando tudo com muito amor.

À minha coorientadora Dra. Patrícia Abrão de Oliveira Molinari que me aceitou para trabalharmos em conjunto mais uma vez, sempre me apoiando, dividindo conhecimento da prática laboratorial e do amor por cosméticos, me mostrando como Deus é sempre bom e está guiando nossos passos nessa jornada.

À técnica do laboratório de química de biomassas da Embrapa Agroenergia Msc. Raquel Bombarda Campanha, por todo suporte durante a pesquisa, ajudando com a realização experimental e com a interpretação dos resultados obtidos. Vocês são exemplos de dedicação e comprometimento com os estudos e com a pesquisa. Muito obrigada por todo o apoio desde o início da caminhada, vocês são grandes mulheres e foram fundamentais para realização deste trabalho.

Ao doutor Rodrigo Alves da Silva, agradeço pela oportunidade de ter me permitido atuar como pesquisadora voluntária no seu laboratório, onde pude aprender mais sobre processos e equipamentos laboratoriais.

Aos meus amigos de curso por terem sido ótimos companheiros, dando grande suporte ao longo dos anos, compartilhando diversos momentos, podendo arrancar ótimas conversas e risadas, conversas sobre a vida dentro e fora da faculdade, torcendo uns pelos outros, apoiando e sempre dispostos a ajudar. E aos meus demais amigos, obrigada por estarem sempre me apoiando e incentivando a sempre ir mais longe, vocês foram de grande apoio nesse processo formativo.

Ao laboratório de química de biomassas da Embrapa Agroenergia e ao laboratório de Análise Instrumental do Instituto Federal de Brasília *Campus Gama* por toda infraestrutura disponibilizada.

Por fim, obrigada aos demais professores e técnicos que fizeram parte da jornada universitária e de estágio, me auxiliando a aprender e expandir meus conhecimentos, e que de maneira direta ou indireta me ajudaram com esse trabalho.

RESUMO

A kombucha é uma bebida fermentada benéfica à saúde, com uma vasta composição química. Ao longo do processo fermentativo de produção da kombucha, ocorre o crescimento da película de celulose bacteriana (CB) denominada SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*), que é formado e descartado como rejeito orgânico no processo industrial. Esse biofilme é composto por fibrilas de celulose pura, surgindo como um potencial material alternativo aos polímeros sintéticos, com a utilização de um tratamento de baixo custo para sua aplicação. Neste trabalho, foi realizada a caracterização do material residual para aplicação como máscara facial do tipo *sheet face mask*, na qual a CB será utilizada como tecido para futura aplicação na face. Foram utilizados SCOBYs em duas diferentes concentrações e com dois tipos de purificação, obtendo-se 3 lotes de material. Para todos, foi feita a limpeza com NaOH 1 M, uma solução de baixo custo, que garante uma purificação eficaz, pouco agressiva e de fácil neutralização para a futura aplicação cosmética. As amostras analisadas exibiram elevada porosidade, tal como mencionado na literatura e uma grande capacidade de retenção de água (98,30%). A caracterização dos componentes estruturais das membranas de SCOBY demonstram que este, após ser purificado, é composto por basicamente celulose, sendo responsável por cerca de 79% da massa total da matéria, e o procedimento de matéria seca demonstrou que após secagem e homogeneização as amostras absorvem aproximadamente 10% de umidade, ou seja, apresentam potencial para serem umedecidas novamente, apesar de secas em alta temperatura. A composição de CB também foi comprovado através da leitura no FTIR, em que diferentes lotes, testados em base seca e base úmida, apresentaram os mesmos picos característicos de celulose pura. As análises por microscopia óptica mostraram que mesmo após múltiplas lavagens com água e hidróxido de sódio, as bactérias ainda permaneciam acopladas às fibras, porém possivelmente inativadas, sendo indicado a aplicação de procedimentos mais avançados de esterilização. Através do protótipo e das caracterizações feitas para *sheet face mask* com a CB, conclui-se que a película de celulose é composta de uma grande quantidade de água, garantindo a hidratação da pele podendo ser comercializada de forma úmida ou seca, uma vez que permite ser umedecida novamente. Em ambos os casos, aditivos e compostos ativos podem ser adicionados para melhoramento sensorial e óptico da pele. Ao analisar o empreendimento local, foram encontradas 10 empresas com fabricação de kombucha registradas no DF. Dentre as que foram investigadas, percebeu-se que o SCOBY residual ainda não possui uma destinação eficaz e ambientalmente adequada, com as empresas armazenando, realizando compostagem ou descartado como rejeito orgânico. Desse modo, esse material pode ser inserido novamente no ciclo industrial, sendo adquirido por baixo custo por uma empresa parceira que utilizaria o resíduo como matéria-prima secundária tal como realizada no presente trabalho, aplicando o conceito de economia circular juntamente com inovação e logística reversa, para gerar valor a um descarte que previamente seria um apenas acúmulo de lixo no meio ambiente.

Palavras-chaves: kombucha; SCOBY; celulose bacteriana; *sheet face mask*; economia circular.

ABSTRACT

Kombucha is a fermented drink that is beneficial to health, with a vast chemical composition. Throughout the fermentative process of kombucha production, the bacterial cellulose film called SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) grows, it is formed and discarded as organic waste in the industrial process. This biofilm is composed of pure cellulose fibrils, emerging as a potential alternative material to synthetic polymers, proposing a low-cost treatment to characterize and evaluate the applicability of this material. In this work, the characterization of the residual material for application as a sheet face mask was evaluated, in which CB will be used as a fabric for future application to the face. SCOBY was used in two different concentrations and with two types of purification, obtaining 3 batches of material, all of which were cleaned with 1 M NaOH, a low-cost solution, which guarantees effective, non-aggressive and easy neutralization purification for future cosmetic application. The analyzed samples exhibited high porosity, as mentioned in the literature, and a high water retention capacity of 98.30%. The characterization of the structural components of SCOBY membranes demonstrates that, after being purified, it is basically composed of cellulose, accounting for around 79% of the total mass of matter, and the dry matter procedure demonstrated that after drying and homogenization the samples absorb approximately 10% humidity, that is, they have the potential to be moistened again despite being dried at high temperatures. The composition of bacterial cellulose was also confirmed through FTIR reading, in which different batches, tested on a dry and wet basis, showed the same characteristic peaks of pure cellulose. Optical microscopy showed that even after multiple washes with water and sodium hydroxide, the bacteria still remained attached to the fibers, but these were now inactivated, but to eliminate these it is necessary to apply more advanced sterilization procedures. Through the prototype and characterizations made for sheet face masks with CB, it is concluded that the cellulose film is composed of a large amount of water, guaranteeing skin hydration and can be sold in wet or dry form, as it allows be moistened again, in both cases, additives and active compounds can be added for sensorial and optical improvement of the skin. When analyzing the local enterprise, 10 companies manufacturing kombucha registered in the DF were found, with the information shared by some, it is concluded that the residual SCOBY still does not have an effective and environmentally adequate destination, with companies storing, composting or discarded as organic waste, thus, this material can be inserted again into the industrial cycle, being acquired at low cost by a partner company that would use the waste as a secondary raw material as carried out in the present work, applying the concept of circular economy together with innovation and reverse logistics, to generate value from disposal that would previously have been just an accumulation of waste in the environment.

Keywords: kombucha; SCOBY; bacterial cellulose; sheet face mask; circular economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Estrutura química da celulose.....	23
Figura 2 - Ligações de hidrogênio intra e intermolecular da CB.....	24
Figura 3 - Vantagens estruturais e propriedades da celulose bacteriana.....	25
Figura 4 - Micrografias das fibras de celulose (a) e celulose vegetal (b).....	27
Figura 5 - Aplicações da CB.....	27
Figura 6 - Esquema da produção <i>in situ</i> da CB.....	28
Figura 7 - Esquema da produção <i>ex situ</i> da CB.....	28
Figura 8 - Diagrama da Pele.....	31
Figura 9 - Camadas da Epiderme.....	33
Figura 10 - Fluxograma da etapa de purificação do SCOBY.....	52
Figura 11 - KC em processo fermentativo com sua CB.....	58
Figura 12 - SCOBY íntegro (A) e após etapa de purificação (B).....	59
Figura 13 - SCOBY úmido purificado e após secagem em estufa a 60°C.....	62
Figura 14 - Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das membranas de SCOBY, lote 1 seco, lote 2 seco e úmido e lote 3 úmido.....	70
Figura 15 - Imagens da CB purificada em diferentes escalas: A) 20 µm; B e C)50 µm; D) 100µm; E) 200µm.....	70
Figura 16 - Máscara facial SCOBY purificada (A) seco temperatura ambiente 48 horas (B) seco com recorte facial (C) adicionado 1 mL de Água Destilada.....	72

Figura 17 - Máscara facial a partir do SCOBY purificado, adicionado peróxido de hidrogênio 50%.....72

Quadros

Quadro 1 - Lista de materiais utilizados nas análises.....50

Quadro 2 - Lista de reagentes e soluções utilizados nas análises.....50

Quadro 3 - Lista de equipamentos utilizados nas análises.....51

Quadro 4 - Dados de cada lote e tempo de tratamento para os SCOBY obtidos....52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as principais propriedades da CB e da CV.....	26
Tabela 2 - Capacidade de retenção de água (CRA) das membranas de SCOBY.....	61
Tabela 3 - Porosidade das membranas de CB de diferentes lotes.....	63
Tabela 4 - Teor de carboidratos do SCOBY.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SCOBY	Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast - Cultura Simbiótica de Bactérias e Leveduras
KC	Kombucha
CB	Celulose bacteriana
CV	Celulose vegetal
UV	Ultravioleta
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
ECM	Matriz Extracelular
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
IFB	Instituto Federal de Brasília
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
LQB	Laboratório de Química de Biomassas
LAP	Laboratory Analytical Procedure
NREL	National Renewable Energy Laboratory
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
IC	Cromatografia Iônica
UHPLC	<i>Ultra-High Performance Liquid Chromatography</i> - Cromatógrafo Líquido de ultra eficiência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Kombucha.....	17
3.1.1	SCOBY.....	19
3.2	Celulose.....	23
3.2.1	<i>Celulose Bacteriana (CB)</i>.....	24
3.3	Biomateriais e Biopolímeros.....	29
3.4	Pele Humana.....	31
3.4.1	<i>Epiderme</i>.....	32
3.4.2	<i>Derme</i>.....	34
3.4.3	<i>Hipoderme</i>.....	35
3.5	Cosméticos.....	36
3.6	Máscara Facial.....	37
3.6.1	<i>Tecnologia Sheet Mask</i>.....	39
3.7	Economia Circular.....	40
3.7.1	<i>Economia Circular em Sala de Aula</i>.....	47
4	PARTE EXPERIMENTAL.....	50

4.1	 Materiais, Reagentes e Equipamentos.....	50
4.2	 Procedimento Experimental.....	51
4.2.1	 Purificação do SCOBY.....	52
4.2.2	 Caracterização do SCOBY.....	53
4.2.2.1	<i> Capacidade de retenção de água (CRA).....</i>	<i>53</i>
4.2.2.2	<i> Porosidade.....</i>	<i>53</i>
4.2.2.3	<i> Trituração do SCOBY.....</i>	<i>53</i>
4.2.2.4	<i> Determinação de Matéria Seca a 105°C.....</i>	<i>54</i>
4.2.2.5	<i> Determinação Cinzas.....</i>	<i>54</i>
4.2.2.6	<i> Determinação de Carboidratos Estruturais pelo IC e UHPLC.....</i>	<i>55</i>
4.2.2.7	<i> Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier.....</i>	<i>56</i>
4.2.2.8	<i> Microscopia Óptica.....</i>	<i>57</i>
4.2.3	 Confecção do protótipo de Biomáscara.....	57
4.2.4	 Coleta de dados fabricantes de Kombucha no Distrito Federal.....	57
5	 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5.1	 Purificação do SCOBY.....	59
5.2	 Capacidade de retenção de água.....	61
5.3	 Porosidade.....	63
5.4	 Composição do SCOBY.....	64
5.5	 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.....	68
5.6	 Microscopia Óptica.....	69

5.7	Protótipo de Biomáscara.....	71
5.8	Empresas fabricantes de kombucha no Distrito Federal.....	74
5.9	Reaproveitamento de Resíduos em Sala de Aula.....	76
7	CONCLUSÃO.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

A kombucha é uma bebida produzida a partir da fermentação do extrato ou infusão de *Camellia sinensis* e açúcar, uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras chamada de SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* - Cultura Simbiótica de Bactérias e Leveduras). Foi originalmente produzida na China em aproximadamente 220 a.C. e, ao longo do desenvolvimento das rotas comerciais, ocorreu a distribuição e difusão da bebida por todo o mundo. O crescimento no seu consumo deu-se por ser uma bebida probiótica caseira de fácil obtenção e com alegações medicamentosas. Atualmente, a kombucha tem sido considerada uma bebida benéfica à saúde, sendo facilmente encontrada em diversos estabelecimentos e em vários sabores e embalagens. Essa bebida tem vasta composição química que permite diferentes aplicações, indo além da produção de bebida, sendo utilizada na fabricação de tecidos e na produção de cosméticos (Maia et al., 2020; Silva et al., 2021; Morganti et al., 2019).

O SCOBY é um biofilme celulósico produzido através da relação simbiótica entre bactérias e leveduras no interior da kombucha, que, em geral parte é descartado como rejeito orgânico juntamente a outros subprodutos do processo (Paludo, 2021). Ele é composto por fibrilas de celulose pura (celulose bacteriana, CB), surgindo então como um material biodegradável alternativo aos polímeros sintéticos, dando uma finalidade a esse resíduo industrial, para que possa ser reinserido em uma cadeia produtiva, fazendo o reaproveitamento da CB. Logo, a CB é um produto com grande potencial de mercado, entretanto ainda possui um comercial extensivo limitado devido ao custo elevado na produção, uma vez que precisa de uma grande área superficial para se obter a película (Domeneghetti et al., 2019; Góes, 2020).

O consumo de máscaras faciais está em contínuo crescimento mundial, sendo impulsionado pela crescente demanda do anti-envelhecimento e autocuidado, o que influencia fortemente na compra de produtos para aprimorar a beleza dos consumidores. Com isso, ocorre uma expansão do mercado de máscaras faciais, em especial as feitas por tecnologias inovadoras, matérias-primas naturais e formulações regenerativas, substituindo os tecidos convencionais que geram

resíduos de difícil degradação por tecidos biodegradáveis. Nesse contexto, os biofilmes aparecem como substitutos dos tecidos convencionais, devido sua viabilidade técnica, econômica e sustentável (Domeneghetti et al., 2019; Góes, 2020; Silva et al., 2021):

O uso de materiais alternativos e sustentáveis para formular um tecido biodegradável é uma forma de minimizar os impactos ambientais gerados. No qual, os biofilmes aparecem como potenciais substitutos dos tecidos convencionais, devido sua viabilidade técnica, econômica e sustentável. Surgindo como material potencial, pois a celulose se trata de um polímero natural, encontrado em abundância a partir de fontes renováveis terrestres, em algas marinhas e em algumas bactérias. No qual, as bactérias produzem a celulose bacteriana (CB), uma ótima alternativa aos produtos sintéticos, pois essa é tratada de forma simples e apresenta ótimas propriedades mecânicas para uso (Domeneghetti et al., 2019; Góes, 2020; Silva et al., 2021).

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo estudar a viabilidade da utilização da CB do SCOBY residual da kombucha, compreendendo suas características químicas e morfológicas para atuar como um potencial tecido na fabricação sustentável de máscaras faciais. Sendo esse um material de interesse por sua constante produção que gera um acúmulo de resíduo durante a fabricação. No qual, a CB apresenta um simples manuseio, viabilizando seu uso inovador e aplicações, em especial para o desenvolvimento de máscaras biodegradáveis a fim de reduzir o uso de polímeros sintéticos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi o estudo preliminar do resíduo de fermentação da kombucha (KC), o SCOBY, visando utilizar seu material polimérico de Celulose Bacteriana (CB) como um tecido biodegradável na utilização como máscara facial do tipo *sheet face mask*.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a composição química do SCOBY;
- b) Analisar a membrana microscopicamente;
- c) Formular um protótipo de máscara facial a partir da CB;
- d) Avaliar a disponibilidade econômica da membrana.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Kombucha

O kombucha (KC) é um chá fermentado, tradicional e milenar originado no Oriente, evidenciado por volta de 220 a.C. na Dinastia Tsin. Devido às suas propriedades desintoxicantes e energizantes e à busca por um estilo de vida mais saudável, seu consumo foi difundido no Ocidente. Esse chá é produzido a partir da infusão de folhas de *Camellia sinensis*, utilizando, como extrato, o chá preto ou verde e adicionando como substrato da fermentação, o açúcar. Posteriormente, é adicionada uma associação simbiótica de bactérias (primordialmente bactérias acéticas) e leveduras na superfície do líquido embebida numa celulose bacteriana (CB), o SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* - Cultura Simbiótica de Bactérias e Leveduras). O SCOBY é responsável pelo processo fermentativo e caracterização da KC, resultando em uma bebida levemente doce, ligeiramente ácida, consumida mundialmente (Maia et al., 2020; Domeneghetti et al., 2019; Paludo, 2021).

A fermentação da kombucha é realizada em duas etapas. Inicialmente, as leveduras realizam a hidrólise da sacarose, convertendo a glicose e a frutose, resultando na produção de etanol, glicerol e dióxido de carbono. Posteriormente, as bactérias oxidam o etanol, formando então ácido acético e transformando a glicose em ácido glucorônico. Com o passar do tempo, o pH do meio é reduzido de 5 para aproximadamente 2,5, o que contribui para inibir o crescimento de bactérias potencialmente contaminantes, garantindo a presença somente das bactérias probióticas e leveduras do SCOBY (Sreerama et al., 2000; Villarreal-Soto et al., 2018). Dessa forma, a atividade dos microrganismos gera mudanças no conteúdo dos princípios ativos do chá, produzindo ácidos orgânicos, gás carbônico, álcool e produtos bioativos, a maior parte derivados dos polifenóis do chá usado que estimula o sistema imune, trazendo benefícios para quem consome (Maia et al., 2020; Mazraedoost; Banaei, 2020; Góes, 2020).

Ao longo desse processo de fermentação, que na KC é uma combinação da fermentação alcoólica, láctica e acética, a bebida desenvolve sabor ácido, devido a presença do ácido acético, que acaba diminuindo sua aceitação sensorial, além da presença de outros ácidos orgânicos que são gerados, ocasionando em uma redução no pH (Paludo, 2021). Dessa forma, pode-se ter um produto final mais láctico ou mais acético, dependendo do equilíbrio dos microrganismos. Além disso, no processo produtivo, o chá libera aroma fermentado e há despreendimento de gás carbônico, o que torna a bebida levemente gaseificada. O tempo ideal da fermentação ocorre entre 7 e 12 dias, numa faixa de temperatura de 22 a 30 °C. Utiliza-se um recipiente aberto para a passagem de ar, mas com proteção para evitar contaminações.

A cada novo processo fermentativo forma-se um novo SCOBY na superfície do líquido, devendo ser armazenado em pequenas porções, juntamente a um percentual de KC já fermentado para ser usado na próxima fermentação. O SCOBY não utilizado é descartado, sendo então considerado resíduo industrial para a produtora do kombucha (Paludo, 2021).

A composição química da KC varia tanto quantitativamente quanto qualitativamente, com a presença de vitaminas, minerais e outros componentes orgânicos mudando de acordo com o substrato utilizado; com a concentração do chá e dos microrganismos ativos no inóculo; com o tempo e a temperatura da fermentação; e com a quantidade de açúcar e de água. Entretanto, alguns desses componentes estão presentes na maioria das composições, sendo eles: ácidos orgânicos, vitaminas, polifenóis e aminoácidos. Os ácidos mais importantes presentes na fermentação são os ácidos acético, glucorônico, glucônico, láctico e málico (Paludo, 2021; Mazraedoost; Banaei, 2020; Maia et al., 2020; Góes, 2020).

Dentre os produtos fermentados, a KC é a bebida cuja produção mais evoluiu da escala artesanal para a industrial, aumentando sua comercialização no Brasil nos últimos anos e mostrando ser uma indústria promissora. Devido ao crescente consumo de KC em escala mundial, sua preparação vem sendo modificada, buscando plantas alternativas à *Camellia sinensis*. Em outras partes do mundo, exceto no Brasil, onde a utilização dessa planta é pré-requisito para a sua

caracterização pela Instrução Normativa nº41/2019, existem variações de chás utilizados na fermentação, incluindo o chá branco, verde, oolong e preto (Paludo, 2021; Miranda et al., 2021; Silva et. al, 2021).

A KC é muito consumida em todo mundo por suas propriedades profiláticas e terapêuticas. Dentre os benefícios associados ao seu consumo estão: atividade antioxidante, efeito hipolipidêmico, atividade microbiana, baixo pH, potencial habilidade de eliminar radicais livres e capacidade energizante. Essas propriedades são derivadas do uso de *Camellia sinensis* na matéria-prima (Paludo, 2021; Miranda et al., 2021; Silva et al, 2021). Há relatos ainda sobre: atividade probiótica, antifúngica, anti-inflamatória, desintoxicante, hipoglicemiante, hipocolesterolemiantes, antimicrobiana e imunomoduladora, associados ao consumo da KC (Maia et al., 2020; Mazraedoost; Banaei, 2020; Góes, 2020).

3.1.1 SCOBY

Uma das características da fermentação do KC é a produção de celulose a partir da glicose por alguns tipos de bactérias, originando um biofilme que vai crescendo na superfície do líquido ao longo das fermentações (Ray; Joshi, 2014; Paludo, 2021; Mazraedoost; Banaei, 2020; Maia et al., 2020) Este biofilme trata-se do, já mencionado, SCOBY, também chamado de “fungo do chá”, “mãe kombucha” e “mãe do vinagre” (Cedeño; Romero, 2021; Paludo, 2021).

Caracterizações prévias do SCOBY, como o estudo feito por Jayabalan e colaboradores (2020), mostraram que a composição do SCOBY é de aproximadamente 23% de proteína bruta, 14% de fibra bruta e 5% de lipídeos, com teor de proteína composto por aminoácidos essenciais (lisina, leucina e isoleucina) e não essenciais (ácido glutâmico, alanina e ácido aspártico). No trabalho feito por Maia et al. (2020), foram encontradas a cada 100 g de matéria seca: 0,45 g de magnésio, 0,33 g de sódio e 0,21 g de potássio, os demais micronutrientes estavam em quantidades irrisórias. Além disso, a CB apresenta ausência de lignina e hemicelulose, alta resistência à tração, elasticidade, durabilidade e alta cristalinidade, sendo biodegradável, atóxica e biocompatível (Góes, 2020).

Existem duas formas de se obter o SCOBY. A primeira delas é através do chá já fermentado que é acrescentado à quantidade igual de chá fresco adoçado e deixado em repouso. Após 4 dias, inicia-se a formação da película celulósica que aumenta de espessura ao longo do tempo (Santos et al., 2019). A outra forma é a partir de uma cultura já madura criada previamente que é depositada em um chá fresco e irá fermentar, com a nova cultura crescendo na superfície, aderida à cultura antiga. Esse novo biofilme é facilmente removido e parte dele é utilizado em uma nova fermentação (Maia et al., 2020).

A síntese celulósica no processo fermentativo pode ocorrer em cultura estática ou sob agitação, sendo mais frequentemente sintetizada em condições estáticas. O meio de cultura é adicionado em recipientes específicos em que pode-se definir o formato da película de acordo com a geometria da superfície. A CB é então sintetizada em duas etapas intermediárias: I) formação das ligações glicosídicas β (1- 4) e II) montagem e cristalização das correntes em fitas compostas, sendo a etapa II limitante no processo. Esse processo forma uma consistente rede tridimensional ultra fina de fibras de celulose alinhadas paralelamente à superfície de um meio líquido, chamada de película. A sua geometria é determinada por ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, interações hidrofóbicas e ligações de Van der Waals (Paludo, 2021). O processo de formação da celulose ocorre entre as membranas externas e citoplasmáticas das células. As moléculas de CB formam-se dentro das bactérias ácido-acéticas, através da fermentação oxidativa e são extrusadas para o meio externo para formar protofibrilas, que formam microfibrilas com um formato 40 vezes maior (Amorim, 2020).

A película celulósica que compõe o SCOBY é sintetizada na interface líquido-ar, durante toda a fermentação até atingir o seu limite, crescendo primeiramente para fora até que a área superficial seja totalmente coberta e, posteriormente, aumentando sua espessura. Esse processo aprisiona todas as bactérias na fase líquida, que tornam-se inativas pela insuficiência de oxigênio, mas que podem ser reativadas e usadas como inóculo em fermentações posteriores. Assim, a camada superior do SCOBY é a mais recente, enquanto as leveduras que atuam de forma anaeróbica estão principalmente presentes na parte inferior. A

produtividade está vinculada a área superficial, aumentando com a profundidade do recipiente utilizado, com a necessidade de suprimento de oxigênio para sintetizar a CB (Paludo, 2021).

A cultura do SCOBY, então, multiplica-se a cada fermentação e parte dela é retirada e utilizada na próxima fermentação, com o restante podendo ser retirado para outras destinações, a fim de não acelerar a acidificação do meio. Assim, é possível se ter diversas culturas simbióticas armazenadas e cultivadas em um ambiente denominado “hotel de SCOBY”, para que sejam utilizá-las em outras fermentações, doações ou mesmo em aplicações que exigem um processamento, como suplementação alimentar de animais, curativos, condutor de materiais eletrônicos, filmes biodegradáveis, filmes com atividade antimicrobiana, procedimentos estéticos, membranas de filtração, indústria têxtil, entre outros (Maia et al., 2020; Silva et al., 2021; Paludo, 2021).

As várias possibilidades de processamento do biofilme, como formas de secagem e coloração, entre outros, resultam em diferentes características para o produto final. O tecido seco da celulose na sua maioria é bem resistente, já que as fibras microscópicas de celulose tecidas por bactérias geram uma matriz densa, podendo ter a superfície lisa, flexível, dura e seca. Caso não seja fixado como repelente de água, o tecido pode ser umedecido e remodelado. Apresenta uma coloração geral marrom médio ou creme, ou coloração marrom escuro/ cobre dependendo da técnica de ensaio utilizada. Sua transparência varia de translúcido a opaco (Santos et al., 2019).

Diferentes parâmetros podem afetar a produção do biofilme celulósico, tais como: as condições de cultivo, a concentração de carbono e nitrogênio, a quantidade de oxigênio, o pH, a faixa de temperatura utilizada (a faixa entre 20-50 °C é mais eficaz na produtividade), o tempo de cultura e as cepas utilizadas. As espécies mais comuns de bactérias conhecidas para produção da CB são: *Acetobacter* (reclassificada como *Komagataeibacter*), *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Sarcina*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*. No gênero das *Acetobacter*, a espécie mais utilizada para produção de CB e produção do SCOBY é a *Acetobacter*

xylinum, reclassificada como *Gluconacetobacter xylinus* e mais recente como *Komagataeibacter xylinus* (Paludo, 2021; Maia et al., 2020).

A caracterização feita por Villarreal-Soto e colaboradores (2020) comparou o processo fermentativo entre as condições estáticas e sob agitação. As diferentes condições não alteram a composição da rede, havendo possibilidade de obter um SCOBY com propriedades mecânicas e técnicas semelhantes através de ambos os métodos. Entretanto, notou-se perda de resistência mecânica do biofilme quando utilizado o método de agitação na fermentação. Já o estudo realizado por Paludo (2021), avaliou a influência da temperatura (25 °C, 50 °C e 75 °C) de secagem para analisar as propriedades mecânicas e o tamanho da amostra. Durante esse período o SCOBY perdeu até 92% do peso e 87% da espessura devido seu alto grau de umidade. A maior resistência à tração foi registrada para amostras secas a 25 °C, com valor de 27,9 MPa, com remoção gradual da umidade, mantendo suas propriedades de deformação.

Os estudos de Molina-Romero et al. (2021), analisaram o efeito da exposição acelerada em alta e baixa temperatura, e em alta umidade nas propriedades mecânicas e físicas. O módulo de elasticidade em um ensaio de tração e ruptura apresentou mudanças significativas após o ensaio, com tendência à deformação da membrana. Já o estudo feito por Villarreal-Soto e colaboradores (2020), mostrou que a morfologia da membrana manteve-se semelhante diante das modificações, sem apresentar fissuras superficiais, alterando apenas de translúcida inicialmente para opaca no final da exposição.

Filmes biodegradáveis formados a partir de polissacarídeos, proteínas e CB já apresentam viabilidade técnica e econômica para entrarem no mercado, com trabalhos existentes mostrando o uso desses filmes como componentes de matrizes polimérica (Cedeño; Romero, 2021). Estudos recentes mostram aplicações do SCOBY em filmes com atividade antimicrobiana, curativos medicamentosos, membranas de filtração e na indústria têxtil, sendo avaliada a viabilidade da utilização do resíduo obtido em escala industrial e em aplicações que se enquadram nas atuais necessidades da sociedade, buscando o reaproveitamento do resíduo (Paludo, 2021). Dessa forma, o SCOBY residual da produção do KC torna-se uma

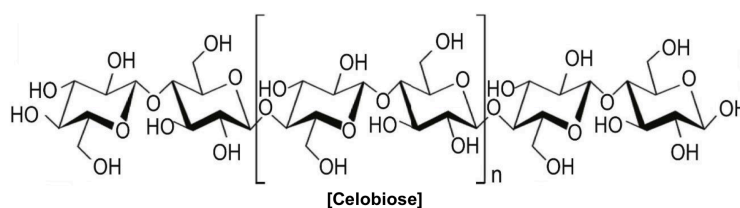
alternativa de baixo custo para utilização da celulose bacteriana, com aplicação promissora em diversas áreas, buscando reduzir os custos na utilização da CB.

3.2 Celulose

A celulose é considerada o polímero natural mais abundante na Terra. Trata-se de um biopolímero renovável, insolúvel em água, biodegradável e biocompatível. Apesar de ser principalmente de origem vegetal, pode ser também encontrado em outras formas de vida como: fungos, bactérias, protozoários, procariontes, animais (tunicados). Esse é um biopolímero bastante promissor para a produção de materiais poliméricos que possam atuar como substitutos de alguns polímeros convencionais derivados do petróleo que ainda apresentam extensa aplicação industrial (Amorim, 2020; Nascimento, 2022; Paludo, 2021).

É classificada como carboidrato estrutural, constituída basicamente por carbono, oxigênio e hidrogênio, de fórmula molecular $(C_6H_{10}O_5)_n$, conforme mostrado na Figura 1. Observa-se que a celulose é formada por cadeias lineares homopoliméricas longas e não ramificadas com cerca de centenas a 20.000 unidades de β -D-glicose, unidas por ligações do tipo β -1,4-glicosídicas, tendo como unidade de repetição fundamental a celobiose (dímero de glicose). O grande número de grupos hidroxilas (O-H) presentes resulta na formação de ligações de hidrogênio intra e intermolecular, responsáveis pela forte associação linear do polímero de celulose e pela formação de fibras nanométricas e micrométricas dispostas em rede tridimensional, resultando em um polímero rígido, insolúvel em água e na maior parte dos solventes orgânicos (Paludo, 2021; Nascimento, 2022).

Figura 1 - Estrutura química da celulose.



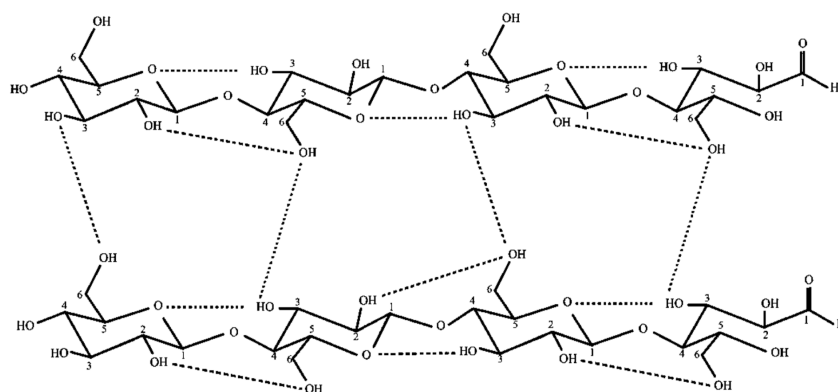
Fonte: adaptado de Peng et. al. (2020).

A composição da celulose contém regiões amorfas e cristalinas, sendo que o seu grau de cristalinidade está relacionado com a fonte de onde ela é obtida e o tipo de tratamento ao qual é submetida. As formas cristalinas mais comuns são as celuloses do tipo I e II, mas outras variações podem ocorrer. A celulose do tipo I é considerada a celulose nativa e assemelha-se a uma fita. Ela é sintetizada por plantas e bactérias do tipo *Gluconacetobacter* sob uma cultura estática, possuindo cadeias do tipo β -D-glicopiranosose paralelas e dispostas uniaxialmente. A celulose do tipo II, considerada mais estável e amorfa, possui cadeias arranjadas aleatoriamente. Os grupos hidroxila na superfície possibilitam a realização de modificações na celulose, que convertem a celulose do tipo I em tipo II, alterando sua morfologia para que suas propriedades mecânicas se tornem ajustáveis de acordo com sua aplicação (Laavanya; Shirkole; Balasubramanian, 2021; Younesi; Wu; Akkus, 2019).

3.2.1 Celulose Bacteriana (CB)

A CB, também chamada de biocelulose, é um polissacarídeo extracelular (exopolissacarídeo) formado por cadeias de monossacarídeos interligados através de ligações glicosídicas, sendo classificada como um polímero natural e derivado da fermentação oxidativa realizada por algumas bactérias (Amorim, 2020). Possui estrutura 3D única, formada por conjuntos de 10 a 15 cadeias poliméricas organizadas em redes agregadas e estendidas, como observado na Figura 2.

Figura 2 - Ligações de hidrogênio intra e intermolecular da CB



Fonte: Festucci-Buselli et al., (2007)

O agrupamento das fitas de celulose entrelaçadas aleatoriamente, originam uma matriz densa unida por grande quantidade de ligações de hidrogênio. Essas ligações também são responsáveis pela formação de cavidades na estrutura e pela presença de carga iônica na superfície, permitindo a incorporação de materiais e obtenção de novos produtos (Nascimento, 2022). A Figura 3 apresenta as principais características e propriedades da CB.

Figura 3 - Vantagens estruturais e propriedades da celulose bacteriana.

PROPRIEDADES FÍSICAS	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	PERFORMANCE BIOLÓGICA
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade • Alta porosidade • Formas variadas • Alta capacidade de retenção de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificações • Moldável • Alta pureza • Maior cristalinidade • Alto grau de polimerização 	<ul style="list-style-type: none"> • Não-tóxico • Biocompatível • Biodegradável • Excelente afinidade biológica • Alta resistência à degradação

Fonte: adaptado de Chen et. al. (2022).

A CB e a CV apresentam a mesma fórmula molecular, porém, a CB diferencia-se em alguns pontos de seu semelhante vegetal, destacados na Tabela 1.

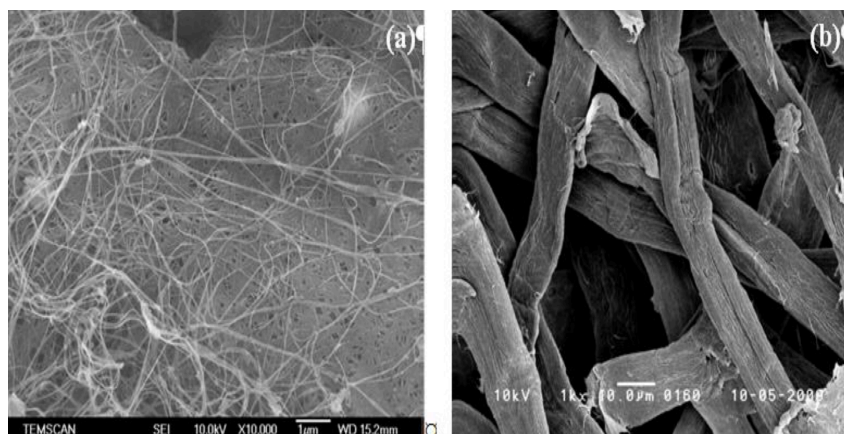
Tabela 1 - Comparação entre as principais propriedades da CB e da CV.

Propriedades	Celulose bacteriana (CB)	Celulose vegetal (CV)
Resistência à tração (MPa)	20 – 300	25 - 200
Módulo de Young (MPa)	camada: 20.000 única fibra:130.000	25 - 0,170
Capacidade de armazenamento de água (%)	> 95	25 - 35
Tamanho das fibras (nm)	20 – 100	escala (µm)
Cristalinidade (%)	74 – 96	40 - 85
Hidrofilicidade relativa (%)	40 – 50	20 – 30
Pureza (%)	> 99	< 80
Grau de polimerização	14000 – 16000	300 - 10000
Porosidade (%)	> 85	< 75
Área superficial (m ² .g ⁻¹)	> 150	< 10

Fonte: Nascimento (2022).

O primeiro deles relaciona-se à dimensão das fibras da CV e da CB. Enquanto a rede fibrosa da CB tem fibras em escala nanométrica, a CV apresenta fibras cerca de 100 vezes maiores, como evidenciado pela Figura 4. O crescimento da película, resulta na formação de uma folha de hidrogel com elevada área superficial e porosidade, ou seja, apresenta aparência de gel se contrapondo à aparência fibrosa da CV - o segundo ponto. Assim, a estrutura cristalina da CB apresenta um domínio mais pronunciado, com macromoléculas com maiores graus de polimerização (entre 2.000 e 6.000), maior força de tensão e maior capacidade de armazenar água. As nanofibras são orientadas uniaxialmente, com fibras de largura de 1 a 9 nm, com nanoestrutura singular. Devido à sua estrutura superfina, essa celulose destaca-se na utilização como forma de suporte, atuando como veículo na liberação de compostos ativos, por possuir estrutura porosa e boa permeabilidade, tornando-se um material interessante em processos de adsorção e dessorção de substâncias (Amorim, 2020; Paludo, 2021).

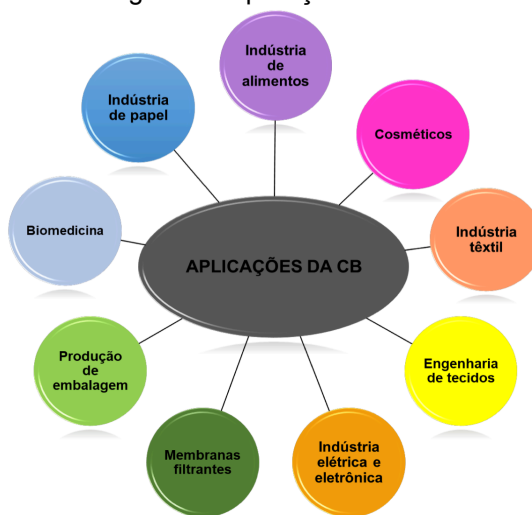
Figura 4 - Micrografias das fibras de celulose bacteriana (a) e celulose vegetal (b). Aumento 10.000x.



Fonte: adaptado de Donini et. al. (2010).

Por último, a CB apresenta um maior grau de pureza quando comparada à CV, pois não possui lignina, hemicelulose e outros biogênicos, fazendo que seu tratamento e purificação seja mais simples, rápido e econômico. Todas essas características têm aumentado o interesse sobre a CB nos últimos tempos como um material multifuncional, para diversos tipos de aplicação, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Aplicações da CB.



Fonte: Nascimento (2022).

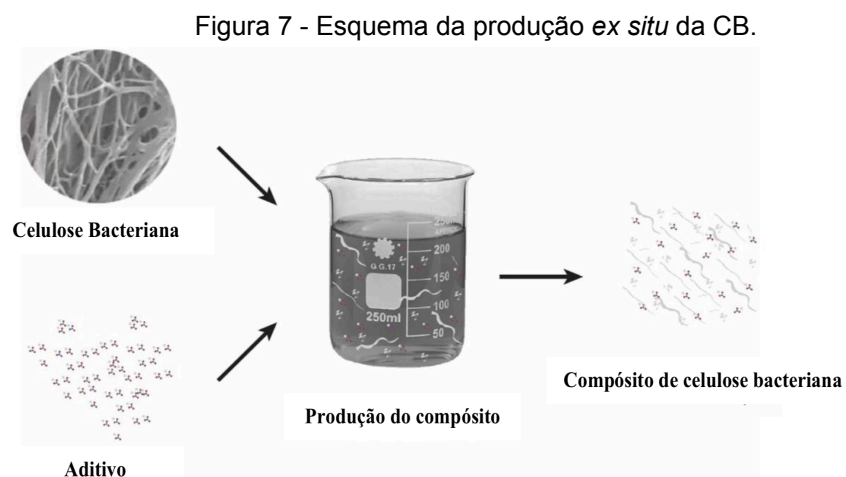
Dentre todas as aplicações mostradas na Figura 5, esse trabalho destaca as aplicações dermatológicas e cosméticas da CB, que vêm crescendo em pesquisas

recentes (Nascimento, 2022; Amorim, 2020), uma vez que ela é considerada atóxica por ingestão, em contato com a pele ou por inalação e também não desencadeia nenhuma resposta inflamatória ou oxidativa ao estresse em nível celular (Paludo, 2021).

A fabricação de biomateriais a partir da CB pode ser feita a partir de duas estratégias distintas, *in situ* e *ex situ*, com diferentes métodos utilizados para melhorar as características específicas da CB: os métodos físicos (misturas, dopagens e revestimentos estruturais), químicos (adição de aditivos) e biossintéticos (engenharia genética e modificações *in situ*). As Figuras 6 e 7 demonstram os processos em escala laboratorial dos métodos *in situ* e *ex situ*, respectivamente (Nascimento, 2022).



Fonte: Nascimento (2022).



Fonte: Nascimento (2022).

No processo *in situ* (Figura 6), as variações das condições ocorrem no cultivo ou durante o processo fermentativo, no qual empregam-se aditivos com propriedades de interesse e/ou alteração da fonte carbonatada. Isso pode resultar na formação de blendas poliméricas ou compósitos com mudanças físico-químicas, mecânicas e/ou morfológicas (Nascimento, 2022).

Na Figura 7, mostra-se o processo *ex situ*, no qual a etapa de modificação ocorre pela impregnação de aditivos após a biossíntese da celulose bacteriana, geralmente após um processo de purificação. Essa impregnação pode ocorrer de forma química com reações de copolimerização ou por reticulação. Nesse caso, a estrutura da CB praticamente não sofre alteração já que normalmente ocorre a interação entre a substância utilizada como aditivo e a matriz polimérica. Além disso, os meios de fermentação também podem ser utilizados para produzir uma CB de interesse, otimizando o processo e desenvolvendo matrizes com características distintas (Nascimento, 2022; Amorim, 2020).

Dessa forma, a CB é um material com propriedades promissoras, com fáceis etapas de purificação e de aplicações, porém um dos fatores que dificultam seu amplo uso é o seu alto custo de produção. Nesse contexto, o SCOBY aparece como uma alternativa promissora por tratar-se de um subproduto proveniente do processo fermentativo da kombucha (Paludo, 2021).

3.3 Biomateriais e Biopolímeros

Os biomateriais são uma classe de substâncias naturais, sintéticas ou uma combinação de ambas, destinadas a interagir com qualquer tecido ou órgão, sem que haja efeitos nocivos. Vários tipos de compostos podem ser utilizados como biomateriais, sendo os mais comuns metais e ligas metálicas, polímeros, biopolímeros, compósitos e materiais cerâmicos. A crescente busca por biomateriais está associada à biocompatibilidade, que é a capacidade do material em não causar nenhum tipo de resposta característica inflamatória, tóxica ou alérgica aos indivíduos. Aliado a isso, existe uma demanda para que os materiais sejam biodegradáveis e renováveis, uma vez que, contemporaneamente, cresceu o

interesse mundial em desenvolver processos e produtos que demandem menor impacto ambiental possível, motivando o uso de recursos naturais (Nascimento, 2022).

Os polímeros biodegradáveis são aqueles que podem sofrer degradação causada por atividade biológica, especialmente enzimática, associada a uma alteração significativa da estrutura química do material. Eles podem ser de origem natural ou sintética. Os materiais de origem natural, como materiais de fonte renovável, muitas vezes apresentam propriedades mecânicas inferiores e uma das soluções para isso é a utilização de fibras naturais ou lignocelulósicas como reforço desses materiais, originando compósitos - “misturas” preparadas para conciliar propriedades distintas dos componentes puros, buscando interações favoráveis, melhorando as características e o desempenho do material gerado (Andrade; Tapia; Menegalli, 2011). Apesar disso, o seu uso vem sendo cada vez mais incentivado devido à sua capacidade de reintegração natural ao meio ambiente, em contraposição aos polímeros sintéticos. De acordo com Mano (2018), “esta seria uma forma de restaurar parcialmente os ciclos da Natureza, para compensar a ação destruidora cumulativa, que vem ocorrendo em escala preocupante em todo o planeta”.

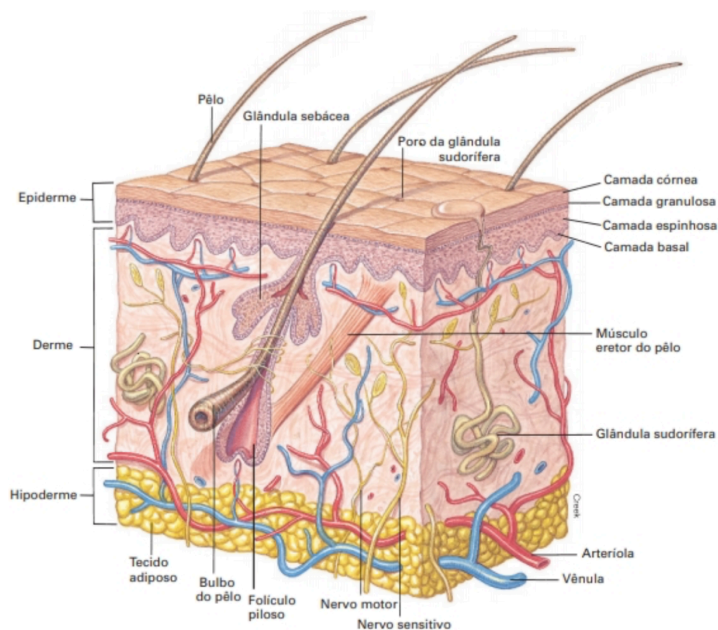
Diversos polímeros naturais possuem papel importante na formulação de produtos cosméticos. Nessa conjuntura, a CB tem sido amplamente investigada no desenvolvimento de produtos inovadores que não afetam a saúde e são biodegradáveis e biocompatíveis. A rede estrutural extremamente fina da CB garante uma elevada área superficial, com comportamento de tensão semelhante ao de tecidos moles, capaz de formar emulsões estáveis com água e óleo, não sendo necessário utilizar outros aditivos na composição (Nascimento, 2022).

Um desafio para a utilização comercial da CB nesse contexto é referente à diminuição do custo de produção, utilizando técnicas que permitam sua obtenção em larga escala, determinando proporções eficientes para a aplicação nas formulações e na sua condição de armazenamento, especialmente na utilização sob sua forma úmida (Nascimento, 2022).

3.4 Pele Humana

A pele é o maior órgão do corpo, juntamente com seus órgão anexos (pêlos, glândulas e unhas), que por sua vez constituem o sistema tegumentar, representado na Figura 8. Esse órgão cobre mais de 7600 cm² no adulto médio e é responsável por aproximadamente 7% do peso corporal de uma pessoa. Apresenta uma espessura variável média de 1,5 mm e é mais espessa nas partes mais expostas ao uso e desgaste, tendo aproximadamente 6 mm nessas áreas, além de ser mais fina em áreas mais sensíveis, como pálpebras e genitais, com cerca de 0,5 mm de espessura. Em diversas áreas do corpo, apresenta modificações para adaptar-se, conciliando funções de proteção ou metabólicas, variando sua aparência e textura (Van de Graaff, 2003).

Figura 8 - Diagrama da Pele



Fonte: Van de Graaff (2003).

Diversas vezes confunde-se tegumento com tecido, adotando a ideia de que são sinônimos, porém, tecido é um agrupamento de células semelhantes que executam funções comuns e específicas, podendo ser dividida em tecido epitelial, conjuntivo, muscular e nervoso (Rabeh; Gonçalves, 2011). O tegumento ou sistema

tegumentar é tudo aquilo que reveste a parte externa do corpo, conferindo proteção ao organismo contra desidratação, hidratação excessiva, ação dos raios UV emitidos pelo sol, microrganismos patogênicos, choques mecânicos, entre outros (Núcleo de Pós-Graduação e Extensão, 2018).

Nesse sistema, há milhões de receptores sensitivos e uma extensa rede vascular, sendo considerado um órgão, pois consiste em vários tipos de tecidos que estão estruturalmente organizados funcionando em conjunto. Atua como uma interface dinâmica entre o ambiente externo, que sofre constantes mudanças, e o ambiente interno do corpo, no qual a pele ajuda a manter a homeostasia. Além de manter a termorregulação, atua como resposta imunológica, controle hemodinâmico, sensorial, produção e excreção de metabólitos.

A pele é dividida em três camadas: epiderme, derme e hipoderme. A epiderme é a camada mais externa, estratificada em quatro ou cinco camadas estruturais, já a derme é mais espessa, profunda e interna. A hipoderme ou tela subcutânea liga a pele com os órgãos subjacentes (Van de Graaff, 2003; Núcleo de Pós-Graduação e Extensão, 2018).

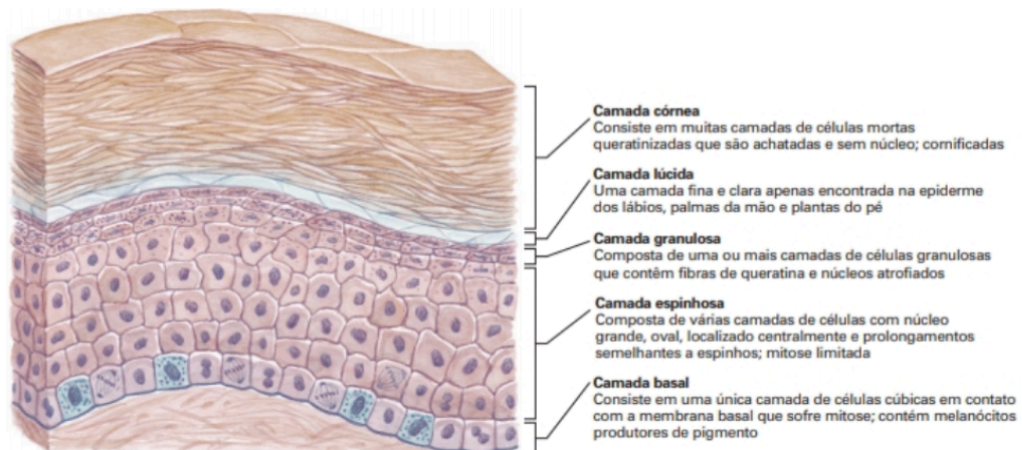
Devido a pressões estéticas e sociais, a aparência da pele é algo que é avaliada com frequência, demandando mais atenção a tudo que refere-se ao sistema tegumentar em detrimento das outras partes do corpo. Porém, como já foi mencionado, a pele é muito mais que uma peça de exibição, ela auxilia a regular funções do corpo e protegê-lo (Van de Graaff, 2003). Diversas causas acarretam em alterações cutâneas e contribuem para o envelhecimento precoce da pele, além de doenças tópicas associadas, podendo ser causadas por fatores extrínsecos, como hábitos alimentares, exposição excessiva à radiação UV, ausência de cuidado e por fatores intrínsecos, como aspectos fisiológicos, diminuição na produção de colágeno, entre outros. Nesse contexto, preparações cosméticas para tratamento da pele são responsáveis pelo melhoramento da aparência externa (Nascimento, 2022).

3.4.1 Epiderme

Epiderme é a camada superficial e protetora da pele, formada por um epitélio pavimentoso com espessura entre 0,007 e 0,12 mm. É composta por 5 camadas na

palma das mãos e das plantas dos pés, por serem mais expostas ao atrito. Já no restante do corpo, apresenta apenas 4 camadas, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Camadas da Epiderme



Fonte: Van de Graaff (2003).

As camadas que compõem a epiderme estão descritas a seguir:

- **Camada Basal (estrato basal) ou Germinativa:** única camada de células em contato com a derme. Possui quatro tipos de células em sua composição: queratinócitos produtores de queratina; melanócitos produtores de melanina; células táteis que dão sensibilidade ao tegumento; células de Langerhans, espécie de fagócitos que engloba bactérias e resíduos sendo a primeira proteção contra patógenos. Com exceção das células de Langerhans, estas sofrem constante mitose entre 6 a 8 semanas para as células se deslocarem da camada basal até a superfície (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).
- **Camada Espinhosa:** formada por várias camadas, é composta por queratinócitos em formas de poliedro garantindo a aparência espinhosa. No espaço entre as células, há o glicocálix, substância que

age como meio condutor de substâncias hidrossolúveis do meio externo para o interno (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

- **Camada Granulosa:** composta por células achatadas, seus grânulos contêm queratomalina, precursora da queratina e grânulos lamelares, impermeabilizando as células como prevenção à perda de água (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).
- **Camada Córnea:** formada por 25 a 30 camadas de células achatadas que assemelha-se a escamas, na qual, milhares dessas estão mortas e desprendem diariamente na superfície da pele para serem substituídas por novas células das camadas mais profundas. Esta é a camada superficial que garante de fato a proteção à pele. A queratinização/cornificação é o processo de transformação dos queratinócitos em células córneas, achatadas e secas, sendo importante para a função protetora da pele. Tem duração de 26 a 28 dias, após esse tempo as células mortas se desprendem e esfoliam, para que células das novas camadas sejam substituídas com uma constante renovação (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).
- **Camada Lúcida:** camada extra que está presente nas regiões palmoplantares, tendo a pele é mais espessa, estando presente também nos lábios. Possui células achatadas e transparentes, está situada entre a camada córnea e a granulosa (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

3.4.2 *Derme*

É a segunda camada da pele, sendo mais profunda e espessa que a epiderme. É vascularizada e constituída principalmente por tecido conjuntivo, como colágeno e fibras elásticas dispostas em padrões definidos, produzindo linhas de tensão na pele, o que garante o seu tônus, tornando a pele resistente e elástica. A rede extensa de vasos sanguíneos presente supre a nutrição para a porção viva da epiderme. Possui também muitas glândulas sudoríparas, glândulas sebáceas e folículos pilosos (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

A derme é subdividida em duas camadas: uma camada superficial chamada camada papilar e uma mais profunda, a camada reticular. A primeira ocupa cerca de um quinto de toda derme, apresentando projeções, as papilas, que vão da parte superior da derme em direção à epiderme. Essas papilas formam as bases de cristas de fricção dos dedos da mão e do pé. Já a camada reticular apresenta fibras mais densas e dispostas regularmente, gerando uma rede resistente e flexível, porém caso seja muito distendida pode promover “rupturas” da derme, formando uma linha branca chamada marca de distensão, ou linha albicans (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

Diferentemente da epiderme, essa é vascularizada, suprindo a camada viva da epiderme (camada basal) que está em constante mitose. Também está presente na inervação da pele, formada por nervos e terminações nervosas, dando à pele sensibilidade à pressão, temperatura, prurido, dor e tato. A inervação faz com que ocorra a vasoconstrição, impedindo a circulação do sangue para as arteríolas próximas à superfície, dificultando a perda de calor, e a vasodilatação, permitindo a livre circulação de sangue na derme. Além disso, atua na manutenção e regulação da temperatura corporal e na pressão arterial (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

3.4.3 Hipoderme

Também chamada de tela subcutânea, não é de fato uma parte do tecido tegumentar, mas liga a derme aos órgãos subjacentes. Sendo composta principalmente de tecido conjuntivo frouxo e células adiposas, atua como isolante térmico e reserva calórica. Em algumas regiões do corpo, protege contra traumas agindo como amortecedor, no qual a quantidade de tecido adiposo pode variar de acordo com a região do corpo, idade e sexo (Rabeh; Gonçalves, 2011; Van de Graaff, 2003).

3.5 Cosméticos e Cosmecêuticos

A definição de cosmético segundo a agência americana *Food and Drug Administration (FDA)*, responsável pela regulação de fármacos e cosméticos, é “produtos destinados a serem aplicados ao corpo humano para limpeza, embelezamento, promoção da atratividade ou alteração da aparência sem afetar a estrutura do corpo”. Ou seja, os cosméticos podem ser definidos como sistemas complexos, em que cada contribuinte é responsável por desempenhar diversas funções de interesse no produto final. A indústria dos cosméticos é dividida em cinco principais categorias, que são: cuidado com a pele (*skincare*), cuidado com o cabelo, maquiagem, perfumes e higiene oral. O ramo de *skincare* representa a maior parte desse segmento, sendo, em 2019, responsável por 60% da economia relacionada (Nascimento, 2022).

No século passado, essa indústria foi impulsionada pelo aumento da demanda no mercado global, crescendo juntamente com a busca estética e o desejo dos consumidores por produtos inovadores de cuidados pessoais. Assim, os fabricantes buscam desenvolver novas formulações que reúnam diferentes características de interesse com maior eficiência, atendendo às demandas de diferentes usuários, procurando a redução de danos ao meio ambiente em comparação aos cosméticos convencionais (Nascimento, 2022; Amorim, 2020).

Contemporaneamente, grandes quantidades de composições cosméticas ainda são formuladas utilizando derivados do petróleo. O uso de fontes não renováveis resulta na produção de resíduos de baixa degradabilidade, com bioacumulação de compostos tóxicos. Diante do agravamento de problemas ambientais, surge como preocupação o consumo sustentável, com utilização de matérias-primas que após o uso sejam facilmente degradáveis, promovendo baixo impacto ambiental. Nesse contexto, emergem os cosméticos ecologicamente amigáveis (*eco-friendly*), conhecidos como produtos que utilizam ingredientes de origem natural em substituição aos constituintes sintéticos. Os cosméticos *eco-friendly* ainda estão em crescimento no mercado mundial, entretanto, acredita-se no fortalecimento desse setor devido ao comportamento das indústrias e dos consumidores na conscientização ambiental e sanitária (Nascimento, 2022).

Com o crescimento do interesse da população por produtos inovadores, surgem os cosmecêuticos (combinação de cosméticos e farmacêuticos). O termo apareceu em 1984 para falar sobre produtos aplicados de maneira tópica, com capacidade de alterar o estado fisiológico da pele, mas que não são classificados como medicamentos. Caracterizados como produtos capazes de potencializar a beleza e saúde dos humanos, atendendo a padrões físico-químicos e médicos, esses oferecem benefícios sem risco à saúde. Essa classe de produtos é definida como cosméticos que apresentam adição de princípios ativos. Os princípios ativos mais utilizados nos cosmecêuticos são: vitaminas, antioxidantes, protetores UV, esfoliantes, hidratantes, despigmentantes e efeito anti-idade. Este setor vem explorando a natureza na busca de novas matérias-primas de origem natural, com a finalidade de obter resultados satisfatórios ao consumidor e, simultaneamente, contribuir para o desenvolvimento da tecnologia sustentável no setor cosmético (Nascimento, 2022; Amorim, 2020).

Além dos constituintes que compõem as formulações cosméticas, é necessário um veículo para a entrega dessas substâncias. Ele deve possuir uma estrutura que facilite a incorporação de bioativos, permitindo uma entrega transdérmica de forma controlada para que o produto seja eficiente e seguro. Os materiais poliméricos apresentam vantagens estruturais no encapsulamento de compostos ativos, já que esses compostos costumam ser instáveis e sensíveis a alterações externas como luz, pH e temperatura. O encapsulamento aumenta a estabilidade dos produtos cosméticos e os protege da degradação (Nascimento, 2022; Amorim, 2020).

3.6 Máscara Facial

Os maiores consumidores e inovadores na categoria de máscaras faciais são da Ásia-Pacífico. Correspondendo a 63% do total das vendas, esses também são responsáveis pela grande inovação tecnológica dessa categoria de cosméticos (Morganti et al., 2019; Amorim, 2020). Consumidores asiáticos, já incluíram a aplicação de máscaras faciais como parte regular na rotina de cuidados com a pele (*skincare*); americanos, europeus e brasileiros, estão cada vez mais interessados

em máscaras faciais de cuidados com a pele com diferentes objetivos e benefícios, priorizando produtos naturais para essa finalidade (Morganti et al., 2019).

Em 2019, 54% da população mundial estará urbanizada e estima-se que, em 2050, 70% da população esteja vivendo em vilas e cidades. Assim, a proteção contra poluição do ar e contra raios UV é uma função essencial em todas as categorias cosméticas, de forma que, 67% dos consumidores globais acreditam que passar menos tempo no sol e proteger a pele da poluição com produtos corretos pode ajudá-los a aparecer mais jovens. Agressores como raios UV e micro/nano partículas existentes tanto ao ar livre quanto em ambientes fechados, podem causar quebra de colágeno e elastina, acompanhados por hiperpigmentação, inflamação e desidratação. A quebra de componentes da matriz extracelular (ECM) aumenta linhas finas, rugas e manchas de idade, o que provoca um envelhecimento prematuro da pele. Devido a esses malefícios, os consumidores buscam comprar máscaras faciais com formulações inovadoras, capazes de neutralizar o efeito negativo da fumaça, gás, partículas, metais pesados, ozônio, raios UV, radicais livres que estão presentes principalmente nas áreas urbanizadas (Morganti et al., 2019).

As máscaras faciais representam um grande segmento de prestígio no mercado da beleza, conhecidas como cosméticos acessíveis, facilmente aplicadas sobre a pele e, normalmente, possuem bioativos para adição de novas propriedades. São formuladas em diversas formas, como em creme, emulsão, loção, pomada, serum ou lenço (*sheet*), e fornecem ativos à pele como escopo para melhorar rapidamente a aparência e qualidade. Além de suas variadas formulações, essa categoria é embalada de diferentes maneiras, sendo selecionada e diferenciada para cada tipo de pele, de modo a adequar-se a necessidade do consumidor e melhorá-la (Morganti et al., 2019; Nascimento, 2022).

Na busca da indústria cosmética por inovação vinculada à qualidade científica de produtos com compostos bioativos, as matérias-primas de origem natural e microbianas têm sido utilizadas como uma alternativa eficaz, já que apresentam compostos naturais ativos, garantindo resultados satisfatórios ao consumidor (Nascimento, 2022).

3.6.1 *Tecnologia Sheet Mask*

A máscara facial apresentada em folha geralmente é formulada em tecidos, sendo denominada mundialmente de *sheet face mask*. Trata-se de um produto único e de simples utilização, com ótimos benefícios. É apresentada ao mercado com diferentes inovações, podendo ser produzida usando uma ampla variedade de tecidos, como algodão, hidrogel, CB, CV, entre outros. Os tecidos mais comuns e baratos são fabricados em massa, feitos de fibras grossas, com o modelo mais suave e mais fácil de usar sendo feita de polpa de algodão, enquanto, os mais avançados são produzidos a partir de polímeros naturais, através de processos biotecnológicos sustentáveis (Morganti et al., 2019).

O primeiro componente desse tipo de máscara é o tecido (*sheet*) e, posteriormente, os diferentes ingredientes ativos. O tecido é utilizado para prolongar o contato com a pele, permitindo a liberação e penetração mais fácil e rápida dos componentes, buscando garantir máxima eficácia da máscara na aplicação. A *sheet mask* é ajustada para permanecer no rosto por alguns minutos, com o tempo de permanência na pele variando de acordo com a finalidade e marca. Essas são feitas com cortes no nariz, olhos e boca, permitindo a respiração adequada durante o uso, juntamente a uma boa aderência na face (Morganti et al., 2019). O público busca uma *sheet face mask* que não mantém apenas a aparência jovem, mas que também providencie múltiplos benefícios, complementando ou substituindo seu cuidado com a pele diária.

Para aumentar a aceitação dos consumidores, a aparência estética, fragrância, coloração e produtos químicos são adicionados à formulação do tecido. Nesses produtos, incluem-se os conservantes, uma vez que a presença de água e diversos outros ingredientes são fonte de alimento de micro-organismos (Morganti et al., 2019).

No contexto da busca por soluções *ecofriendly* nesse segmento, tecidos ecológicos são estudados para compor as *sheet masks*. Essa categoria representa o produto mais desafiador presente no mercado, pois tem que sustentar continuamente o interesse dos consumidores. Dessa forma, a conscientização sobre o meio ambiente e sustentabilidade, impacta também em decisões sobre o tipo de

material e ingredientes ativos usados para fazer a formulação e as embalagens (Morganti et al., 2019).

Não há muitas pesquisas relacionando à utilização da CB no desenvolvimento de máscaras faciais, adesivos faciais ou no suporte ativo cosmético quando comparada com estudos sob forma de veículo para liberação de medicamentos. Sobre seu uso, relata-se que a utilização de CB melhora a absorção e transmissão transdérmica de substâncias ativas, proporcionando hidratação, esfoliação e absorção do sebo (Nascimento, 2022). O estudo feito por Annuaikit e colaboradores em 2011, foi um dos primeiros relatos da utilização da CB em máscaras faciais. Eles descreveram o uso da CB como máscara facial como sendo um material confortável que possibilita o aumento da umidade da pele após o uso, além de boa aderência à pele. Já no estudo feito por Nascimento (2022), consta que no mercado japonês a CB já é comercializada em formato de géis, máscaras e adesivos faciais. A CB possui grande potencial para confecção de máscaras faciais, devido sua boa maleabilidade, facilitando a manipulação e aderência a face (Nascimento, 2022).

3.7 Economia Circular

A sustentabilidade tornou-se um objetivo em diferentes setores da indústria, sendo abordada ao longo de processos produtivos e acompanhada do crescimento tecnológico, utilizando os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), relacionados às dimensões econômica, social e ambiental para implementar escolhas mais sustentáveis no processo produtivo. Esses objetivos surgem como alternativa para realizar práticas conscientes e para obter-se processos mais sustentáveis (Bem et al., 2021).

Os consumidores estão prestando cada vez mais atenção ao impacto do produto no meio ambiente. A política europeia já estabeleceu como um de seus objetivos, reduzir o impacto negativo dos resíduos nos ambientes, por consequência, melhorando a saúde pública e garantindo uso de recursos eficientes e naturais. O meio ambiente, sustentabilidade e a conscientização sobre resíduos é algo cada vez mais conhecido e priorizado pela população e, devido a isso, os consumidores têm

prestado mais atenção às alterações ambientais, procurando estabelecimentos e marcas que aplicam a política de desperdício zero durante sua cadeia de produção. Em 2019, os consumidores ainda procuravam por produtos bons e bem embalados, mas parte deles já estava sendo atraída por marcas focadas na redução de resíduos, que utilizavam produtos e materiais recuperados, regenerados e reutilizados (Morganti et al., 2019).

Até meados do século XVIII, a produção de bens de consumo era obtida de forma artesanal ou através da manufatura, tendo uma produção lenta, pouco intensa e com baixo volume. Porém, após a Revolução Industrial, com as inovações tecnológicas, foi possível aumentar a produtividade e o volume total da produção, tornando os impactos ambientais do processo produtivo mais intenso. Desde então, o modelo de produção predominante é a industrialização de forma linear, ou seja, a matéria-prima é extraída, produz-se um bem, esse bem é consumido e descartado. Assim, tem-se uma geração de resíduos sólidos, rejeitos e dissipação de energia ao longo do processo produtivo (Foster; Roberto; Igari, 2016).

Há dois fatores que fomentam e multiplicam os impactos negativos da produção para o meio ambiente, são eles: aumento populacional e intensificação do consumo *per capita*. Se estima que ultrapassa 50% da biocapacidade do planeta, a quantidade de área necessária para suprir todos os bens e serviços ecológicos usados pela atual população mundial. Dessa forma, mesmo com as discrepâncias regionais, contemporaneamente a população mundial necessita de 1,5 planetas Terra para atender suas necessidades (Foster; Roberto; Igari, 2016).

A quantidade de lixo plástico global consumida chegou a 139 milhões de toneladas métricas em 2021, 6 milhões a mais do que em 2019 (Whiteman, 2023). Mas desde 2017 houve um crescimento no interesse pela sustentabilidade, orientado, principalmente, para a área de embalagens e matérias-primas naturais obtidas através de resíduos. Dessa forma, vêm sendo elaboradas diversas estratégias para lidar com o desperdício, como utilizar materiais alternativos para substituir os materiais convencionais, investir no desenvolvimento de plásticos biológicos, melhorar a reciclagem e o processamento de resíduos. Assim, a sustentabilidade tornou-se um motivador fundamental para a indústria e para os

consumidores, desenvolvendo processos e produtos que levam a um menor impacto ambiental (Morganti et al., 2019; Andrade; Tapia; Menegalli, 2011).

A gestão de resíduos sólidos é um desafio que intensifica-se à medida que o modelo linear de produção e consumo aumenta o ritmo de descarte de materiais. De acordo com o relatório *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*, a produção de resíduos sólidos urbanos atinge aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano no mundo e as prospecções feitas são de que, até 2025, a geração de resíduos venha atingir 2,2 bilhões de toneladas por ano (Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). A maior parte desse resíduo é destinado a aterros sanitários, seguida pelos processos de reciclagem, de incineração, depósito em lixões e compostagem. Entretanto, essas formas de destinação dos resíduos são causadoras de diversos impactos ambientais (Foster; Roberto; Igari, 2016).

Os resíduos sólidos apresentam grande diversidade, variando de acordo com sua localização e contexto no qual estão inseridos. Tendo sua definição principalmente pelo seu escopo de gestão (Foster; Roberto; Igari, 2016). A definição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010) para resíduos sólidos é:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Brasil, 2010)

Diversas empresas estão convencidas de que ao se tornarem mais corretas ambientalmente irão melhorar a sua competitividade, gerando um aumento nos lucros. Entretanto, existe um padrão comportamental de certos gestores que apresentam diversos motivos para evitarem o desenvolvimento sustentável em suas operações. Eles temem que tornar a operação sustentável e criar produtos “verdes”, seja um sinônimo de desvantagem, além de argumentarem que a produção sustentável exigirá novos equipamentos e processos. Dessa forma, a maior parte dos gestores lida com a necessidade de tornar o negócio sustentável como uma

responsabilidade social empresarial, devendo ser desvinculada dos objetivos comerciais (Empreendedorismo Start & Go, 2018).

Uma das soluções apresentada por especialistas em atividades ambientais e políticas públicas é aumentar e endurecer a regulação, uma vez que medidas voluntárias dificilmente serão suficientes para gerar mudanças efetivas, pois alguns executivos agem como se tivessem que escolher entre os benefícios sociais ou processos sustentáveis e custo financeiro que essas decisões interferem. Porém, um estudo conduzido em empresas de grande dimensão, mostrou que a sustentabilidade é uma fonte de inovação organizacional e tecnológica, gerando tanto receita e lucro. Assim, os custos de uma empresa ambientalmente correta são inferiores, uma vez que utilizam recursos de formas mais eficientes (Empreendedorismo Start & Go, 2018). Estudos surgem à procura de novos materiais que reduzam o impacto ambiental, utilizando matérias-primas, processos e produtos amigáveis, mas que atendam as especificações tecnológicas com qualidade e respeitem as legislações ambientais (Andrade; Tapia; Menegalli, 2011).

A Economia Circular é um conceito estratégico voltado para a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de energia e materiais, promovendo a substituição da economia linear para um novo fluxo circular restauração e renovação, sendo um processo integrado, dissociando o crescimento econômico e o aumento no consumo de recursos (Empreendedorismo Start & Go, 2018). Ela é inspirada nos mecanismos do ecossistema natural, que geram recurso a longo prazo através de um processo contínuo de reabsorção e reciclagem, gerando um modelo econômico reorganizado. Assim, trata-se de um processo dinâmico que exige compatibilidade técnica e econômica, porém requer enquadramento social e institucional, como incentivos e valores. Esse modelo visa uma ação mais ampla, indo desde um redesenho de processos, produtos e novos modelos de negócio até a otimização no uso de recursos, fazendo com que haja uma circulação dos produtos, componentes e materiais durante os ciclos. Ele busca desenvolver novos produtos e serviços economicamente viáveis e ecologicamente eficientes, partindo da minimização na extração de recursos e maximização da reutilização, aumentando a eficiência e desenvolvimento nos novos modelos de negócio (Empreendedorismo Start & Go, 2018).

A diferença entre a Economia Circular e Linear consiste no fato de que na circular, os produtos, serviços e processos são projetados e concebidos de forma a ter um ciclo de vida mais duradouro, com possibilidade de receber reparos, atualizações e restaurações. Já na produção linear, há um descarte precoce e acelerado dos bens consumidos e todas as consequências provenientes dessa prática. Além do *design* de produtos e serviços que devem levar em consideração seu ciclo de vida que ao se encerrar, será um recurso produtivo para outras indústrias. Assim, devido à sua necessidade de abranger todos os setores do processo produtivo, a Economia Circular requer uma extensa rede de relações e colaborações entre as companhias dos mais diversos setores, devendo haver portanto mudanças na educação, valores e comportamentos dos consumidores e produtores para que ocorra de forma efetiva (Foster; Roberto; Igari, 2016).

Esse novo modelo é elaborado devido ao aumento populacional, e crescimento pela procura e pressão nos recursos naturais, havendo a necessidade de que as sociedades modernas avancem para um sistema mais sustentável, economicamente mais “verde”, assegurando o desenvolvimento econômico juntamente a melhoria nas condições de vida e emprego. Isso atua em contrapartida ao paradigma vigente do modelo linear, que apresenta preocupações com a disponibilidade de recursos (Foster; Roberto; Igari, 2016). O sistema linear expõe empresas e países a riscos devido à volatilidade dos preços dos recursos e às interrupções de fornecimento (Empreendedorismo Start & Go, 2018).

As formas atuais de destinação não são capazes de solucionar satisfatoriamente os problemas ambientais vinculados aos resíduos sólidos, sendo necessário encontrar alternativas não apenas para a disposição final, mas opções que considerem o problema de forma sistêmica, englobando todo o processo produtivo. Dessa forma, a Economia Circular tem por objetivo a reestruturar o modelo de produção, reinserindo os materiais no ciclo industrial, visando a redução de depósito no ambiente, evitando conseqüentemente impactos ambientais negativos (Foster; Roberto; Igari, 2016).

A Economia Circular divide com a Ecologia Industrial, a ideia de reformar o sistema econômico linear e unidirecional de extração, produção e deposição,

reduzindo conseqüentemente o uso de recursos naturais e a produção de resíduos. A produção passa a ser concebida e reformulada de maneira circular, no qual, os recursos naturais são obtidos inicialmente do meio ambiente, porém posteriormente tornam-se ativos produtivos reciclados na cadeia de valor (Foster; Roberto; Igari, 2016).

A reciclagem pouco reduz a disposição dos resíduos ao final da cadeia produtiva. Quando ela não é projetada *a priori*, na fase de pós-uso, resulta em reciclados com menor qualidade e valor quando comparado ao produto original (*downcycling*). A ideia da Economia Circular aplicada em projetos de berço a berço (*cradle to cradle*) consiste em utilizar produtos e sistemas industriais capazes de manter a qualidade e produtividade dos materiais nos ciclos de vidas subsequentes (Foster; Roberto; Igari, 2016).

O modelo da Economia Circular promove o fim da sociedade do descarte, com a renúncia do padrão atual de “fazer, usar, descartar”, promovendo uma alternativa de organizar a produção, realizando a transição para uma abordagem de “reúso e reciclagem”. Sendo de grande importância o fechamento de cadeias produtivas, uma vez que apesar do aumento de ecoeficiência, não há disponibilidade suficiente de recursos não-renováveis, além de que, a capacidade regenerativa de recursos renováveis é inferior à taxa de extração desses recursos, não sendo o suficiente para atender a atual demanda humana (Foster; Roberto; Igari, 2016).

O fechamento de ciclos seguindo o modelo da Economia Circular já está estabelecido em diversos processos produtivos, estabelecendo-se ao poucos como um modelo de gestão ambiental. Porém, a aplicação desse modelo para gestão de resíduos depende da avaliação da eficiência econômica e ambiental das experiências documentadas, construindo como uma forma de parâmetro para comparação com outras soluções e gestão. Esse parâmetro permeia por todas as atividades produtivas, passando pelos processos, serviços e produtos, que devem ser elaborados de maneira mais duráveis, reparáveis e atualizáveis, permitindo uma remanufatura e reciclagem pela mesma indústria ou por outras (Foster; Roberto; Igari, 2016).

O novo modelo de circuitos fechados é catalisado pela inovação durante toda cadeia de valor, defendendo a solução alternativa para minimizar o consumo de materiais, evitando a perda de energia. A economia “mais circular” é um conceito operacional caminhando para a mudança de paradigma, tendo por objetivo confrontar os problemas ambientais e sociais decorrente do atual modelo econômico e na globalização de mercados que baseiam-se na linearidade de “extração, produção e eliminação” (Empreendedorismo Start & Go, 2018).

Esse modelo circular fornece benefícios a curto prazo, com oportunidades estratégicas de longo prazo frente a desafios. As medidas de prevenção de resíduos, reutilização e outras ações “circulares” podem gerar poupanças líquidas de aproximadamente 600 mil milhões de euros a empresas da união europeia, ou seja, cerca de 8% do total volume dos negócios anual, além de criar 170 mil empregos diretos no setor da gestão de resíduos, promovendo uma redução de 2 a 4% das emissões totais anuais de gases de efeito estufa. Dessa forma, a economia circular atua como um catalisador para a competitividade e inovação (Empreendedorismo Start & Go, 2018). Nesse contexto, a eficiência no uso de recursos e otimização de processos podem gerar receitas adicionais, derivadas da melhoria dos produtos, ou pela criação de novos produtos ou negócios. Empresas inteligentes tratam a sustentabilidade como uma nova fronteira de inovação, em que a busca por sustentabilidade começa a transformar o cenário competitivo, forçando empresas a enfrentar produtos, tecnologias, processos e negócios de outra forma. A inovação é a chave do progresso. A sustentabilidade deve ser uma meta, sendo um diferencial entre as empresas concorrentes, gerando vantagem competitiva de grande valia, pois faz parte do desenvolvimento (Empreendedorismo Start & Go, 2018).

3.7.1 Economia Circular em Sala de Aula

A economia circular está cada vez mais presente no cotidiano, sendo abordada pelas grandes empresas que movimentam a economia nacional e internacional. Entretanto, é necessário que esse conhecimento também seja abordado e instigado pelos futuros profissionais que estão prestes a ingressar no mercado de trabalho. Esse conhecimento pode contribuir para um modelo de

mercado que se preocupa com meio ambiente e com a sociedade, gerando empregos e promovendo o ideal de “desperdício zero”, atuando a favor da inovação.

Segundo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) , os alunos do ensino médio estão na fase final da educação básica. Nela, existe a preparação básica para o trabalho e a cidadania do estudante, de modo a ser capaz de se adaptar às condições de ocupação, sendo ensinado a compreender os fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, vinculando a teoria com a prática durante o ensino das disciplinas. Como é de dever da escola ensinar sobre o processo produtivo e preparar os estudantes para o mercado de trabalho, tendo em vista a ampla aplicação da economia circular nos mais diversos setores, faz-se necessário que desde cedo os jovens aprendam sobre o valor e a importância desse modelo econômico, compreendendo e gerando pensamentos e soluções que promovam valores de mercado (Brasil, 2021).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é uma normativa que define as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver durante os anos na Educação Básica. É um documento exclusivo da educação escolar segundo a LDB, Lei nº9.394/1996, visando a formação humana integral e construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva. A BNCC para a etapa do Ensino Médio, busca garantir que os estudantes sejam protagonistas do seu processo de escolarização, formando jovens como sujeitos críticos, autônomos e responsáveis, com a escola sendo responsável pelo enfrentamento de novos desafios da contemporaneidade no âmbito social, econômico e ambiental, tomando decisões éticas e fundamentadas. Além de apresentar aos alunos o mundo como um ambiente para investigar e intervir quanto aos seus aspectos políticos, sociais, produtivos, ambientais e culturais, preparando-os para resolver desafios, resolvendo os problemas de forma criativa (Brasil, Ministério da Educação, 2018).

A Economia Circular pode ser ensinada em todas as escolas para a etapa do Ensino Médio uma vez que, dentro do itinerário integrado na área de ciências humanas e sociais aplicadas, a formação técnica é aprofundada em conhecimentos estruturantes com aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalhos, unindo o currículo às relações sociais, modelos econômicos, historicidade

do universo, homem e natureza. Além da possibilidade de oferta dos itinerários formativos, com ênfase no empreendedorismo, promovendo o estudo sobre diferentes áreas para a formação de organizações voltadas ao desenvolvimento de produtos ou a prestação de serviços inovadores, empregando o uso de tecnologias (Brasil, Ministério da Educação, 2018).

Já no Ensino Médio Integrado ao Curso Técnico em Química oferecido pelo Instituto Federal de Brasília no *Campus* Gama, localizado no endereço: Lote 01, DF 480, Setor de Múltiplas Atividades. Gama – DF, CEP: 72429-005, aprovado pelo Ministério da Educação conforme a Resolução N.º034/2016/CS-IFB (Araújo, 2016), uma das habilidades profissionais desenvolvidas é realizar tratamentos prévios e complementares de produtos e resíduos, além de desempenhar atividades buscando qualidade, controle de custo e segurança.

No currículo do curso, existe a disciplina de Tratamento de Água, Efluentes e Resíduos, matéria ministrada para os alunos da 2ª série (Instituto Federal de Brasília *Campus* Gama, 2020). Essa disciplina possui uma carga horária de 160 horas/aula e é elaborada conforme as seguintes habilidades: conhecer a importância sanitária e econômica do abastecimento de água; entender tecnologias de tratamento de água e efluentes urbanos e industriais; conhecer os padrões de qualidade da água dos mananciais, padrões de potabilidade da água para consumo humano e padrões de lançamento de esgoto; conhecer a importância dos sistemas de esgoto, tanto no aspecto sanitário, ambiental e econômico. Além dessas, estão inclusas como bases tecnológicas da matéria a caracterização, classificação e propriedades físico-químicas de resíduos sólidos, tal como, gerenciamento integrado, processos de tratamento, ensino de técnicas de minimização, reciclagem, recuperação e reutilização de resíduos sólidos (Instituto Federal de Brasília *Campus* Gama, 2020). Esse componente curricular é essencial para o trabalho de um profissional da química, uma vez que promove um conhecimento sobre como manipular e tratar com resíduos, que é algo em contínua produção dentro das práticas laboratoriais, independente de ser numa multinacional ou no laboratório de uma instituição acadêmica. Portanto, os alunos devem ser qualificados para entender os resíduos sólidos que estão sendo formados e como tratá-los de forma adequada, com menor custo e promovendo uma redução de desperdício. De modo geral, as disciplinas

ministradas para o nível técnico no IFB tem por objetivo gerar profissionais prontos e aptos a atuarem diretamente no mercado de trabalho, em especial nas mais diversas empresas dos ramos químico e farmacêutico localizadas em Brasília e na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE) (Instituto Federal de Brasília Campus Gama, 2020).

Dessa forma, é indispensável a abordagem da Economia Circular durante a formação do Técnico em Química, mediante o crescimento dessa linha produtiva. Esse conteúdo pode ser inserido juntamente às bases tecnológicas da disciplina mencionada previamente, isso devido aos objetivos comuns de tratamento de resíduos sólidos, uma vez que a Economia Circular está presente nos mais diversos setores.

Desse modo, ensinar sobre esse ciclo produtivo para futuros profissionais estando eles no Ensino Médio tradicional ou realizando o curso técnico, faz com que esses adquiram conhecimento prévio vinculado à prática, fazendo com que a nova geração de profissionais tenham contato com as ideias de inovação, reutilização e tecnologia da Economia Circular, familiarizando-os com as práticas para que ao ingressarem no mercado de trabalho se sintam aptos e qualificados, oferecendo uma mínima bagagem necessária para adentrar ao sistema atual de produção linear que vêm aos poucos sendo substituído pelo modelo de produção circular.

4 PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Materiais, Reagentes E Equipamentos

Os materiais, reagentes e equipamentos utilizados no trabalho estão listados nos quadros 1, 2 e 3, respectivamente.

Quadro 1 - Lista de materiais utilizados nas análises.

MATERIAIS		
Vidro de Relógio	Placa de Petri	Papel manteiga
Béquer de 150 mL	Tubo Falcon de 50 mL	Tubos de pressão
Béquer de 250 mL	Cadinhos de porcelana	Bastão de PVC
Vials de 2 mL	Seringa descartável	Filtro descartável (0,22 μ m)

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Quadro 2 - Lista de reagentes e soluções utilizados nas análises.

Reagentes e Soluções		
Água Milli Q	Ácido Sulfúrico 72%	Hidróxido de Potássio
Hidróxido de Sódio 1 M	Ácido Sulfúrico 0,05 mM	

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Quadro 3 - Lista de equipamentos utilizados nas análises.

Equipamentos		
Balança Analítica (Mettler Toledo)	Estufa com circulação e renovação de ar (Marconi)	Centrífuga (Hermle)
Balança Analítica (Shimadzu)	Moínho Ultracentrífugo (Retsch)	Cromatógrafo Líquido de Ultra Eficiência (UHPLC) (Agilent)
Microscópio Óptico (ZEISS Axio Imager A2)	Forno tipo Mufla Microprocessado (Quimis)	Cromatógrafo Líquido de Troca Iônica (HPAEC) com Detector Eletroquímico (PAD) (Dionex ICS-5000+Thermo Scientific)
Câmera digital (Axiocam ERC 5s)	Autoclave MLS-3751L-PA (Panasonic)	Espectrofotômetro no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (PerkinElmer)

Fonte: elaborado pela autora (2023).

4.2 Procedimento Experimental

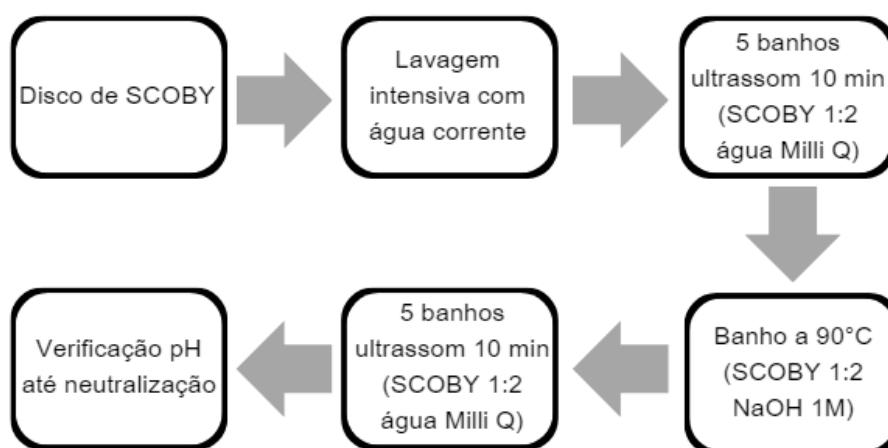
A matéria-prima utilizada no trabalho foi o resíduo industrial de SCOBY cedido pelo Curso Superior de Tecnologia (CST) em Alimentos do Instituto Federal de Brasília (IFB), *Campus* Gama. O SCOBY foi sintetizado por meio de fermentação estática e utilização de chá verde e açúcar como substratos, feita em potes de vidro de 3 L fechados com papel toalha e elástico, originando discos de \pm 14 cm de diâmetro e 0,5 cm de altura. Foram analisados SCOBYs de duas versões distintas de kombucha: uma produzida na proporção de 1:1 p/p (chá verde: açúcar); e a outra, na proporção de 1:2 p/p (chá verde: açúcar). O presente trabalho não avaliou as etapas de fermentação, mantendo o foco no material residual do processo. Para as análises, as amostras foram descongeladas à temperatura ambiente.

4.2.1 Purificação do SCOBY

A purificação empregada nos SCOBYs consistiu, basicamente, na remoção de componentes, como proteínas e açúcares. As CB foram purificadas de acordo com o procedimento descrito por Amorim et al. (2020) juntamente à metodologia

adaptada de Rozenberga et al. (2016), feitas da seguinte forma: primeiramente, o SCOBY foi lavado intensivamente com água corrente e depois com água Milli Q em banho ultrassônico da marca Branson 5 vezes por 10 minutos na proporção de 1:2 (SCOBY: água Milli Q). Posteriormente, foi feita a imersão das membranas em solução de NaOH 1 M a 90 °C, durante 60 minutos para o Lote 1 e 20 minutos para os Lote 2 e 3. Em seguida, foram lavadas, novamente, 5 vezes por 10 minutos em banho ultrassônico com água Milli Q na proporção de 1:2 (SCOBY: água Milli Q). As lavagens foram realizadas até a obtenção de pH neutro. O procedimento de purificação está descrito no fluxograma da Figura 10 e a diferença entre os lotes utilizados está presente no Quadro 4.

Figura 10 - Fluxograma da etapa de purificação do SCOBY



Fonte: elaborado pela autora (2023)

Quadro 4 - Dados de cada lote e tempo de tratamento para os SCOBY obtidos.

LOTE	Concentração	Purificação NaOH 1M (90 °C)
1	15 g chá verde : 30 g açúcar	60 minutos
2	15 g chá verde : 30 g açúcar	20 minutos
3	15 g chá verde : 15 g açúcar	20 minutos

Fonte: elaborado pela autora (2023).

4.2.2 Caracterização do SCOPY

4.2.2.1 Capacidade de retenção de água (CRA)

As membranas úmidas de CB foram pesadas em balança analítica e secas em estufa com circulação e renovação de ar da marca Marconi no Laboratório de Química de Biomassa (LQB) da Embrapa Agroenergia a 60 °C para remoção da água, até atingir peso constante. A pesagem foi feita na balança analítica da marca Mettler Toledo. Para determinar o percentual da capacidade de retenção de água (CRA), utilizou-se a Equação 1.

$$CRA (\%) = \left(\frac{\text{Média dos pesos úmidos} - \text{Média dos pesos secos}}{\text{Média dos pesos úmidos}} \right) \times 100\% \quad \text{Eq. 1}$$

4.2.2.2 Porosidade

Para determinação da porosidade da superfície da CB, utilizou-se a Equação 2 (DING et al., 2016), em que W_w e W_d são o peso da membrana úmida e seca, respectivamente; d é a densidade da água (1 g.cm^{-3}); D é a espessura da membrana (cm); e A é a área da membrana (cm^2).

$$\text{Porosidade} = \left(\frac{W_w - W_d}{d \times D \times A} \right) \times 100\% \quad \text{Eq. 2}$$

4.2.2.3 Trituração do SCOPY

As CB purificadas foram colocadas em placas de Petri e secas em estufa com circulação e renovação de ar da marca Marconi no Laboratório LQB à 60 °C por 24 horas. Após secagem, foi realizada a trituração do SCOPY no moinho ultracentrífugo da marca Retsch, para obtenção de um pó homogêneo, sendo posteriormente armazenados em tubos falcon para as demais caracterizações.

4.2.2.4 **Determinação Matéria Seca a 105 °C (MS)**

A determinação de matéria seca foi realizada de acordo com a norma TP-510-48087 a partir do *Laboratory Analytical Procedure* (LAP) da *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Os cadinhos de porcelana foram secos em estufa a 105 °C por aproximadamente 2 h. Posteriormente, foram retirados e levados ao dessecador, por aproximadamente 1h, para resfriar. Após isso, foram pesados em balança analítica da Shimadzu (precisão de 0,0001g) registrando a massa inicial do cadinho ($Cadinho_{inicial}$). Uma quantidade de aproximadamente 0,3 g de amostra foi transferida para esse cadinho e pesada em balança analítica a fim de se obter a massa da amostra ($Massa_{amostra}$).

As amostras foram secas em estufa a 105 °C durante toda a noite, de onde foram retiradas e resfriadas por, no mínimo 1 h, no dessecador. Em sequência, foram pesadas em balança analítica da marca Shimadzu, registrando a massa do cadinho com o resíduo de matéria seca ($Cadinho_{MS}$).

$$\%MS = \left(\frac{(Cadinho\ MS - Cadinho\ inicial)}{Massa\ amostra} \right) \times 100\% \quad \text{Eq. 3}$$

4.2.2.5 **Determinação Cinzas (C)**

Utilizando o protocolo da *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) e da norma TP-510-42622 na determinação do teor de cinzas, a amostra foi calcinada em forno tipo mufla microprocessado da marca Quimis no LQB. Foi realizado o aproveitamento do cadinho com resíduo de matéria seca proveniente da determinação de matéria seca (etapa 5.2.5), do qual obtiveram-se os valores de $Cadinho_{inicial}$ e $massa_{amostra}$. Neste caso, inicialmente, o cadinho com a amostra foi colocado em forno tipo mufla microprocessado da marca Quimis, empregando a programação de rampa de aquecimento, utilizando o programa n°1 da pré-conFIGuração para queimar as amostras:

- Elevação a temperatura a 105°C e mantê-la por 15 minutos;

- Elevação para 300 °C a 10 °C/min;
- Manutenção a 300 °C por 60 minutos;
- Elevação a 600 °C a 5 °C/min;
- Manutenção a 600 °C por 240 minutos;
- Permissão que a temperatura desça até 105 °C;
- Manutenção a 105 °C até que as amostras sejam retiradas;

Ao serem retirados da mufla, as temperaturas dos cadinhos foram aferidas a fim de saber o próximo passo: se os cadinhos estivessem a 105 °C ou acima, eram transferidos para o dessecador para serem resfriados por no mínimo 1h; mas se a temperatura estivesse abaixo de 105 °C, então os cadinhos deveriam ser transferidos para estufa com circulação de ar a 105 °C por no mínimo 2 h e o processo repetido. A massa do cadinho foi, então, pesada e registrada como resíduo de cinzas ($Cadinho_{cinzas}$).

O teor de cinzas (%c) foi calculado através da Equação 4 descrita a seguir:

$$\% c = \left(\frac{(Cadinho\ cinzas - Cadinho\ inicial)}{massa\ amostra} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

Os resultados foram expressos em base seca (x_{bs}), tendo como base a correção da matéria seca a 105 °C. Para isso, o resultado (x) foi multiplicado por 100 e dividido pela porcentagem de matéria seca (%MS), de acordo com a fórmula genérica descrita na Equação 5.

$$x_{bs} = \frac{x \times 100}{\% MS} \quad \text{Eq. 5}$$

4.2.2.6 Determinação de Carboidratos Estruturais pelo IC e UHPLC

Para avaliar a composição e determinar os carboidratos totais seguiu-se os protocolos do (NREL) e da norma TP-510-42618 do *Laboratory Analytical Procedures* (LAP).

Foram pesados $0,300 \pm 0,001$ g das amostras em balança analítica da marca Shimadzu, registradas como massa da amostra ($Massa_{amostra}$). As amostras foram transferidas para um tubo de pressão, nos quais adicionaram-se 3 mL de ácido sulfúrico 72%. Os tubos foram submetidos a banho-maria a $30 \pm 3^\circ\text{C}$ por 60 minutos, com agitação a cada 10 minutos usando bastão de PVC, sem remover as amostras do banho. Passado o tempo, as amostras foram retiradas e adicionaram-se 84 mL de água Milli-Q em cada tubo, com agitação para homogeneizar a solução. Em seguida, os tubos foram colocados na autoclave modelo MLS-3751L-PA da marca Panasonic por 60 minutos a 121°C . Terminado o tempo, os tubos foram resfriados em água à temperatura ambiente.

Posteriormente, as alíquotas das amostras foram transferidas para *vials* identificados para leitura no cromatógrafo líquido de ultra eficiência (UHPLC) da marca Shimadzu, com auxílio de uma seringa descartável e filtro Millipore de $0,22\ \mu\text{m}$, coletando aproximadamente 1,5 mL. Finalizada a transferência, cada *vial* foi fechado com tampa e armazenado na geladeira para posterior análise.

Também foram coletados, aproximadamente, 5 mL de cada amostra em tubos falcon de 50 mL, sendo adicionado carbonato de cálcio (CaCO_3) em cada tubo para neutralizar a solução até observar que não houve mais desprendimento de gás. Após a liberação completa do gás, os tubos foram colocados na centrífuga da marca Hermle durante 5 minutos, com a centrifugação sendo realizada duas vezes para maior depósito do sólido. Posteriormente, alíquotas das amostras neutralizadas foram transferidas para *vials* de vidro com auxílio da seringa e filtro ($0,22\ \mu\text{m}$) descartável, fechando com tampa e armazenado sob refrigeração até a execução da análise no cromatógrafo líquido de troca iônica (IC) da marca Dionex ICS-5000+Thermo Scientific.

4.2.2.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Para a análise foram utilizadas amostras secas em pó e amostras úmidas, ambas em temperatura ambiente. Foram utilizadas 32 varreduras com resolução $4\ \text{cm}^{-1}$, na faixa de 4000 a $400\ \text{cm}^{-1}$, em um espectrofotômetro de infravermelho com

transformada de Fourier da marca PerkinElmer e modelo Spectrum Two (Amorim, 2020; Nascimento, 2022). O espectro foi exportado em forma de planilha através do programa Excel e o gráfico foi plotado através do software SciDAVIS (scidavis-1.D5-win32-setup-r5.exe).

4.2.2.8 *Microscopia Óptica*

Para a leitura microscópica, utilizou-se o equipamento ZEISS Axio imager A2, com a câmera AxioCam Erc 5s acoplada no Laboratório de Processos Químicos (LPQ) localizado na Embrapa Agroenergia. A resolução da imagem digital foi extraída do software: Axio vision Rel 4.8.

4.2.3 Confeção do protótipo de Biomáscara

As películas de SCOBY foram purificadas conforme o método 5.1, limpas através de seguidos banhos com água Milli Q e com solução 1 M de NaOH para eliminação das células retidas. Para o protótipo, um dos discos de CB foi imerso em solução de peróxido de hidrogênio 50%. Posteriormente, foram deixadas durante 24h em temperatura ambiente para evaporar a água residual. As películas foram moldadas e cortadas no formato do rosto, com buraco nos olhos, boca e nariz, tal como as máscaras já existentes no mercado, resultando no protótipo da biomáscara.

4.2.4. Coleta de dados fabricantes de kombucha no Distrito Federal

Para a obtenção de informações sobre a produção de kombucha e consequentemente de SCOBY das empresas fabricantes no DF, elaborou-se um questionário com 6 perguntas que foram enviadas através dos meios de comunicação (e-mail, whatsapp e instagram). Sendo primeiramente introduzido informações pessoais e do projeto, para sequencialmente realizar as perguntas.

Os questionamentos realizados foram: quantos litros de kombucha em média são fabricados mensalmente; se a venda é feita apenas no DF; quanto de SCOBY é retirado para próxima fermentação e quanto é descartado; o que é feito com o SCOBY residual; caso houvesse opção de reaproveitamento se há interesse em doar/vender o material.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi caracterizado o SCOBY residual da kombucha, produzido pelo curso de alimentos no IFB obtido através de doação (Figura 11), para avaliar seu uso como tecido de *sheet face mask*. O intuito da escolha da utilização de um material residual para formulação da máscara facial é promover valor a um descarte através da reinserção no ciclo industrial, aplicando a ideia da economia circular dentro da comunidade local. A celulose foi selecionada por destacar-se na utilização como forma de suporte, atuando como veículo na liberação de compostos ativos. Por possuir estrutura porosa e boa permeabilidade, torna-se um material interessante em processos de adsorção e dessorção de substâncias, podendo então atuar como máscara facial (Amorim, 2020; Nascimento, 2022).

Figura 11 - KC em processo fermentativo com sua CB.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

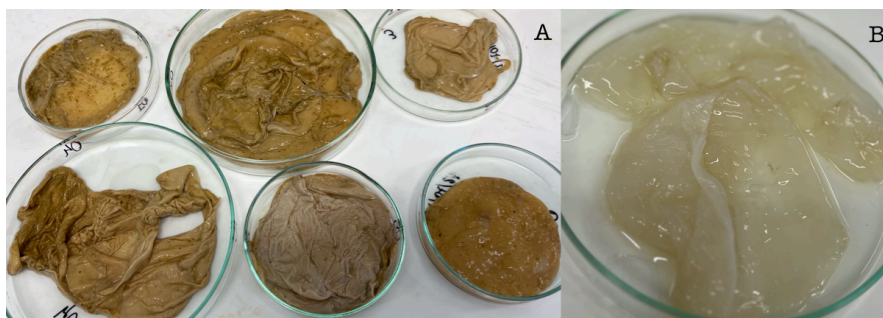
O SCOBY obtido foi doado predominantemente congelado, alguns pedaços de membrana estavam em temperatura ambiente, pois foram retirados com menos de 24 h. Esse era recolhido e armazenado uma vez ao mês e quando não se tinha um destino rápido, era congelado e armazenado para evitar alterações, uma vez que se desconhecia o material. Para a realização das análises, a amostra era descongelada e mantida em temperatura ambiente por no mínimo 24 horas.

Não houve discussão sobre formas de otimizar a fermentação do SCOBY, uma vez que o objetivo deste trabalho é o aproveitamento do resíduo industrial. Dessa forma, não houve controle da espessura, formato, concentração e temperatura utilizada na fermentação. O resíduo utilizado é obtido a partir dos parâmetros convencionais utilizados na produção, tais como, cultura estática, chá verde como extrato, sacarose como substrato, temperatura de fermentação entre 24 e 28 °C, pH entre 3 e 4.

5.1 Purificação do SCOBY

O SCOBY em sua forma original após ser retirado da Kombucha apresentou coloração marrom, devido às melanoidinas presentes na bebida, sendo resultado da reação não enzimática entre aminoácidos e açúcares redutores que são provenientes dos insumos utilizados no processo de fermentação (Dimas et al., 2017). Tal coloração pode ser observada na Figura 12 A, que apresenta o SCOBY antes da etapa de purificação e na Figura 12 B após a purificação.

Figura 12 - SCOBY íntegro (A) e após etapa de purificação (B).



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Há várias metodologias para purificação e aproveitamento da celulose bacteriana, tal como tratamento alcalino, ácido e com solventes específicos. O tratamento com hidróxido de sódio aquoso é o método mais utilizado para purificação de celulose. Ele auxilia na remoção de taninos e polifenóis, bem como células de leveduras, proteínas e açúcares que podem estar presentes na estrutura do SCOBY, sendo esses considerados impurezas para utilização posterior da sua CB (Rhim; Ng, 2007; Amarasekara, Wang, Grandy, 2020).

Um estudo realizado por Amarasekara et al. (2020), avaliou 4 diferentes metodologias de purificação do SCOBY, todas utilizando o hidróxido de sódio 1 M na primeira etapa para remoção de impurezas, sendo alterado apenas a temperatura (23 °C e 90 °C). Posteriormente, foram avaliadas adições de NaOCl e H₂O₂ para ação de branqueamento do SCOBY. Foi verificada uma maior eficiência na remoção de impurezas ao executar o banho de 90 °C durante 1 hora, sendo essas condições aplicadas no Lote 1. Já para o Lote 2 e 3, foram realizadas modificações no método de Amorim (2020) e de Nascimento (2022), sendo aplicada a purificação com NaOH 1 M durante 20 minutos. Em ambos os métodos, foi observada a limpeza na superfície da membrana, adquirindo uma coloração mais esbranquiçada após o banho com NaOH 1 M à 90 °C e lavagens com água Milli Q até a neutralização do pH.

Segundo Dima et al. (2017), a solução NaOH 1 M promove, aproximadamente, 85% de purificação, já aquelas com concentrações maiores do que 4 M garantem quase 97% de remoção das impurezas do SCOBY. Entretanto, como o presente estudo faz uso da CB para aplicação facial optou-se por utilizar o hidróxido de sódio 1 M, já que esse garante uma boa eliminação de impurezas em uma concentração menor. Dessa forma, a neutralização da membrana torna-se mais simples, utilizando-se menos tempo e água para tal, acarretando numa redução de custos. É essencial realizar a purificação com materiais de baixo custo, que promovam uma eliminação eficaz das impurezas e que não sejam tão agressivos, isso porque o trabalho é feito com um resíduo, tendo por objetivo a reinserção no mercado, e caso seu tratamento seja complexo, ambientalmente agressivo e de alto custo, não se torna atrativo comercialmente para as empresas, trabalhar com esse resíduo.

Com o intuito de obter um melhor resultado nas análises e caracterizações, a amostra foi processada, homogeneizada e separada em lotes, agrupando materiais de mesma concentração e purificação.

5.2 Capacidade de retenção de água (CRA)

A CRA foi determinada para as diferentes membranas de SCOBY utilizando-se a Eq. 1, realizando uma triplicata para cada lote. Os resultados da CRA (%) estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade de retenção de água (CRA) das membranas de SCOBY.

Lote Membrana CB	Massa Úmida (%) $\bar{x} \pm s$	Massa Seca (%) $\bar{x} \pm s$	CRA (%)
1	19,23 ± 4,40	0,52 ± 0,22	97,64
2	26,81 ± 4,09	0,41 ± 0,06	98,44
3	26,27 ± 13,47	0,29 ± 0,03	98,90

\bar{x} = média simples, s = desvio padrão.

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

A Tabela 2 evidencia uma redução na massa devido a perda de água após secagem na estufa (60 °C), que pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 - SCOBY úmido purificado e após secagem em estufa a 60 °C.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para os SCOBYs utilizados, os resultados obtidos confirmam que as membranas de CB possuem uma elevada capacidade de retenção de água. As membranas do Lote 1 apresentaram um CRA de $97,64 \pm 0,73\%$, as membranas do Lote 2 resultaram em uma CRA de $98,44 \pm 0,20\%$ e as do Lote 3 tiveram um CRA de $98,90 \pm 0,46\%$. Resultando em uma média de $98,33 \pm 0,46\%$ de capacidade de retenção de água, demonstrando que a membrana de CB apresenta uma alta porcentagem de retenção de água. Esse valor médio obtido no presente trabalho está de acordo com o valor obtido por Amorim (2019) de 98,42%, valor também confirmado por Nascimento (2021) que obteve uma CRA 98,42%, e por Paludo (2021) com um valor de 98,91% de valor de CRA.

Os elevados valores de CRA para as amostras de CB são justificadas pela abundante presença de grupos hidroxilas na estrutura do SCOBY (Campano et al., 2015), capazes de realizar ligações de hidrogênio com a água. Essa é uma propriedade importante para o desenvolvimento e formulação de *sheet face mask*, pois permite que haja um aumento da hidratação da pele quando em contato com a água presente na estrutura, além de permitir uma fácil inserção de compostos ativos na membrana de CB.

5.3 Porosidade

A grande quantidade de água presente na CB evidenciada pela CRA é explicada por sua elevada porosidade, juntamente a presença de muitas hidroxilas em sua estrutura, retendo água através das ligações hidrogênio (Campano et al., 2015). A presença abundante de água é importante, pois é uma característica ideal no desenvolvimento de produtos cosméticos, uma vez que a água é responsável pela hidratação da pele, facilitando os processos de impregnação de substâncias, possibilitando a transferência de compostos ativos para a pele (Bianchet et al., 2020). Dessa forma, a porosidade das membranas de CB foi avaliada e os resultados estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Porosidade das membranas de CB de diferentes lotes.

Lote Membrana CB	Porosidade (%) $\bar{x} \pm s$
1	72,64 ± 0,52
2	76,93 ± 0,41
3	82,80 ± 0,38

\bar{x} = média simples, s = desvio padrão.

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

Através dos valores da Tabela 3, obtidos por meio de uma análise em triplicata de cada lote, observa-se um alto grau de porosidade nas membranas de CB, com um valor médio obtido de $77,46 \pm 0,44\%$. Essa média elevada é importante para o ramo das máscaras faciais, uma vez que é necessário que os materiais incorporem na estrutura, através de processos de absorção e/ou adsorção, os compostos ativos, ou seja, que esses compostos adentrem e sejam retidos na membrana. O valor obtido está de acordo com o resultado encontrado por Nascimento (2021) de $76,55 \pm 0,51\%$, e por Amorim (2010) de $76,7 \pm 0,5\%$.

Considerando que porosidade varia de acordo com a fermentação empregada no processo de CB, nesse estudo, pode-se notar que no Lote 3 continha uma menor quantidade de açúcar, apresentou uma porosidade e uma CRA superior aos demais

lotes que apresentaram uma mesma concentração de extrato e substrato.

A variação também depende da espessura da membrana obtida. Sendo observado que, as CB com maior espessura, apresentaram uma diminuição na porosidade. Isso ocorre devido ao aumento na concentração de fibras, formando uma rede tridimensional mais densa, gerando membranas mais espessas (Adepu et al., 2020). O estudo de Galdino e colaboradores (2020), demonstrou que há uma redução de porosidade à medida que se aumenta o rendimento de produção das membranas, ou seja, com o aumento da espessura há uma diminuição no volume dos poros. Essa observação é justificada, pela forma com que ocorre o crescimento da CB, que ao longo do tempo, as camadas são formadas uma sobre as outras e, assim, há um aumento de espessura, mas isso faz com que não haja oxigênio dentro da membrana, interrompendo o seu crescimento.

Além disso, Amarasekara et al. (2018) avaliou o impacto do processo de purificação por NaOH nas amostras, e identificou um maior ganho de peso úmido das amostras após as lavagens, isso se dá em virtude de uma possível abertura dos poros da estrutura da celulose, fazendo com que seja absorvida mais água e os íons de sódio.

5.4 Composição do SCOPY

Não foram realizadas análises com SCOPY impuro, uma vez que não era o escopo deste trabalho. Além disso, segundo Paludo (2021), a purificação é capaz de remover até 94,22% das impurezas (lipídeos, proteínas e carboidratos) contidas na CB. Sendo assim, não foi necessário realizar estudos e quantificação de proteína bruta, fibra bruta, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro e lipídio bruto.

A determinação de matéria seca foi realizada através de um método gravimétrico baseado na evaporação da água presente na amostra pela ação do calor. Pela análise de matéria seca, o presente trabalho obteve uma média de 90,64% de MS do SCOPY purificado, obtendo 9,36% de umidade na amostra. Esse teor foi utilizado como fator de correção, convertendo os resultados analíticos obtidos em base úmida para base seca, para obter um melhoramento dos valores do

teor de cinzas e de carboidratos estruturais, garantindo que a amostra esteja com umidade adequada. Desse valor de MS obtido, pode-se notar ainda houve uma grande absorção de umidade pela matéria, mesmo depois do SCOBY ter sido seco a 60°C e processado, demonstrando que esse é capaz de ser reter água e pode ser umedecido novamente mesmo após ser secado.

Os resultados dos componentes estruturais do SCOBY de diferentes lotes após o processo de purificação estão dispostos na Tabela 4. Nela estão os valores do teor de cinzas (inorgânicos estruturais), no qual a amostra é calcinada em um forno tipo mufla, para eliminar a matéria orgânica, determinada através da diferença de pesagem entre a massa do cadinho vazio e da massa do cadinho com resíduo.

Tabela 4 - Componentes estruturais do SCOBY.

	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Inorgânicos Estruturais (b.s)	3,38 ± 0,36	17,09 ± 0,68	4,24 ± 0,15
Manana (b.s)	3,66 ± 0,36	2,90 ± 0,05	4,37 ± 0,05
Galactana (b.s)	0,17 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,26 ± 0,01
Glucana (b.s)	83,42 ± 1,87	60,94 ± 0,23	75,01 ± 0,45

Os valores representam a média (%) ± desvio padrão, das análises feitas em triplicata.

(b.s) = valores estabelecidos em base seca.

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

O método utilizado na determinação de carboidratos estruturais da NREL é usado para amostras que não contêm extrativos. Esse método utiliza a hidrólise ácida em dois passos para fracionar a biomassa, de forma a quantificar mais facilmente os carboidratos. Na hidrólise, os carboidratos poliméricos são hidrolisados para a forma monomérica que é solúvel no líquido da hidrólise. Eles são, então, medidos por cromatografia de troca iônica (IC).

Conforme os estudos de Paludo (2021), o hidróxido de sódio não age sobre a remoção de cinzas do SCOBY, assim não há diferença significativa entre os resultados das amostras íntegra e após purificação. O valor de cinzas (inorgânicos estruturais) encontrado por Jayabalan et al. (2010) foi de 3,9%, valor próximo ao

encontrado no SCOPY do lote 1 e 3 do presente trabalho. O lote 2 apresentou uma quantidade de cinzas muito superior aos outros lotes e aos estudos realizados por outros autores, isso pode ter ocorrido devido a um excesso de NaOH remanescente da purificação, fazendo com que o valor de cinzas seja elevado. Apesar das lavagens com água Milli Q e da homogeneização das amostras purificadas do mesmo lote, ainda estava sobreposto o possível excesso de base na amostra resultando em um valor discrepante das outras análises e da literatura.

Através da leitura no cromatógrafo obteve-se um pico evidente associado à glicose, e foram observados dois picos irrisórios de galactose e manose. Esse resultado também foi confirmado através da leitura no IC, no qual, o valor da composição de glicose é muito superior ao dos outros componentes que estavam presentes. Ao realizar a média de cada componente e somá-las obteve-se 85,19% do valor total da massa do SCOPY, um valor considerável mediante os dois experimentos realizados, sendo evidenciado que o SCOPY é composto majoritariamente por CB. O teor de proteínas residual da purificação encontrado por Paludo (2021) foi de 0,56% de proteínas, uma quantidade de massa muito pequena, demonstrando o elevado grau de pureza do SCOPY.

Os carboidratos constituem a maior parte das amostras de biomassa. Esses podem ser estruturais ou não estruturais. Os carboidratos estruturais são ligados à matriz da biomassa, presentes principalmente na parede celular, já os carboidratos não estruturais podem ser removidos usando extração ou lavagem (Sluiter et al., 2012). Os resultados do teor de carboidratos do SCOPY ainda não foram reportados na literatura. Os polissacarídeos são macromoléculas naturais encontradas em todos os organismos vivos, constituídos de unidades monossacarídicas unidas por ligações glicosídicas diferindo na unidade e no grau de ramificação. São destinados ao espaço intercelular, onde há a montagem da parede celular através da orientação das microfibrilas de celulose e dos diferentes domínios de polissacarídeos da parede (Buckeridge; Tiné; Santos; Lima,2000).

Os polissacarídeos de reserva de parede celular (PRPC) são classificados em três grupos: mananos, xiloglucanos e (arabino)galactanos. Há indícios de que a celulose permanece nos depósitos de reserva da parede celular, pois os materiais

fibrosos tornam-se mais aparente após a mobilização do polímero de reserva. Os mananos contém mais de 90% de manose, podendo ou não estar ramificado com a galactose, em que, abaixo de 10% de ramificação, tornam-se insolúveis e precipitam em solução aquosa. Possuem um alto grau de interatividade intermolecular, formando cristais na parede celular, dando dureza e diminuindo a solubilidade. Demonstram ser moléculas bifuncionais, que exercem funções de constrição e proteção mecânica, mas também atuam como polissacarídeos de reserva (Buckeridge; Tiné; Santos; Lima,2000).

A galactana é uma pequena parte produzida da massa de CB. É definida como polímero de galactose e apresenta aplicações como estabilizador, viscosificante, gelificante e agente emulsionante. Trata-se de um polissacarídeo complexo, em que suas funções naturais não são muito claras, porém estão vinculadas a função estrutural na parede celular (Delattre; Fenoradosoa; Michaud, 2011). Contribuem para manter o pH, participam da degradação de lignina, como uma fonte indireta de peróxido de hidrogênio, impedem a desidratação da parede e regulam a concentração de glucose extracelular (Silva; Martinez; Izeli; et al., 2006). Esse é um componente estrutural dominante nas paredes de reserva, mas também está envolvido no controle da expansão celular (Buckeridge; Tiné; Santos; Lima, 2000).

A biossíntese da celulose é dividida em três etapas, sendo a primeira a polimerização dos resíduos de glicose unidos por ligação glicosídica do tipo $\beta(1-4)$ glucana. Já a segunda é onde ocorre a excreção das cadeias lineares e na terceira para a organização e cristalização das cadeias de glucanas, que resulta na estrutura tridimensional resistente denominada microfibrila. Isso faz com que a CB cresça rapidamente sob condições controladas, podendo produzir celulose a partir de uma variadas fontes de carbono, incluindo, glicose, etanol, sacarose e glicerol (Villarreal-Soto et al., 2018; Almeida; Furtado, 2020). Ou seja, nesse estudo a grande quantidade de glucana resultante da leitura no IC, indica que o SCOBY purificado é trata-se praticamente de celulose pura, tal como esperado.

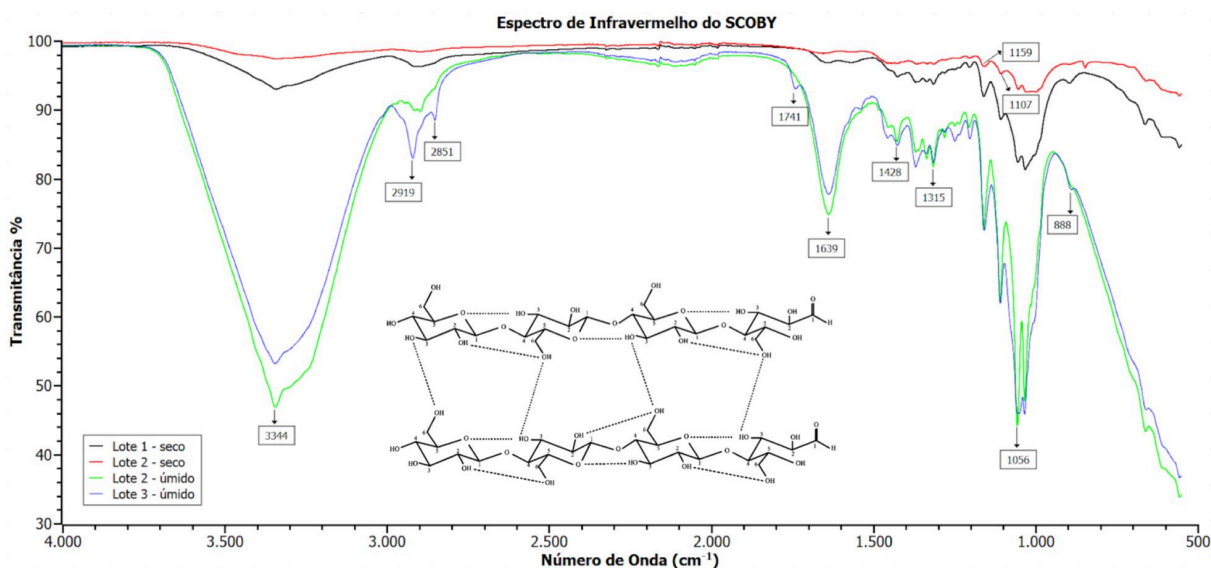
O trabalho feito por Paludo (2021) identificou ainda 97,33% de fibras totais no SCOBY purificado, valor que, conforme a literatura, comprova que a celulose

bacteriana é formada por milhares de fibras e cadeias de celulose, sendo a celulose uma fibra insolúvel. Esse valor não faz parte da composição estrutural, não sendo contabilizada no fechamento de massa da matéria segundo o protocolo do NREL. Segundo a FDA (1992), a celulose bacteriana é considerada uma fibra dietética “GRAS”, reconhecida como segura.

5.5 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Após a análise de CRA, porosidade e composição centesimal, foram feitas análises das membranas de SCOPY por espectroscopia FTIR, mostrando as regiões relevantes do espectro, com os espectros da base seca e base úmida na Figura 14.

Figura 14 - Espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das membranas de SCOPY, lote 1 seco, lote 2 seco e úmido e lote 3 úmido.



Fonte: resultados da pesquisa (2023).

A partir dos espectros da Figura 14, pode-se identificar que independente da base utilizada, composição e da purificação da membrana, as principais bandas características da CB para todos os SCOPYs foram encontradas. Isso demonstra

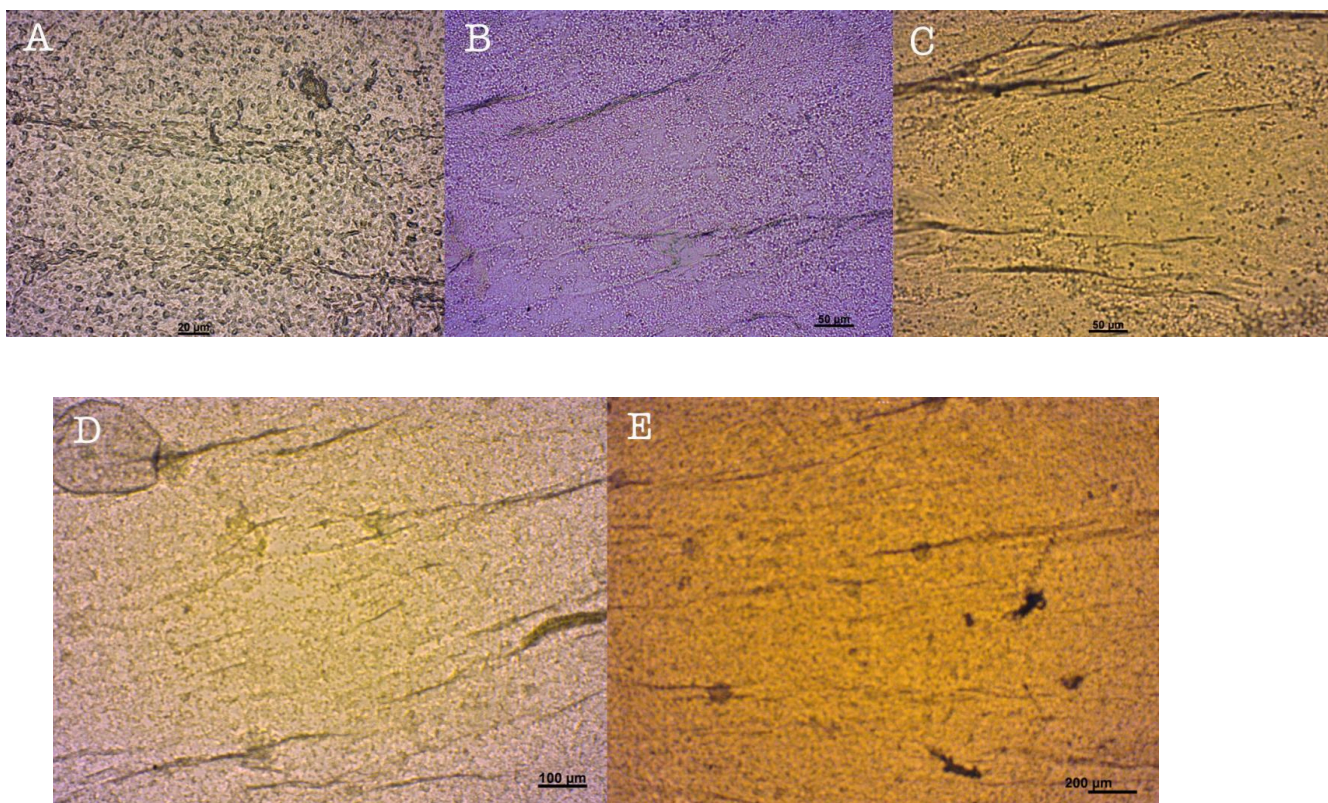
que, apesar das distinções apresentadas, não houve influência na estrutura molecular das CB trabalhadas, sendo alterada apenas a intensidade das bandas, com um pequeno deslocamento entre elas.

Os trabalhos de Pacheco et al. (2017), Amorim (2019) e Nascimento (2021) mostraram resultados semelhantes para a análise de CB pura. As principais bandas típicas CB foram: banda intensa na região de 3344 cm^{-1} correspondente ao estiramento vibracional planar entre os átomos de O-H, um pico em 2919 cm^{-1} atribuído ao estiramento vibracional assimétrico das pontes de metileno ($-\text{CH}_2-$), em 2851 cm^{-1} um pico do estiramento vibracional simétrico dos grupos metila ($-\text{CH}_3-$), no estiramento fora do plano de 1428 e 1315 cm^{-1} estão os picos referentes às deformações angulares C-OH e C-H, os estiramentos 1159 e 1107 cm^{-1} são correspondentes ao estiramento dos grupos C-O e C-OH do álcool primário, e a banda presente em 1056 cm^{-1} é atribuída ao estiramento assimétrico da ponte C-O-C e C-OH nos carboidratos. O pico localizado em 1636 cm^{-1} está relacionado à vibração da ligação O-H. Os resultados obtidos através da espectroscopia são, portanto, característicos da celulose pura.

5.6 Microscopia Óptica

As micrografias da membrana úmida de CB após a purificação estão ilustradas na Figura 15. As imagens foram feitas utilizando membranas do lote 2 para análise, não sendo necessário fazer com os demais lotes, uma vez que o intuito era visualizar a superfície da membrana após a limpeza das impurezas.

Figura 15 - Imagens da CB purificada em diferentes escalas: A) 20 μm ; B e C) 50 μm ; D) 100 μm ; E) 200 μm .



Fonte: resultados da pesquisa (2023).

O estudo feito por Nascimento (2022) e por Amorim (2020), evidenciaram através da microscopia de varredura eletrônica (MEV) que a superfície da CB apresenta distribuições irregulares das fibras de celulose, apresentadas de forma tridimensional e com suas áreas porosas. Essas observações não foram possíveis de serem visualizadas uma vez que a microscopia óptica não consegue fazer a leitura das cadeias de nanofibrilas de celulose, já que essas estão em escala nanométrica.

Na Figura 15 A, foi possível notar que os pontos tratam-se de pequenas cápsulas presentes por toda superfície. Através da comparação com as imagens de MEV do trabalho de Amorim (2020) e Nascimento (2022), sabe-se que essas cápsulas são identificadas como presença de células bacterianas encapsuladas na estrutura nanofibrilar, que apresentam formato de bacilo. Isso evidencia que, mesmo

após o processo de purificação, a CB ainda foi capaz de manter a bactéria encapsulada na rede nanofibrilar, demonstrando que dependendo da aplicação é necessário outros processos complementares de esterilização. Nas demais escalas, também foi possível observar a presença de bactérias remanescentes na membrana onde identificou-se pequenos pontos com dimensões de 2 a 5 µm, dispostas em um intervalo padrão.

Assim, através das imagens obtidas pela microscopia óptica e da comparação com a literatura, foi possível observar que mesmo após a limpeza, que tinha por objetivo a remoção de eventuais impurezas presentes no meio biológico, ainda se tinha bactérias remanescentes. Entretanto, conforme o teste de eficácia do processo de esterilização realizado por Nascimento (2022), demonstrou que as células presas na estrutura após a purificação foram possivelmente inativadas, não sendo evidenciado o aparecimento de contaminação. Dessa forma, a CB pode ser submetida a tratamentos químicos, mas para maiores confirmações e a depender do uso da CB, testes subsequentes podem ser aplicados e mais processos de purificação podem ser executados para garantir uma remoção mais profunda de impurezas.

A análise feita por Amorim (2019), mostrou que a CB apresentou um retardo da degradação térmica que é uma característica promissora para um biomaterial, no qual, a esterilização pode ser realizada sem comprometer as propriedades finais da amostra. A CB esterilizada por raios gama demonstrou um potencial inovador, garantindo a biossegurança do consumidor, uma característica importante para formulação de máscara facial, já que essa entrará em contato direto com a face.

5.7 Protótipo Biomáscara

A biomáscara de celulose bacteriana foi feita a partir de uma membrana de SCOBY purificada com água Milli Q e NaOH 90 °C em ambos os protótipos. Entretanto, para o protótipo representado na Figura 16, foi adicionado peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 50%, com a finalidade de branquear a CB. As máscaras de celulose obtidas de fonte natural, em especial as produzidas por bactérias não

patogênicas tal como as que foram o SCOBY, são de extrema importância por terem baixa toxicidade, alta biocompatibilidade e biodegradabilidade.

Figura 16 - Máscara facial SCOBY purificada (A) seco temperatura ambiente 48 horas (B) seco com recorte facial (C) adicionado 1 mL de Água Destilada.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Figura 17 - Máscara facial a partir do SCOBY purificado, adicionado peróxido de hidrogênio 50%.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Devido sua elevada capacidade de retenção de água, subentende-se que os ativos são capazes de permear sua membrana. No qual, através do protótipo de

máscara de CB nota-se que há potencial para aplicação facial deste material, podendo ser utilizado para diversos fins de melhoramento e tratamento da derme, podendo ser utilizado para hidratação, ação antioxidante, relaxamento da pele, tratamento de acne, entre outros, variando de acordo com os ativos inseridos na formulação da máscara de CB.

Assim como dito por Santos e colaboradores (2019), na pesquisa notou-se que o tecido mesmo após seco e duro, ele pode ser umedecido novamente e remodelado. E por apresentar uma estrutura superfina ao ser prototipada, a máscara atua como suporte, podendo ser embebida com compostos ativos, agindo como veículo de liberação de compostos, isso devido a sua estrutura porosa e boa permeabilidade, tal como mencionado por Amorim (2020) e por Paludo (2021).

Através do protótipo com a máscara pura, observou-se que após 48 horas em temperatura ambiente a máscara estava completamente seca, formando um fino filme que foi facilmente cortado para obter o orifício dos olhos, nariz e boca. Depois de seco, ao adicionar 1 mL de água, a máscara absorve o líquido, tornando-se viscosa novamente, apresentando um toque gelatinoso e úmido. Em um dos protótipos, adicionou-se peróxido de hidrogênio 50%, com o intuito de clarear o material, fazendo com que o seu resultado final tenha uma coloração esbranquiçada, semelhante às das *sheet face mask* disponíveis no mercado, ou seja, esse processo foi feito para tornar a CB agradável visualmente ao consumidor.

Assim, notou-se que a máscara pode ser comercializada na forma úmida já aditivada com os insumos para os benefícios que deseja-se obter, mas também pode ser vendida à seco, no qual, o consumidor pode adicionar os produtos de preferência, sendo eles líquidos, sérums ou hidratantes, com a finalidade de aditivar as máscara conforme o benefício desejado, essa capacidade de ser reidratada e adquirir novamente uma consistência mais gelatinosa está de acordo com os resultados apresentados na MS e na CRA. Assim, a máscara à seco não apresenta um benefício pré-estabelecido, podendo ser utilizado de forma única por cada consumidor, resultando em um produto personalizado. Portanto, a máscara facial é utilizada para facilitar a aderência dos produtos à pele, no qual, basta uma aplicação para obter resultados satisfatórios e garantir uma aparência revitalizante da derme.

O estudo de biodegradabilidade realizado por Paludo (2021), demonstrou que os filmes celulose apresentaram uma rápida biodegradabilidade no solo, com perda de massa variando de 50% a 60% em 12 dias, não demonstrando mudanças significativas em diferentes concentrações e tratamento da CB. Logo, mostra ser um possível material na substituição aos polímeros não biodegradáveis geralmente usados em *sheet face mask*, auxiliando a reduzir o impacto ambiental gerado pelo uso dessas máscaras que são de uso único.

5.8 Empresas fabricantes de kombucha no Distrito Federal

Ao fazer um estudo do empreendedorismo local, foram identificadas 10 empresas fabricantes de kombucha localizadas no Distrito Federal (DF). Das quatro empresas que compartilharam suas informações, essas por questão de confidencialidade de dados foram intituladas de empresa A, B, C e D. A empresa A atua com vendas fora do DF com 20% da sua produção sendo destinada a outros estados, e a empresa D faz vendas para outras localidades mediante encomenda. Entre essas empresas, foi possível notar que a empresa A possui uma produção artesanal com a fabricação de cerca de 6.000 litros mensais de kombucha. Já as demais produziam em escala industrial, com uma produção máxima realizada de 2 mil garrafas de 300 mL em um mês feita pela empresa B. Ou seja, dentro do DF, há pequenas e grandes empresas realizando a produção da KC, com volume de produção variando bruscamente entre elas, mas todas destinam praticamente 70% do volume fabricado aos consumidores locais, com uma mínima parcela das vendas destinada a outras regiões do Brasil.

As empresas A, B e C informaram armazenar o SCOBY, retirando parte para ser utilizado como inóculo na próxima fermentação e armazenando o excesso gerado, sem realizar descarte. A indústria C relatou que realiza o descarte de 10% do material total armazenado uma vez ao mês, jogando fora como lixo orgânico comum. Foi informado pela empresa A que já haviam sido retirados 300 Kg de SCOBY durante uma única produção mensal. Em geral, as empresas armazenam o material retirado para futuros usos, uma vez que o SCOBY demora a se decompor. Apenas uma informou realizar estudo para uso deste em outros produtos ou destinar

o resíduo para compostagem. Esses três negócios (A, B e C), ao serem questionados se teriam interesse em doar e/ou vender o material, como uma oportunidade de reaproveitar o resíduo por uma empresa parceira, informaram que teriam sim interesse em realizar uma parceria, entretanto, ultimamente há poucos sobressalentes.

A empresa D informou que, devido a receita utilizada, a colônia de bactérias e leveduras não gera novas placas de celulose. Há apenas uma placa existente, que tampa o fermentador e ela não apresenta crescimento, logo, não há resíduo para ser destinado a outras aplicações.

Diante dessas informações, nota-se que há uma quantidade considerável de SCOBY sendo retirado pelas empresas, sem uma destinação certa, o que torna uma área em potencial para propostas de parcerias para reinserção do SCOBY no mercado industrial. Além de outras aplicações, este SCOBY poderia ser reutilizado na em aplicações cosméticas, tal como é o propósito do presente estudo. A ideia seria a utilização da logística reversa, baseado no reaproveitamento e remoção do resíduo, administrando a devolução, reaproveitando o descarte gerado como uma forma de reduzir os custos e até mesmo gerar receita, empregando a ideia da economia circular ao invés do fluxo único da economia linear. Segundo Dale e Tibben-Lembke (1998), a logística reversa é:

Dessa forma, a implementação da logística reversa age para implementar um sistema de retorno, permitindo a reinserção do SCOBY. Essa é uma área bastante ampla, envolvendo operações relacionadas com a reutilização do material, assegurando uma recuperação sustentável para que não prejudique o meio ambiente (Rodriguez et al., 2012).

A logística reversa pode ser implementada como uma forma de aplicação do conceito de economia circular, na qual, após ser coletado, o material residual pode ser revendido e processado para ser utilizado sob uma nova aplicação. Essa foi a rota que ocorreu no presente trabalho, uma vez que o SCOBY descartado foi doado e utilizado, potencialmente, para a confecção de *sheet face mask*. Dessa forma, ao invés de descartar ou armazenar o material, o resíduo agora converte-se em uma fonte de lucro. Isso implica na redução de custos no processo de fabricação, uma

vez que o material residual deixa de ser um problema ambiental, já que esse não é destinado como lixo, mas também gera um faturamento ao ser vendido para empresas parceiras.

Portanto, com a venda do resíduo há o surgimento de lucros que antes eram apenas gastos destinados ao descarte do SCOBY. Com o valor arrecadado da venda da CB pode haver uma redução do custo da kombucha, bebida que custa cerca de R\$15,50 a embalagem de 300 mL. Reduzir o valor da bebida, há uma maior chance de se popularizar seu consumo, já que as pessoas que ainda não provaram e possuem curiosidade, podem experimentar com custo reduzido e, talvez, se interessem pela kombucha. Isso, poderia ocasionar um aumento no número de consumidores e um crescimento da produção para atender a nova demanda, fazendo com que esse ramo de bebidas se expanda. Com o aumento da produção, há um aumento no volume de descarte gerado sendo ainda mais importante realizar uma destinação do SCOBY, para que ele seja reaproveitado e a economia circular seja estabelecida.

5.9 Reaproveitamento de Resíduos em Sala de Aula

A partir dos resultados obtidos previamente, notou-se que é possível gerar um novo material utilizando uma amostra que seria descartada. As amostras utilizadas nesse estudo foram uma doação do próprio IFB *Campus* Gama, local onde foi realizada a maior parte dessa pesquisa. Os alunos do curso de Química, em especial aqueles realizando a disciplina de Tratamento de Água, Efluentes e Sólidos, poderiam fazer o reaproveitamento, reciclando e propondo uma aplicação econômica para resíduos que seriam descartados no seu próprio *Campus* de estudo, colocando em prática os ensinamentos teóricos, utilizando a criatividade e inovação associados aos seus gostos e tendências para elaborar um novo produto. Dentro desse contexto, aplicam-se os conceitos da economia circular, podendo ir além do reaproveitamento de resíduos sólidos, mas também aprendendo sobre economia, demonstrando que dejetos industriais podem sim ter valor, saindo de um descarte que se acumula e deteriora o meio ambiente para um produto de interesse comercial.

Dessa forma, o professor responsável pela disciplina poderia explicar sobre Economia Circular, vinculando ao tratamento e reaproveitamento de resíduos sólidos para criar uma dinâmica de mercado industrial. Essa dinâmica poderia ser realizada da seguinte forma: o professor cria grupos de 3 a 4 pessoas, no qual cada grupo será uma empresa; cada empresa começa com R\$50,00 reais para comprar os seus resíduos; e cada aluno recebe R\$200,00 reais para comprar um produto; após obter sua matéria-prima, devem propor um novo produto tendo como ênfase o material reutilizado, a biodegradabilidade e o cuidado com o meio ambiente; depois estipulam um valor de mercado para o produto. O projeto finaliza com apresentação dos grupos, falando sobre sua amostra, de onde é retirada, como foi criado o produto e qual seu valor de venda, ou seja, fazendo uma campanha de marketing para a turma, a fim de conseguir o maior número de clientes dentro do seu nicho. Ganha a dinâmica o grupo que conseguir o maior número de vendas.

Assim, é possível vivenciar o trabalho de um analista de P&D (pesquisa e desenvolvimento) de uma indústria química ou farmacêutica, dentro da sala de aula, fazendo com que os alunos saiam da teoria e explorem a natureza dinâmica oferecida pelo modelo da Economia Circular. Dessa forma, eles seriam responsáveis não apenas por gerar valor a um produto, mas por garantir a sua eficiência e qualidade, mostrando que um produto reciclado pode ter qualidade igual ou superior a um produto feito a partir de uma amostra primária. Trata-se de uma maneira de evidenciar que esse modelo econômico é uma alternativa concreta, podendo compreender com maior notoriedade como funciona em sua integridade e como é na prática.

6 Conclusão

Neste trabalho, foi possível caracterizar quimicamente a composição do SCOBY para o reaproveitamento do resíduo industrial como tecido de *sheet face mask*, feita com resíduo da kombucha no IFB *Campus Gama*. Demonstrando que o SCOBY pode ser aplicado e inserido novamente no ciclo industrial, processando e purificando-o para obter novo biomaterial com características essenciais para aplicações cosméticas. A análise microscópica enfatizou o alto potencial da celulose bacteriana. O estudo avaliando a disponibilidade econômica da membrana em empresas do DF demonstrou que essa possui uma produção limitada, baixa produtividade e baixa taxa de reaproveitamento, já que costuma ser armazenada ou descartada, porém há material para reinserção e utilização na indústria cosmética .

As análises foram feitas com membranas de CB foram separadas em lotes de acordo com a concentração e a purificação realizada. A caracterização da composição do SCOBY purificado apresentou uma média de 73,12% de glucana, identificado como celulose bacteriana, confirmando que essa é composição predominantemente da CB, o que demonstra uma eficiência no processo de purificação. Evidenciando que com um tratamento de baixo custo, a membrana já apresenta uma alta eficácia de purificação que permite sua aplicação com material para *sheet face mask*.

Sendo possível realizar a confecção de uma máscara de CB, com a aplicação do polímero natural reutilizado como veículo de suporte na aplicação da máscara facial. A membrana pode ser embebida por compostos ativos mesmo após ser seca, sendo capaz de reabsorver umidade readquirindo a consistência de gel ao ser colocada em contato com líquido. Assim, ao aplicar a *sheet face mask* na pele, ocorrerá liberação dos compostos, proporcionando uma aplicação simples e eficaz dos cosmeceúticos na face.

REFERÊNCIAS

ADEPU, S.; KHANDELWAL, M. **Ex-situ modification of bacterial cellulose for immediate and sustained drug release with insights into release mechanism.** Carbohydrate Polymers, 2020, v. 249.

ALMEIDA, A. C. O.; FURTADO, I. F. S. P. C. **Avaliação de materiais oriundos da agroindústria como meio de cultivo visando à obtenção de celulose bacteriana.** Toledo: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

AMARASEKARA, A.; WANG, D.; GRANDY, T. **A Comparison of Kombucha SCOBY Bacterial Cellulose Purification Methods.** SN Applied Sciences, [s. l.], v. 2, 2020.

AMNUAIKIT, T.; CHUSUIT, T.; RAKNAM, P.; BOONME, P. **Effects of a cellulose mask synthesized by a bacterium on facial skin characteristics and user satisfaction.** Medical Devices: Evidence and Research, v. 4, p. 77-81, 2011.

AMORIM, J. D. P. **Obtenção de Celulose Bacteriana Aditivada com Extrato de Própolis para Aplicação em Cosméticos.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

ANDRADE, M. M. M.; TAPIA, B. D. R.; MENEGALLI, F. C. **Filmes Biodegradáveis: Incorporação de Microfibras e Nanofibras de Celulose Obtidas de Fontes Vegetais.** Universidad Nacional Abiert y a Distancia, 2011.

ARAÚJO, A. C. **RESOLUÇÃO N.º034/2016/CS-IFB.** Brasília: Ministério da Educação- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília, 2016. Acesso em: 22 de novembro de 2023. Disponível em: <https://www.ifb.edu.br/attachments/article/10765/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20n%C2%BA%20034_PPC%20Integrado%20em%20Qu%C3%ADmica.pdf>.

BEM, N. A.; LINKE, P. P.; PACCOLA, E. A. S.; REZENDE, L. C. S. H. **Moda e sustentabilidade - uma perspectiva acerca da degradação de tecidos de**

algodão e poliéster em solo natural. Gramado: 4º Congresso Sul-Americano de Resíduos e Sustentabilidade, 2021.

BIANCHET, R. T.; CUBAS, A. L. V.; MACHADO, M. M. MOECKE, E. H. S. **Applicability of Bacterial Cellulose in Cosmetics - Bibliometric Review.** Biotechnology Reports, 2020, v. 27.

BRASIL. **Lei n. 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, LDB .** Brasília, 2021, 5ªed. Acesso em: 04 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/593336/LDB_5ed.pdf>.

BUCKERIDGE, M. S.; TINÉ, M. A. S.; SANTOS, H. P.; LIMA, D. U. **Polissacarídeos de reserva de parede celular em sementes. Estrutura, metabolismo, funções e aspectos ecológicos.** São Paulo: Instituto de Botânica de São Paulo, 2000.

CAMPANO, C.; BALEA, A.; BLANCO, A.; NEGRO, C. **Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: a review.** Cellulose. V.23, n. 1, 2015.

CEDEÑO, D. C.; ROMERO, W. V. **Caracterización del SCOBY de Kombucha para la Producción de Biofilms.** Equador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2021.

DALE, R.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices.** Reno, Nevada: Center for Logistics Management - University of Nevada, 1998.

DELATTRE, C.; FENORADOSOA, T. A.; MICHAUD, P. **Galactans: an overview of their most important sourcing and applications as natural polysaccharides.** Agriculture, Agribusiness and Biotechnology: Braz arch biol technology, 2011.

DIMA, S. O. et al. **Bacterial Nanocellulose from Side-Streams of Kombucha Beverages Production: Preparation and Physical-Chemical Properties.** *Polymers*, v.9, n.12, p.374, 2017.

DOMENEGHETTI, P. A.; SOARES, M. G.; SCHMIDT, V. C. R. **Caracterização de Scoby do Kombucha para produção de biofilmes.** Uberlândia: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2019.

EMPREENDEDORISMO START & GO. **Economia Circular.** n° 20, 2018.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. **Economia Circular e Resíduos Sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica.** ENGEMA, 2016.

GALDINO JR, C. J. S. et al. **Use of bacterial cellulose filter for the removal of oil from wastewater.** *Process Biochemistry*, 2020, v. 91.

GÓES, T. S. **Obtenção de Nanocelulose Bacteriana de Kombucha.** Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 2020.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: A Global Review of Solid Management.** World Bank, 15, 2012.

INSTITUTO FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS GAMA. **Plano de Curso: Curso Técnico em Química na Forma Articulada Integrada ao Ensino Médio.** Brasília: Ministério da Educação - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília, 2020. Acesso em: 22 de novembro de 2023. Disponível em: <[https://www.ifb.edu.br/attachments/article/22990/Plano%20de%20Curso%20-%20Curso%20T%C3%A9cnico%20em%20Qu%C3%ADmica%20na%20Forma%20Articulada%20ao%20Ensino%20M%C3%A9dio%20\(1\)_compressed.pdf](https://www.ifb.edu.br/attachments/article/22990/Plano%20de%20Curso%20-%20Curso%20T%C3%A9cnico%20em%20Qu%C3%ADmica%20na%20Forma%20Articulada%20ao%20Ensino%20M%C3%A9dio%20(1)_compressed.pdf)>.

JABALAN, R.; MALBASA, R. V.; LCAR, E. S.; VITAS, J. S.; SATHISHKUMAR, M. **A review on kombucha tea-microbiology, composition, fermentation, beneficial**

effects, toxicity, and tea fungus. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 13, n. 4, 2014.

LAAVANYA, D.; SHIRKOLE, S.; BALASUBRAMANIAN, P. **Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation.** Journal of Cleaner Production, [s. l.], 2021, v. 295.

MAIA, Y. L. M.; CORREIA, M. L. S.; NETO, J. V. S.; CASTRO, B. N. **Kombucha: características e aspectos biológicos.** Goiás: Revista Referência em Saúde da Faculdade Estácio de Sá de Goiás RRS-FESGO, 2020.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **A natureza e os polímeros - meio ambiente, geopolímeros, fitopolímeros e zoopolímeros.** São Paulo: Blucher, 2018.

MAZRAEDOOST, S.; BANAEI, N. **Biochemical composition properties of Kombucha SCOBY: Mini Reviews.** Irã: Advances in applied nanobio-technologies, 2020. Vol. 1, páginas: 99 -104.

MOLINA-ROMERO, J. M. et al. **Reduced tensile properties of bacterial cellulose membranes after an accelerated composite temperature/humidity cyclic assay.** Journal of Polymers and the Environment, 2021.

MORGANTI, P.; MORGANTI, G.; CHEN, H. D.; GAGLIARDINI, A. **Beauty Mask: Market and Environment.** Journal of Clinical and Cosmetic Dermatology, 2019.

NASCIMENTO, H. A. **Produção de Biopolímero de Celulose Bacteriana Aditivado com Antioxidante Natural.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2022.

NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO. **Apostila: Anatomia, Fisiologia e Bioquímica da Pele e Anexos Cutâneos.** Espírito Santo: FAVENI, 2018.

PALUDO, N. **Obtenção e aplicação de nanofibras de resíduo industrial de kombucha em filmes biodegradáveis**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

RABEH, S. A. N.; GONÇALVES, M. B. B. **Avaliação de Feridas Crônicas na Assistência de Enfermagem - Material Complementar: Anatomia e Fisiologia da Pele**. São Paulo: USP, 2011.

RHIM, J.; NG, P. K. W. **Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications**. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2007. doi: 10.1080/10408390600846366.

RODRIGUEZ, D. S.; SILVA, L. S.; PASSOS, M.; BERTOLOTO, R.; et al. **A logística reversa utilizada no gerenciamento da cadeia de suprimentos como instrumento de vantagem competitiva**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2012.

SANTOS, V. M. C.; DEGRAVE, W.; FLEMMING, L. et. al. **A Utilização de novas tecnologias na Moda - Aplicação de tecido orgânicos fabricados a partir de Kombucha na confecção de bolsas e acessórios da moda**. Santa Catarina: ENSUS VII Encontro de Sustentabilidade em Projetos, 2019.

SILVA, L. A.; TAVARES, I. M.; UETANABARO, A. P. T.; FRANCO, M. **Prospecção Tecnológica de Kombucha**. Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2021.

SILVA, M. L. C.; MARTINEZ, P. F.; IZEL, N. I.; et al. **Caracterização química de glucanas fúngicas e suas aplicações biotecnológicas**. *Química Nova*, 2006.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. **Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples**. NREL, 2008. *Technical Report NREL/TP-510-42622*. Laboratory Analytical Procedures (LAP).

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. **Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass**. NREL, 2012. *NREL/TP-510-42618*. Laboratory Analytical Procedures (LAP).

SLUITER, J.; SLUITER, A. **Summative Mass Closure: Feedstocks**. NREL, 2010. *Technical Report NREL/TP-510-48087*. Laboratory Analytical Procedures (LAP).

TAPIAS, Y. A. R.; MONTE, M. V.; PELTZER, M. A.; SALVAY, A. G. **Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions**. *Food Chemistry*, 2022, v. 372.

VAN DE GRAAFF, K. M. **Anatomia Humana**. Barueri: Manole, 2003. 6 ed.

VILLARREAL-SOTO, S. A.; BEAUFORT, S.; BOUJILA, J.; SOUCHARD, J. P.; TAILLANDIER, P. **Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review**. *Journal of Food Science*, 2018.

VILLARREAL-SOTO, S. A. et al. **Physicochemical properties of bacterial cellulose obtained from different Kombucha fermentation conditions**. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2020.

WHITEMAN, H. **Uso de plástico bate recorde global, apesar de esforços contra poluição, diz estudo**. Austrália: CNN, 2023 Acesso em: 03 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/uso-de-plastico-bate-recorde-global-apesar-de-esforcos-contra-poluicao-diz-estudo/>>.

YOUNESI, M.; WU, X.; AKKUS, O. **Controlled mercerization of bacterial cellulose provides tunability of modulus and ductility over two orders of magnitude**. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, [s. l.], 2019, v. 90.