



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



LAYLLA NUNES FERNANDES

**Celulose de SCOBY aplicada a indústria de alimentos:
alternativa na obtenção e métodos de purificação**

Patos de Minas - MG

2023



LAYLLA NUNES FERNANDES

**Celulose de SCOBY aplicada a indústria de alimentos:
alternativa na obtenção e métodos de purificação**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, área de concentração de Desenvolvimento de Processos e Produtos.

Orientador(a): Dr.^a Vivian Consuelo Reolon Schmidt

Coorientador(a): Dr.^a Marieli de Lima

Patos de Minas - MG

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

F363c
2023

Fernandes, Laylla Nunes, 1996-

Celulose de SCOBY aplicada a indústria de alimentos [recurso eletrônico] : alternativa na obtenção e métodos de purificação/ Laylla Nunes Fernandes. - 2023.

Orientadora: Vivian Consuelo Reolon Schmidt.

Coorientadora: Marieli de Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5022>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Tecnologia de alimentos. I. Schmidt, Vivian Consuelo Reolon, 1980-, (Orient.). II. Lima, Marieli de, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas

Rua Vereador Chico Filgueira, 33, 3º andar, Sala 21 - Bairro Caiçaras, Patos de Minas-MG, CEP 38702-178
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br


ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 6/2023 - PPGEA				
Data:	Vinte e oito de abril de dois mil e vinte e três	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:15
Matrícula do Discente:	42112EAL008				
Nome do Discente:	Laylla Nunes Fernandes				
Título do Trabalho:	Celulose de SCOPY aplicada a indústria de alimentos: alternativa na obtenção e métodos de purificação				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Processos Biotecnológicos				

Reúne-se por webconferência (Teams) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Vivian Consuelo Reolon Schmidt (Presidente), Harumi Otaguro (Membro Externo) e Michelle Andriati Sentanin (Membro UFU).

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra às examinadoras, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vivian Consuelo Reolon Schmidt, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/05/2023, às 15:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Harumi Otaguro, Usuário Externo**, em 19/05/2023, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/05/2023, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4506376** e o código CRC **345F356F**.

Referência: Processo nº 23117.034739/2023-16

SEI nº 4506376

Dedico com muito carinho e amor aos
meus queridos pais, Maria e José.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter ido adiante de mim nesta trajetória, por ter sido meu refúgio, a quem eu glorifico;

Às professoras Dr.^a Vivian Consuelo Reolon Schmidt e Dr.^a Marieli de Lima, pelas orientações sábias, compreensivas, serenas e necessárias, tanto na vida acadêmica quanto pessoal. Por toda partilha, aconselhamento e escuta diária mesmo em meio a suas inúmeras e infinitas tarefas profissionais e pessoais;

Aos professores do curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos – UFU Campus Patos de Minas que compartilharam seus conhecimentos durante as disciplinas cursadas no programa, Dr.^a Líbia, Dr.^a Marieli, Dr.^a Michelle, Dr.^a Milla, Dr. Ricardo e Dr.^a Vicelma, gratidão eterna.

À professora e técnica responsável pelo Laboratório Didático de Engenharia de Alimentos – UFU Campus Patos de Minas, MG, Dr.^a Betânia Romão, pelo grande auxílio no direcionamento das análises laboratoriais e palavras de conforto;

Aos técnicos do Laboratório de Alimentos, Dayene, Gabriel, Leandro e Valdislaine pela fundamental ajuda, presteza, palavras de conforto e paciência;

Ao Laboratório de Biotecnologia - UFU pelo espaço e equipamentos cedidos para a realização de análises;

Aos meus queridos pais, Maria e José, que sempre estiveram comigo incentivando e apoiando. E por todo amor e conforto que me ofertaram diariamente;

Ao meu esposo, Gustavo, por ter sido calma, pelo auxílio e enorme incentivo durante esta caminhada;

Aos meus colegas, especialmente à minha amiga Letícia, apoiadora deste trabalho, com quem partilhei angústias, alegrias e produções acadêmicas;

Aos meus amigos que entenderam minhas ausências em diversos momentos durante esse período;

Às professoras Dr.^a Harumi Otaguro, Dr.^a Kênia de Fátima Carrijo e Dr.^a Michelle Andriati, membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões apresentadas ao trabalho;

À minha querida professora coordenadora de curso Dr.^a Líbia Diniz Santos, pela ajuda e incentivo fundamentais do início ao fim do mestrado;

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
	CAPÍTULO 1 - OBTENÇÃO DE CELULOSE: VIABILIDADE, OPORTUNIDADE E DESAFIOS NAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS.....	15
1	INTRODUÇÃO.....	16
2	FONTES DE CELULOSE	19
2.1	Celulose vegetal	19
2.2	Celulose bacteriana.....	21
2.3	Obtenção de celulose bacteriana via SCOBY proveniente da fermentação de kombucha	23
3	VIABILIDADE DA CELULOSE VEGETAL E BACTERIANA NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	29
4	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38
	CAPÍTULO 2 - CELULOSE DE SCOBY COMO SUBPRODUTO DA PRODUÇÃO DE KOMBUCHA COM FOCO NO APROVEITAMENTO E POTENCIAL NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	50
1	INTRODUÇÃO.....	51
2	CELULOSE DE SCOBY (SC)	52
3	COMUNIDADE MICROBIANA PRESENTE NO PROCESSO FERMENTATIVO.....	55
4	USO DO SCOBY NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS E SEU USO COMO INGREDIENTE ALIMENTAR	66
4.1	Contribuição do SCOBY como alimento, agente fermentador e conservador de alimentos	67
4.2	Uso da celulose do SCOBY no desenvolvimento de filmes e embalagens para alimentos	68
5	CONCLUSÃO.....	70

REFERÊNCIAS.....	71
CAPÍTULO 3 - TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NA OBTENÇÃO E PURIFICAÇÃO DE CELULOSE DE SCOBY DE KOMBUCHA	78
1 INTRODUÇÃO.....	79
2 TRATAMENTOS DE PURIFICAÇÃO, PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS DE CELULOSE DE SCOBY.....	81
3 CONCLUSÃO.....	94
REFERÊNCIAS.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - (A) celulose de SCOBY; (B) Celulose de SCOBY em chá para a manutenção da comunidade microbiana e produção de celulose bacteriana **Erro! Indicador não definido.**

Figura 1.2 - Produtos alimentícios em que celulose vegetal e bacteriana são utilizados com variadas funções tecnológicas 29

Figura 2.1 - Coloração de membranas de celulose de SCOBY excedentes da produção kombucha a base de uma mistura de chá verde e chá preto (*Camellia sinensis*) 57

Figura 2.2 - Possibilidade de aplicação de kombucha e SCOBY em alimentos.....67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Alguns estudos experimentais sobre uso de celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY como ingrediente alimentar e como material na produção de embalagens biodegradáveis	34
Tabela 2.1 - Fermentação de diversos substratos (chás, ervas, resíduos) na produção de kombucha e bebidas tipo kombucha e microbiota resultante	57
Tabela 3.1 - Tratamentos para o branqueamento e purificação da película celulósica de origem bacteriana (SCOBY)	82
Tabela 3.2 - Características estruturais, funcionais e visuais da celulose de SCOBY após tratamentos de purificação	88

RESUMO

Este estudo objetivou relacionar os benefícios, usos e limitações da celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY na indústria alimentícia, com foco na obtenção e aplicação da celulose de SCOBY (CS) como matéria-prima alimentar e em seu uso no reaproveitamento de resíduos alimentícios. A pesquisa envolveu uma revisão abrangente da literatura científica, concentrando-se em dados dos últimos 10 anos, obtidos através de bases de busca como Elsevier e Science Direct, com palavras-chave pertinentes, como alcalinização, alimentos, celulose, celulose bacteriana, coprodutos, kombucha, NaOH, purificação e SCOBY. A pesquisa destacou a importância da celulose na indústria alimentícia como uma alternativa sustentável para a redução de aditivos, sódio e gordura, bem como para a melhoria das propriedades sensoriais dos produtos finais, e seu uso como material de reforço em embalagens ativas. A literatura evidenciou a celulose de SCOBY (CS) como uma matéria-prima barata e alternativa a ser explorada na produção de celulose bacteriana comercial e no desenvolvimento de novos produtos. No entanto, as técnicas de tratamento aplicadas às fibras de SCOBY ainda estão em estágios iniciais de desenvolvimento, carecendo de padronização e eficiência ótima, o que constitui um desafio significativo para sua adoção em larga escala. Nesse contexto, há uma necessidade premente de pesquisas adicionais visando otimizar os processos de obtenção e purificação da celulose de SCOBY. Apesar das limitações técnicas, a celulose de SCOBY apresenta vantagens econômicas consideráveis, devido à sua disponibilidade na produção de kombucha e à possibilidade de uso da cultura fermentativa, SCOBY, em fermentações de diversos substratos, como *Camellia sinensis*, coprodutos da cadeia produtiva da acerola e de vinícolas, por exemplo, e resíduos alimentícios, como fonte de meio de cultura para as bactérias produtoras de celulose. Essa versatilidade sugere um potencial significativo para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e para a redução do desperdício industrial, em conjunto à obtenção de celulose bacteriana. Para a purificação da celulose de SCOBY e outras formas de celulose, são necessários tratamentos físicos, químicos e/ou enzimáticos, a fim de remover impurezas e torná-la mais adequada para diversas aplicações. Nesse sentido, o hidróxido de sódio emerge como o produto mais utilizado para a purificação da celulose bacteriana e de SCOBY, conforme indicado na literatura revisada. Este estudo contribuiu para a compreensão do potencial da celulose de SCOBY na indústria alimentícia e destaca áreas-chave para futuras pesquisas, visando aprimorar sua produção e aplicação de forma sustentável e economicamente viável. caros e por ser abundante na produção de kombucha.

Palavras-chave: alcalinização, celulose bacteriana, celulose vegetal, hidróxido de sódio.

ABSTRACT

This study aimed to relate the benefits, uses and limitations of vegetable, bacterial and SCOBY cellulose in the food industry, focusing on obtaining and applying SCOBY cellulose (CS) as a food raw material and its use in the reuse of food waste. The research involved a comprehensive review of scientific literature, focusing on data from the last 10 years, obtained through search bases such as Elsevier and Science Direct, with pertinent keywords such as alkalization, foods, cellulose, bacterial cellulose, co-products, kombucha, NaOH, purification and SCOBY. The research highlighted the importance of cellulose in the food industry as a sustainable alternative for reducing additives, sodium and fat, as well as improving the sensory properties of final products, and its use as a reinforcing material in active packaging. The literature highlighted SCOBY cellulose (CS) as a cheap and alternative raw material to be explored in the production of commercial bacterial cellulose and in the development of new products. However, treatment techniques applied to SCOBY fibers are still in the early stages of development, lacking standardization and optimal efficiency, which constitutes a significant challenge for their large-scale adoption. In this context, there is a pressing need for additional research aimed at optimizing the processes for obtaining and purifying SCOBY cellulose. Despite technical limitations, SCOBY cellulose presents considerable economic advantages, due to its availability in the production of kombucha and the possibility of using the fermentative culture, SCOBY, in fermentations of different substrates, such as *Camellia sinensis*, co-products of the acerola production chain and from wineries, for example, and food waste, as a source of culture medium for cellulose-producing bacteria. This versatility suggests significant potential for developing new food products and reducing industrial waste, in conjunction with obtaining bacterial cellulose. To purify SCOBY cellulose and other forms of cellulose, physical, chemical and/or enzymatic treatments are necessary in order to remove impurities and make it more suitable for various applications. In this sense, sodium hydroxide emerges as the most used product for the purification of bacterial cellulose and SCOBY, as indicated in the reviewed literature. This study contributed to the understanding of the potential of SCOBY cellulose in the food industry and highlights key areas for future research, aiming to improve its production and application in a sustainable and economically viable way.

Keywords: alkalization, bacterial cellulose, sodium hydroxide, vegetable cellulose.

1 INTRODUÇÃO

A celulose de SCOBY (Symbiotic Consortium of Bacteria and Yeasts) tem sido vista como um produto alternativo à celulose bacteriana comercial, porém ainda existem desafios para que seja otimizada em produções de larga escala (BEHERA; LAAVANYA; BALASUBRAMANIAN, 2022; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021). É oriunda da fermentação de kombucha por consórcio microbiano entre leveduras e bactérias, em que as bactérias presentes produzem extracelularmente a celulose, sendo um material sustentável, livre de hemicelulose, lignina e pectina (como toda celulose bacteriana), poroso, biodegradável, com estabilidade térmica, além de morfologia nanométrica, torna-a potencialmente explorável como matéria-prima em indústria alimentícia (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

Diante da alta capacidade de absorção de água e/ou qualquer outro meio de cultivo em que a celulose bacteriana e de SCOBY estejam, existe a necessidade de pré-tratamentos que promovam a remoção de detritos celulares, açúcares, compostos metabólicos e resíduos do meio de cultura que estejam presentes na matriz celulósica, a fim de purificar a celulose e torná-la mais disponível e funcional para futuras aplicações (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARIFUDIN et al., 2021).

O hidróxido de sódio é o produto mais utilizado nas purificações de celulose bacteriana (CB) e celulose de SCOBY (CS) ocasionando branqueamento, remoção de células microbianas e outras impurezas que estejam aderidas à película celulósica (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021). O uso de tratamento apenas com lavagem em água foi relatado em celulose de SCOBY, entretanto, sua efetividade foi inferior comparada à alcalinização (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019). Tratamentos que visam a alteração nas dimensões da celulose também são executados para a produção de nanocristais, por exemplo, sendo a hidrólise ácida uma das principais vias efetuadas para celulose vegetal e bacteriana (RANA; FROLLINI; THAKUR, 2021).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica acerca de obtenção de celulose de SCOBY e métodos de purificação desse material como uma alternativa à celulose bacteriana.

O trabalho é composto por três capítulos, no CAPÍTULO 1 é apresentado um levantamento bibliográfico a respeito das características e aplicação de celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY na indústria de alimentos. No CAPÍTULO 2 é apresentada uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de obtenção e formação da celulose de SCOBY e suas aplicações tecnológicas. No Capítulo 3 são apresentados métodos de purificação e suas implicações tecnológicas, funcionais e de qualidade em celulose de SCOBY.

CAPÍTULO 1 - OBTENÇÃO DE CELULOSE: VIABILIDADE, OPORTUNIDADE E DESAFIOS NAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS

O CAPÍTULO aborda características da celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY. O interesse por tornar os alimentos mais nutritivos pode trazer dificuldades às indústrias, prejuízos tecnológicos e de qualidade, afetando atributos sensoriais, características reológicas, físico-químicas e de estabilidade. Frente a isso, a incorporação de ingredientes alimentares que minimizem esses problemas é amplamente testada. Diante disso, os polissacarídeos são utilizados em alimentos como estabilizantes, emulsificantes e como agente de reforço de revestimentos contribuindo para melhora da conservação. A celulose bacteriana possui vantagens comparada à vegetal devido ausência de lignina, hemicelulose e pectina, às propriedades físicas e químicas, sendo considerada um biopolímero promissor em aplicações alimentícias. Esta revisão objetivou relatar as possibilidades de exploração, aplicação e vantagens da celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY no setor alimentício, como aditivo ou ingrediente na inovação de formulações, na recuperação e fermentação de coprodutos alimentícios, e potencial na elaboração de revestimentos biodegradáveis para alimentos.

Resumo: A celulose em suas diferentes origens (vegetal, bacteriana e de SCOBY) é uma importante matéria-prima renovável, biodegradável e com resistência mecânica e térmica consideráveis. O objetivo da revisão foi relatar as possibilidades de obtenção e as perspectivas na aplicação de celuloses na cadeia produtiva de alimentos e quais as vantagens, benefícios e desafios. As pesquisas revelam o uso em embutidos cárneos e produtos lácteos na intenção de substituir matéria gorda das formulações, melhorar capacidade de retenção de água, rendimento e redução de perda por cozimento ou derretimento, como agente microencapsulador de cepas probióticas (*Lactobacillus rhamnosus*) e de antimicrobianos, agente emulsificante e estabilizante em emulsões cárneas e oleosas, substituto de amido em produtos de panificação, tornando pães com interior mais coeso, como ingrediente em preparos culinários e análogo de produto de origem animal, além de sua utilização em revestimentos comestíveis, biodegradáveis e reforço em embalagens. Os resultados elucidados nesta revisão demonstram alto potencial da celulose como ingrediente e aditivo não sintético para a indústria de alimentos. Por outro lado, observou-se a falta de estudos que viabilizem economicamente a obtenção em larga escala de celulose bacteriana e pesquisas que explorem a celulose de SCOBY no desenvolvimento de novos alimentos.

Palavras-chave: celulose bacteriana, celulose de SCOBY, coprodutos, embalagens, emulsões.

1 INTRODUÇÃO

A celulose é um polímero renovável macromolecular composto por grupos β -D-glucopiranosil unidos por ligações β -1,4 glicosídicas e por ligações de hidrogênio intramoleculares, sendo encontrada principalmente em plantas e produzidas por bactérias (HE et al., 2021; PERUMAL et al., 2022).

Trata-se de um polímero semicristalino constituído por regiões cristalinas caracterizadas pelo empacotamento ordenado das cadeias de celulose que propiciam rigidez e elasticidade, e regiões amorfas intercaladas que são compostas por um emaranhado desordenado dessas cadeias da macromolécula de celulose conferindo características de flexibilidade e plasticidade à celulose (RANA; FROLLINI; THAKUR, 2021).

A celulose vegetal é um polímero renovável, biodegradável e com resistência mecânica amplamente disponível na natureza sendo extraída de matérias vegetais, como sisal, algodão, cânhamo, árvores como tamareiras, palmeiras e eucalipto, bambu e coprodutos como palha de soja, bagaço de cana e cascas e caules de frutas, verduras e legumes (GALIWANGO et al., 2019; MATHIAS et al., 2022).

A celulose bacteriana possui características superiores à vegetal principalmente por sua pureza (ausência de lignina, pectina e hemicelulose em sua composição), e por originalmente ter dimensões nanométricas com excelente área

superficial e propriedade mecânica, sendo considerado seguro seu uso em alimentos e assim destinada para composição de molhos, de sobremesas como sorvetes, em produtos de panificação, como agente carreador de compostos bioativos, na produção de embalagens biodegradáveis, além da aplicabilidade como fibra dietética, ingrediente e aditivo (LI et al., 2021; NAVYA et al., 2022).

A celulose de SCOBY têm recebido atenção por ser obtida mediante cultivo de baixo custo (chá e sacarose) e por se tratar de um coproduto excedente da fermentação de kombucha, sendo considerada fonte alternativa de celulose com alta capacidade absorviva e biocompatibilidade destinada a produções comestíveis e não comestíveis (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

Existe considerável investimento em pesquisas na área de coprodutos agrícolas e alimentícios para a produção de celulose vegetal e celulose bacteriana (CB) com o objetivo de viabilizar as produções e rendimento deste biopolímero com economia de custos, uso de matérias renováveis e reduzir volume de poluentes gerados pelas indústrias (GUPTE et al., 2021; MA et al., 2022). E assim otimizar o processo de obtenção, exploração e uso desse biopolímero, tornando-o promissor na área alimentícia (AZEREDO et al., 2019; LIN et al., 2020).

Mediante demandas por cadeias produtivas sustentáveis, por produtos de qualidade e busca por estilo de vida mais saudável com alteração nos hábitos de consumo, empresas e indústrias do ramo alimentício têm buscado alternativas à essas necessidades para não perderem espaço no mercado, sendo a celulose aplicada aos alimentos uma das alternativas possíveis (ARAÚJO et al., 2022; DI VITA et al., 2019; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2021).

Todavia, a celulose possui algumas limitações como, por exemplo, baixa hidrofobicidade, comportamento de aglomeração e presença de áreas amorfas (HE et al., 2021). Na aplicação alimentar, essas características da celulose, não purificada, mencionadas podem causar problemas tecnológicos, por exemplo, instabilidade em emulsões.

Deste modo, a funcionalização da celulose é necessária e ocorre mediante intervenções mecânicas e químicas que removem áreas amorfas, promovem modificações físicas na estrutura molecular, obtendo assim nanomateriais celulósicos que demonstram ser mais versáteis e vantajosos (CHEN et al., 2021; KHALID et al., 2021; ZHOU; ZHANG; WANG, 2022).

Logo, pesquisadores e indústrias demonstram interesse em utilização de nanomateriais celulósicos em alimentos (nanocelulose bacteriana, celulose nano fibrilada e nanocristais), dimensionados abaixo de 100 nm, haja visto que a estrutura nanométrica permite maior área superficial e de interação com outros componentes do meio, possui características anfifílicas e adsorção em interface óleo/água que contribuem para ação emulsificante e para produção de micelas, além de maior resistência térmica e mecânica (HE et al., 2021; KHALID et al., 2021; LI et al., 2021).

Devido a porosidade presente em nanofibrilas de celulose bacteriana e a possibilidade dessa característica ser aumentada em CB e em outros nanomateriais celulósicos, mediante tratamentos físicos, químicos e enzimáticos, a utilização da celulose em processos de impregnação de substâncias bioativas, antimicrobianas e probióticos também são relatados e aplicados na área alimentícia e de embalagens (AZEREDO et al., 2019).

Assim sendo, a celulose de diferentes fontes demonstra ser opções promissoras para produtos com teor calórico reduzido mediante função de substituto de gordura com ação estabilizante, emulsificante, além de menor teor de aditivos sintéticos e sódio e garantindo manutenção de aspectos sensoriais adequados, melhor retenção de água nos alimentos, conservação de alimentos, além de ser possível o uso da CB no tratamento de efluentes industriais por utilizá-los como meio de cultivo de menor custo (GUO et al., 2018; MARCHETTI; ANDRÉS, 2021; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021; ZHAI et al., 2018).

Esta revisão objetivou discorrer as possibilidades de aplicação e vantagens da celulose vegetal, bacteriana e celulose de SCOPY no setor alimentício, como aditivo ou ingrediente na inovação de formulações e seu potencial como biopolímero na elaboração de revestimentos biodegradáveis, além de expor as possibilidades de recuperação e reciclagem de resíduos na indústria de alimentos como meios de cultivo para CB e biomassas para extração de celulose vegetal, com foco na viabilidade funcional e de custo-benefício desse material, confrontando com os desafios e oportunidades no setor.

2 FONTES DE CELULOSE

2.1 Celulose vegetal

A celulose vegetal é um biopolímero amplamente disponível na natureza, constituinte da biomassa lignocelulósica de plantas e é a principal substância presente na parede celular vegetal (GALIWANGO et al., 2019; THAKUR et al., 2020). Esta biomassa é composta pelos polissacarídeos - lignina, hemicelulose e celulose - em que a lignina e hemicelulose funcionam como materiais estruturais e a celulose é um componente de reforço (HE et al., 2021; RANA et al., 2021).

Acerca das propriedades da celulose, podem ser citadas a sua capacidade biodegradável, baixa toxicidade, biocompatibilidade, estabilidade química, reciclabilidade e resistência ao calor devido à grande quantidade de ligações de hidrogênio sendo assim, considerada como substituta à polímeros oriundos de petróleo e contribuindo para aumento da fabricação de bioprodutos (RANA; FROLLINI; THAKUR, 2021; TANPICHAI et al., 2022). Diante dessas propriedades, proporciona maior degradabilidade e ainda existe a vantagem de se utilizar nanocelulose em outras matrizes, por exemplo, proporcionando efeito de reforço mediante beneficiamento de propriedades mecânicas em embalagens (DEBNATH; HALDAR; PURKAIT, 2021; KOUSHESH SABA; AMINI, 2017).

A celulose é obtida principalmente a partir do algodão e cânhamo, mesmo assim pode ser obtida de uma ampla variedade de materiais e os resíduos agroindustriais têm sido promissores para esta obtenção (SURENDRAN; SHERJE, 2022). Pesquisas notaram a potencialidade de resíduos agrícolas, coprodutos madeireiros e vegetais como, por exemplo, caule de bananeira, folhas de abacaxi e resíduos de tamareiras são estudadas como matérias primas possíveis na obtenção de fibras celulósicas e nanocelulose (MOHAMAD; JAI, 2022; RAMESH; RADHAKRISHNAN, 2019; RATTANAWONGKUN et al., 2020).

A presença de constituintes não celulósicos, como lignina e hemicelulose influenciam negativamente no uso da celulose vegetal, pois confere alta absorção de umidade, baixa resistência mecânica e térmica (SURENDRAN; SHERJE, 2022). A purificação da celulose consiste na remoção de lignina, hemicelulose, pectina e outros componentes intrínsecos da matéria vegetal, mediante tratamentos mecânicos e químicos, além do branqueamento do material e deste modo, propicia modificações e transformações estruturais que tornam o material funcional (BANGAR et al., 2022).

A remoção de hemicelulose e lignina, por exemplo, influenciará em fibras mais maleáveis, maior resistência mecânica e índice de cristalinidade, aumento da estabilidade térmica, além da melhoria na interação com o meio que é inserida devido modificações químicas em sua superfície, logo, torna-se apta a aplicações em alimentos, como estabilizante de emulsões e fibra de reforço no aprimoramento de embalagens, além de seu uso em conjunto com outros polímeros, antimicrobianos e corantes na produção de revestimentos ativos úteis, inclusive com função indicativa de frescor de alimentos (HE et al., 2021b; MUDOI; SINHA; PARTHASARTHY, 2022; PERUMAL et al., 2022; TANPICHAI et al., 2022).

O índice de cristalinidade da celulose é importante e o seu aumento é almejado durante os processos de tratamento do material celulósico, pois quanto maior a remoção de áreas amorfas na estrutura química da celulose, melhor serão as propriedades mecânicas e funcionais, como maior módulo de elasticidade e resistência à tração, ou seja, são materiais que possuem menores capacidades de esticar ou deformar, sendo úteis em aplicações como substâncias de reforço, em embalagens que demandam essas características, por exemplo. (KHALID et al., 2021; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Resíduos da plantação de tamareiras (*Phoenix dactylifera L*) foram pré-tratados com benzeno e etanol para o isolamento da celulose na matriz vegetal e submetidos a tratamentos com HCl, NaOH, ácido acético, peróxido de hidrogênio, ácido sulfúrico, aquecimentos e lavagens e atingiram alta cristalinidade e isolamento de celulose e α -celulose, sendo esta última composta por arranjo triclínico na região cristalina, considerada a porção celulósica de maior massa molecular e pura do material de origem, além de ser insolúvel em solução de NaOH a 17,5% (m/m) (GALIWANGO et al., 2019). Thakur et al., (2020) verificaram a possibilidade de-extração de nanocristais de celulose em casca de arroz por hidrólise ácida com ácido sulfúrico e a possibilidade da sua reprodução em larga escala de forma eficiente.

Diante da investigação acerca da aplicabilidade desses materiais celulósicos obtidos mediante subprodutos, Olad, Doustdar e Gharekhani (2020) obtiveram nanocristais de celulose a partir de resíduos de casca de batata e os utilizaram como reforço em hidrogel polimérico a base de amido, tornando o material mais absorvente e rígido.

Os nanomateriais originados a partir da celulose vegetal são objeto de estudo científico e altamente aplicáveis em segmentos industriais devido, por exemplo, ao seu grau de resistência a tração, leveza, transparência e estabilidade térmica (NG et

al., 2021; RANA; FROLLINI; THAKUR, 2021; THAKUR et al., 2020). A obtenção de nanofibras de celulose pode ser por ação mecânica ou química e a hidrólise enzimática ou ácida é utilizada para extração de nanocristais que possuem formato de agulha e demonstra remoção de regiões amorfas, maior área superficial, cristalinidade e melhora das propriedades mecânicas (RANA; FROLLINI; THAKUR, 2021; SURENDRAN; SHERJE, 2022).

2.2 Celulose bacteriana

A celulose de origem vegetal é o biopolímero mais utilizado, todavia esse polissacarídeo pode ser obtido também através de microrganismos, algas e produção por enzimas (MANAN et al., 2022; WATANABE et al., 2015). Algumas espécies bacterianas são capazes de sintetizar celulose quando inoculadas em meios com polissacarídeos e oxigênio (MARTÍNEZ-SANZ et al., 2011).

A biossíntese de celulose bacteriana consiste primeiramente pela polimerização intracelular (citoplasma bacteriano) de unidades de glicose em cadeias poliméricas unidas por ligações glicosídicas β -(1,4)-glucana mediante ação de quatro enzimas – glicoquinase, fosfoglicomutase, uridina difosfoglicose pirofosforilase (UDPGlc) e celulose sintase (DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022). Em seguida ocorre o transporte via membrana celular para o meio extracelular dessas cadeias em forma de fibrilas e no meio de cultura finalmente ocorre o empacotamento das fibrilas de celulose, formação de ligações de hidrogênio intra e intermolecular entre as cadeias e estruturação ordenada em microfibrilas (MANAN et al., 2022).

As cadeias de β -(1,4)-glucana produzidas intracelularmente nas células bacterianas possuem aproximadamente 15.000 unidades de glicose e são secretadas para o meio externo por meio de poros, canais e proteínas que facilitam a difusão e consequentemente o transporte das fibrilas de celulose pelas membranas plasmáticas. No meio extracelular se apresentam em forma de películas gelatinosas na interface líquido-ar quando em meio de cultura estático ou na forma de pellets em sistemas sob agitação (ACHESON; DEREWENDA; ZIMMER, 2019; MANAN et al., 2022).

As celulosas de ambas origens (vegetal e bacteriana) apresentam a mesma fórmula química, porém a celulose bacteriana apresenta diferenças em sua constituição molecular, uma vez que não possui biopolímeros de hemicelulose e lignina ligados à sua matriz, logo é uma substância mais pura em relação a vegetal,

possui mais áreas cristalinas, além de estrutura nanocelulósica e com isso os tratamentos para remoção de detritos celulares e do meio de cultivo ou processo de hidrólise demandam menor consumo energético e concentração reduzida de químicos (ARSERIM-UÇAR et al., 2021; CHEN et al., 2021).

As microfibrilas de celulose de origem bacteriana são menores, com fibras dispersas em uma rede que forma um hidrogel com capacidade alta de absorção de água, alta cristalinidade, porosa, muitos grupos hidroxila que podem sofrer modificações químicas de forma eficiente para uso em diversos materiais ou transformado em produtos diversos (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; CHEN et al., 2022).

Ademais, a CB apresenta biocompatibilidade, ausência de toxicidade, baixa densidade, alta pureza, alta resistência à tração e elasticidade, elevada capacidade de retenção de água e biodegradabilidade, o que permite sua aplicação em substituição à celulose vegetal de forma ampla desde área alimentícia, a uso medicinal (tecidos, implantes), farmacêutico, cosmético, eletrônico (material condutor de eletricidade), têxtil, papel de origem sustentável, desenvolvimento de produtos absorventes e membranas adsorventes para remoção de metais pesados em ambientes pluviais, inclusive uso de suas nanopartículas como reforço em materiais da construção civil (ARSERIM-UÇAR et al., 2021; GORGIEVA; TRČEK, 2019; GREGORY et al., 2021).

A celulose bacteriana pode ser produzida por uma variedade de microrganismos relatados na literatura em uma diversidade de estudos, e inclui bactérias do gênero *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Sarcina*, *Gluconobacter*, *Komagataeibacter*, *Rhizobium*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Dickeya* e *Rhodobacter* (CHAKRAVORTY et al., 2016; SINGHANIA et al., 2022).

A bactéria *Komagataeibacter xylinus* caracterizada por ser Gram-negativa e aeróbica estrita é a mais importante e citada como produtora de CB, sendo eficiente na conversão metabólica de substratos fontes de carbono e nitrogênio em material celulósico (CHAKRAVORTY et al., 2016; REINIATI; HRYMAK; MARGARITIS, 2017).

A produção de CB, entretanto, possui desvantagens como baixa conversão de substrato em matéria celulósica e alto custo com meios de cultura, sendo o meio Hestrin e Schramm (HS) composto por glicose, peptona e extrato de levedura, o mais utilizado frequentemente, além do tempo necessário de produção e utilização de biorreatores (LIN et al., 2020; SINGHANIA et al., 2022).

Porém, a fim de minimizar esses contrapontos e otimizar o rendimento de CB, o uso coprodutos e resíduos da indústria alimentícia como meios de cultivo e a incorporação de consórcios microbianos como o SCOBY, têm sido relatados em estudos que buscam por bioprocessos não convencionais (SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021). Por conseguinte, proporciona utilidade e sustentabilidade por meio do desenvolvimento de novos produtos a partir de resíduos com valor agregado (GREGORY et al., 2021; LEONARSKI et al., 2022; VUKMANOVIĆ et al., 2022).

Corroborando com o uso de resíduos agroindustriais e espécies bacterianas na produção de CB, Machado et al., (2018) relataram o isolamento de *K. rhaeticus* em kombucha e investigação sobre a sua capacidade em produzir CB mediante suplementação com fonte alternativa de carbono, o melaço de cana-de açúcar. Os resultados evidenciaram rendimento próximo às aquelas obtidos em meio de cultura padrão com HS e assim demonstrou a promissora utilização de coprodutos agroindustriais na produção de CB com baixo custo produtivo.

Skiba et al., (2020) escolheram utilizar biomassa celulósica residual de cascas de aveia submetidas a pré-tratamento com HNO₃, hidrólise enzimática e NaOH (4%). Adicionalmente, introduziram uma cultura simbiótica de *Medusomyces gisevi* para avaliar seu impacto no aumento do rendimento de celulose bacteriana (CB). A escolha desse consórcio microbiano foi motivada por sua capacidade adaptativa a mudanças no ambiente de produção.

No processo, foram utilizados 15 kg de casca de aveia para obter 118 litros de meio de cultura. Após sete dias de incubação a 27°C neste meio de cultura, resultou na produção de 11,8 kg de celulose bacteriana (base úmida). O experimento finalizou com um rendimento celulósico de 80, 5 toneladas de CB (base úmida) para cada 100 toneladas de resíduo de aveia (SKIBA et al., 2020).

2.3 Obtenção de celulose bacteriana via SCOBY proveniente da fermentação de kombucha

A celulose bacteriana produzida durante a fermentação da kombucha (Figura 1) é considerada um subproduto dessa bebida, porém tem uma importante função de suporte à cultura simbiótica existente no meio, em que as bactérias se instalam na parte superior da película celulósica a fim de garantir suporte de O₂, e as leveduras osmofílicas se fixam na parte inferior que está em contato direto com o chá (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Figura 1.1 - (A) celulose de SCOBY; (B) Celulose de SCOBY em chá para a manutenção da comunidade microbiana e produção de celulose bacteriana



Fonte: autoria própria.

De acordo com regulamentação (Instrução Normativa nº 41 de 2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), kombucha é uma bebida obtida por método de infusão ou extrato de *Camellia sinensis*, adicionada de açúcares e cultura simbiótica de bactérias e leveduras microbiologicamente ativas (SCOBY) que realizam respiração aeróbica e fermentação anaeróbica (BRASIL, 2019).

A simbiose entre os microrganismos presentes favorece a hidrólise de sacarose em açúcares redutores (glicose e frutose), produção de etanol, dióxido de carbono, compostos ácidos, como ácido acético, glucônico, málico, glucurônico, diversas vitaminas (B1, B2, B6, B12 e C), e as bactérias presentes na kombucha geram substâncias antimicrobianas e celulose bacteriana (CHAKRAVORTY et al., 2016; GAGGÌA et al., 2019; LEONARSKI et al., 2022).

Esse material celulósico é produzido continuamente enquanto houver substratos para serem convertidos, e na produção de kombucha, especificamente, novas películas são depositadas umas sobre as outras formando várias camadas no molde do local em que estão e contribuem para a segurança do ambiente contra possíveis contaminações e microrganismos competidores indesejáveis (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

O SCOBY possui poucas diferenças em relação à CB produzida por uma única cepa, possuindo características de biocompatibilidade, ausência de toxicidade, o que o torna também aplicável em substituição à celulose vegetal (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; SHARMA; BHARDWAJ, 2019b). Em relação à caracterização, possui uma estrutura celulósica com uma rede densa, devido a ligações

de hidrogênio, e porosa que proporciona a este material alta absorção de água, possui nanoestrutura (20 a 100 nm) celulósica cristalina e amorfa, é um material biodegradável com ação antibacteriana e resistência térmica relatada em torno de 298 °C, resultando em uma considerável estabilidade a altas temperaturas (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; SHARMA; BHARDWAJ, 2019b; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021).

A cor do biofilme é outra característica intrínseca ao processo fermentativo sendo diretamente influenciada pelo meio de cultivo em que está inserido: quantidade e tipo de açúcar adicionado, o chá ou substrato utilizado, o período de fermentação, presença de fitoquímicos coloridos e melanoidinas, componentes estes que serão absorvidos pela película celulósica. (AZEREDO et al., 2019; TAPIAS et al., 2022).

As melanoidinas presentes advém da fermentação acética da kombucha e também do período de armazenamento do SCOBY na bebida fermentada (DIMA et al., 2017). O SCOBY, assim como celulose bacteriana produzida por uma única cepa, possui biocompatibilidade e não é tóxico, o que torna-o aplicável em substituição à celulose vegetal (ADURI et al., 2019; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Em relação a composição bioquímica, foi relatada presença de aminoácido lisina, proteínas, fibras e lipídeos, sendo que a origem do SCOBY promove variações nas substância de sua composição (JAYABALAN et al., 2010). As características de cristalinidade do SCOBY são baixas quando comparada a celulose de SCOBY submetida a métodos de purificação, justificado pela presença de ligações amorfas e substâncias da fermentação aderidas na película (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Entretanto, tratamentos tradicionais de branqueamento e purificação relatados na literatura tornam o SCOBY uma matéria-prima apta na obtenção de celulose bacteriana (ADURI et al., 2019; SHARMA; BHARDWAJ, 2019a). Os tratamentos são baseados em lavagem em água destilada e alcalinização por NaOH em alguns casos combinados com alta temperatura para clarear as películas e eliminar resíduos celulares, açúcares e outros compostos que possam estar entremeados à matriz celulósica (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021).

O relatório de tendências de mercado emitido por Grand View Research (GVR), relatou que o mercado global de kombucha foi avaliado em US\$ 2,64 bilhões no ano de 2021, em que a América do Norte contribuiu com 47,8% e há uma

prospecção de crescimento anual de 15,6% de 2022 a 2030 no setor mundial de kombucha (GVR, 2022). No Brasil, a Associação Brasileira de Kombucha (ABKOM) informa que atualmente existem 25 indústrias associadas, produzindo juntas 1,6 milhões de litros da bebida, sendo vendidas em 5.553 pontos e retornando R\$ 18,9 milhões de faturamento, mas sabe-se que existem inúmeras outras empresas produtoras de kombucha no país que estão fora dessa contagem (ABKOM, 2022).

As pesquisas, os dados econômicos, de produção e tendência de consumo apontam que haja maior desenvolvimento da indústria de kombucha e, por conseguinte pode se inferir que a produção de coproduto também se elevará, ou seja, pode se imaginar que existirá um excedente considerável de celulose de SCOBY disponível para outras aplicações que extrapolem a cadeia produtiva de kombucha (BEHERA; LAAVANYA; BALASUBRAMANIAN, 2022; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Deste modo, existem perspectivas e possibilidades do uso deste coproduto, que normalmente é destinado para nova fermentação ou descartado, para obtenção alternativa, sustentável e com menor custo de celulose bacteriana (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

2.3.1 Produção de celulose de SCOBY a partir de diversos meios de cultura

Na perspectiva de uso de SCOBY como material biodegradável, a produção em grande escala com custo reduzido foi relatada por Sharma e Bhardwaj (2019) como viável. Os autores fabricaram nanocelulose bacteriana (NCB) a partir de folhas de chá frescas e folhas de chá usadas, diferentes concentrações de glicose (20 g L⁻¹, 40 g L⁻¹, 60 g L⁻¹, 80 g L⁻¹ e 100 g L⁻¹) e o uso de SCOBY para a fermentação durante 20 dias. As películas de celulose foram tratadas com solução hidróxido de sódio (NaOH) na etapa de branqueamento. Em seguida, foi feita prensagem e secagem das películas a 60 °C para posteriormente serem usadas no preparo de filmes biodegradáveis. Os autores obtiveram êxito na produção do biomaterial com alta qualidade, baixo custo e corroborando com a estratégia de utilizar culturas microbianas mistas para alcançar melhor resultado na produção de NCB.

A película celulósica (SCOBY) se desenvolve e ao atingir uma maior espessura suprime o oxigênio e interrompe o aporte de nutrientes necessários para as leveduras e bactérias do meio fermentativo. Através do sistema de alimentação intermitente estático com chá preto, o fornecimento de O₂ e substratos nutritivos é retomado e explica o alto

rendimento obtido pelo sistema. A economia do sistema é representada pelo baixo custo no uso de chá preto que dispensa a suplementação do sistema com nitrogênio, etanol e outros componentes, com exceção do uso de açúcar, para o aumento da produção de NCB ativa (SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021).

Savary et al., (2021) observaram o crescimento de SCOBY em chá verde fermentado por 27 dias e constataram que uma camada fina e clara se desenvolveu de forma rápida na primeira semana com massa úmida de $2,27 \pm 0,15$ g. A dinâmica de desenvolvimento do SCOBY foi relatada pelos autores, e descreveram que a massa celulósica escureceu com o passar dos dias, aumentou de espessura e peso até o último dia diante de um ganho de massa úmida de aproximadamente 0,15 g/dia, o que contribuiu para que atingisse o peso úmido de $5,36 \pm 0,1$ g no vigésimo sétimo dia.

Villareal-Soto et al., (2019) produziram kombuchas de chá preto em potes com 15 cm de profundidade, porém com diâmetros, volumes e áreas diferentes (9 e 23 cm) que resultaram em ambos a produção de 23 g/L de celulose bacteriana com rendimento (% = peso seco da CB/concentração de sacarose) de 0,7% (pote de 9 cm) e 1,1% (pote de 23 cm) após 21 dias de fermentação a 25 °C. Assim determinaram que quanto maior a razão entre a superfície e altura do recipiente, mais rápida será a fermentação, e que a profundidade impacta na otimização do tempo, sendo importante na redução de custos no processo.

Sharma et al., (2021) de forma contributiva ao desenvolvimento de técnicas e parâmetros que garantam a produção de nanocelulose bacteriana de forma econômica, desenvolveram um sistema estático de alimentação intermitente com chá preto. A reposição (inoculação) de chá recém-fabricado adoçado foi feita a cada 5 dias de fermentação, e assim, favoreceu maior teor de substrato e suporte nutritivo à comunidade microbiana do SCOBY presente e potencializou a produção de celulose. O sistema testado produziu $29,2 \text{ g/L}^{-1}$ de NCB, representado por 63,2% de conversão de substrato, enquanto método convencional produziu $13,3 \text{ g/L}^{-1}$ de material nanocelulósico com conversão de 32%, logo foi constatado aumento de rendimento pela técnica aplicada.

Tapias et al., (2022) observaram que a produção do filme a partir de fermentação de kombucha é interferida pelo tipo de chá e infusões usados, sendo que em seu experimento foram escolhidos chá preto, erva-mate, lavanda, orégano, chá verde e erva-doce com sacarose como fonte de carbono do processo fermentativo. Uma nova camada da membrana celulósica foi detectada a partir do quinto dia sobre o chá e a produção em gramas, aos 21 dias, foi a mais significativa para chá preto (10,6 g/L). Esse valor atingido

demonstra-se quase próximo ao valor de 13,3 g/L alcançado por Sharma e Bhardwaj (2019b) em seu estudo de otimização de produção de celulose bacteriana por fermentação de kombucha. A produtividade do processo foi representada por 0,145-0,515 g/d e uma conversão de rendimento de 0,21 – 0,39 gramas de celulose por grama de açúcar consumido sendo considerados resultados satisfatórios.

Em produções de celulose que optam por utilizar uma única cepa bacteriana como, por exemplo, *Acetobacter xylinum* e *Komagataeibacter xylinus*, o rendimento é maior, porém com maior custo de produção comparado a consórcios microbianos, como o SCOBY que demanda substratos de baixíssimo valor, refletindo em melhor custo-benefício (GULLO et al., 2017; TAPIAS et al., 2022).

Apesar disto, Avcioglu, Birben e Bilkay (2021) recentemente investigaram uma otimização na produção de celulose bacteriana por kombucha de chá preto novo e reutilizado, a partir de um consórcio microbiano composto por *Komagataeibacter saccharivorans* LN886705, *Brettanomyces bruxellensis* MH393498 e *Brettanomyces anomalus* KY10330. O resultado foi a obtenção de 18,68 g/L de celulose bacteriana em uma condição fermentativa estática a 30 °C por 10 dias, com chá de primeiro uso, pH 6,0 e adição de 6% de glicose. O tratamento com chá reutilizado, surpreendentemente apresentou capacidade produtiva de 10,6 g/L de celulose, ainda que os resíduos do chá tivessem sido infundidos 10 vezes, tornando o processo econômico.

O estudo dos autores Avcioglu, Birben e Bilkay (2021) representou produção desse biopolímero com ótimas propriedades para uso industrial e custo-benefício interessante pelo uso repetido de resíduos de chá, entretanto, não contemplou um estudo em larga escala. Nesse sentido, Behera, Laavanya e Balasubramanian (2022), estudaram a produção de CB derivada da fermentação de kombucha a partir de uma instalação com volume de 60 toneladas/ano. O investimento necessário seria de US\$ 13,72 milhões destinados aos custos de operação, gastos com recursos humanos e instalações, com receita de produção unitária de 119,67 US\$/kg/ano. Apesar do capital inicial ser relativamente alto, os pesquisadores prospectaram que maior automatização e volume de produção tornaria esse comércio mais rentável e possível em escala industrial.

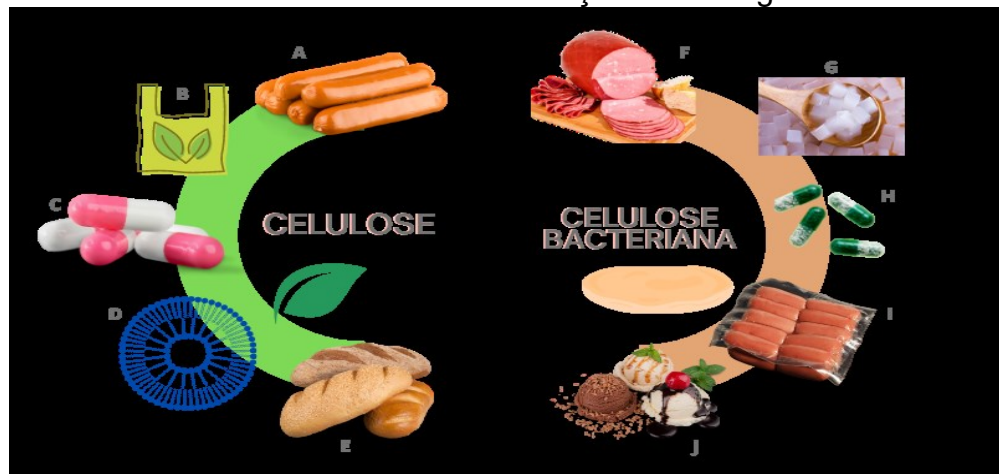
Diante da demonstração de produção excedente de celulose de SCOBY em produções de kombucha e também a possibilidade de sua síntese em meios de cultivo alternativos aos chás (*Camellia sinensis*), existe a perspectiva de seu reaproveitamento na suplementação alimentar de animais, como análogo de couro animal em indústria têxtil, na produção de biomateriais médicos, na conservação de

alimentos como embalagem biodegradável e até mesmo como alimento e ingrediente gastronômico (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; MURUGESAN; SATHISHKUMAR; SWAMINATHAN, 2005; TORÁN-PEREG et al., 2021) .

3 VIABILIDADE DA CELULOSE VEGETAL E BACTERIANA NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

A demanda por celulose, independentemente de sua fonte, na forma tradicional e em nanoestrutura, possui grande utilidade na área alimentícia por seu efeito como aditivo alimentar, exercendo função de emulsificante, estabilizante, espessante, intensificador de textura e um substituto de gordura de baixa caloria, como revestimento biodegradável e inclusive comestível e com excelentes propriedades mecânicas, físicas e também como agente carreador de compostos nutracêuticos (ADURI et al., 2019; GUO et al., 2018; HUQ et al., 2014; LI et al., 2021; PERUMAL et al., 2022). A figura 2 esquematiza algumas aplicações deste biopolímero em formulações alimentícias e embalagens.

Figura 1.2 - Produtos alimentícios em que celulose vegetal e bacteriana são utilizados com variadas funções tecnológicas



Fonte: autoria própria

Legenda: (A): Celulose vegetal aplicada em produção de embutidos cárneos como substituto de gordura; (B): celulose vegetal em material de reforço em embalagens biodegradáveis; (C): celulose vegetal em microencapsulamento; (D): celulose vegetal como partícula sólida como mecanismo Pickering (micelas) em função de emulsificante e estabilizante de diferentes emulsões; (E): celulose vegetal como substituto de amido em formulação de pães; (F): celulose bacteriana como substituto de gordura em produtos cárneos emulsionados; (G): celulose bacteriana na produção de análogos de carne, como alimento (“nata de coco”) e ingrediente na culinária; (H): celulose bacteriana como agente de reforço em microcápsulas; (I): celulose bacteriana como material para produção de revestimentos

comestíveis e biodegradáveis; (J): celulose bacteriana como substituto de gordura láctea, melhorador de rendimento e retenção de água e gordura em alimentos, além de reduzir derretimento de sorvetes.

A redução de gordura animal e sódio em produtos lácteos e cárneos é uma preocupação e exigência por parte dos órgãos fiscalizadores, consumidores e desencadeia diversas pesquisas na área, na tentativa de tornar os produtos mais saudáveis e com mínimo de perdas dos atributos sensoriais (GUO et al., 2018; NIETO; LORENZO, 2021). Diante disso, nanocelulose vegetal e bacteriana por exprimirem retenção de água e estabilidade térmica, são utilizadas em formulações que prezam por redução de teor lipídico, principalmente (PERUMAL et al., 2022).

Em produtos cárneos, a gordura animal possui ação tecnológica na estabilidade da emulsão, sendo responsável pela união e homogeneização com outras substâncias da formulação, além de fornecer aspectos sensoriais de sabor e textura importantes, por exemplo, além de reduzir o encolhimento e suculência da carne durante o cozimento, por esse motivo os substitutos de gordura são estudados prezando principalmente a mínima modificação das características dos produtos (MARCHETTI; ANDRÉS, 2021).

Nesse sentido, Faria et al., (2015) produziram linguças do tipo bolonha com substituição de 50% de toucinho suíno por uma mistura de pele suína e diferentes concentrações de celulose amorfa. O resultado foi de 42% de redução de gordura, aumento de umidade e proteína, produtos com maior brancura, redução da perda de cozimento e melhora na estabilidade da emulsão cárnea, além maiores valores de dureza, gomosidade e mastigabilidade pela adição de celulose.

Marchetti et al., (2017) analisaram uso de NCB produzida por *Gluconacetobacter xylinus* como aditivo em salsichas de carne bovina e seu efeito sobre a qualidade. Os testes reológicos e de textura demonstraram que com o uso de 0,267 g de NCB seca/100 g de massa ocorreram aumento de característica elástica e estrutura sólida sob resfriamento, aumento da dureza, coesão e mastigabilidade, além de maior capacidade de retenção de água (CRA). A adição de NCB acima desse valor causou prejuízos de qualidade: menor dureza e CRA. A estabilidade do produto foi mantida por 45 dias sob refrigeração. O rendimento nas amostras com celulose bacteriana foi maior e é justificado pela presença de emaranhados numerosos e curtos de fibras favorecendo uma estrutura densa, homogênea e coesa.

As carnes possuem um perfil lipídico com baixos níveis de ácidos graxos polinsaturados e possuem ácidos graxos saturados, por esse motivo uma das

soluções que tem sido estudada pelos cientistas é o uso de óleos vegetais na formulação de produtos cárneos seja em sua forma pura, pré-emulsionado, como substituto total ou parcial da gordura de origem animal (NIETO; LORENZO, 2021; QI et al., 2020; TEIXEIRA; RODRIGUES, 2021).

Entretanto essa substituição pelo óleo vegetal poderá gerar perdas de sabor e alterações sensoriais que reflitam na redução de aceitação pelos consumidores, o que faz surgir o desafio de solucionar essa problemática por meio do conhecimento científico nas indústrias deste segmento e a celulose tem sido amplamente estudada e testada em emulsões como alternativa na resolução deste problema (PERUMAL et al., 2022; QI et al., 2020; WANG et al., 2018).

Na tentativa de melhorar os aspectos de embutidos cárneos produzidos com óleos vegetais em substituição à gordura animal, Wang et al., (2018) desenvolveram produtos cárneos de suíno com emulsão de Pickering de óleo de palma e nanofibras de celulose (NFC). O estudo demonstrou o efeito sobre atributos físico-químicos e estruturais em derivados cárneos, como aumento da CRA e umidade, maior dureza, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade, menor teor proteico, estrutura homogênea e densa. Sensorialmente, a preferência foi pela substituição de apenas 30% de gordura suína, por proporcionar melhor sabor que aquelas com 50% de redução.

Em concordância à redução de teor de gordura em emulsões cárneas, os autores Qi et al., (2020) testaram o uso de óleo vegetal puro e em pré-emulsão com NFC de algodão e sisal e nanocristal de celulose (NCC) de algodão. A composição centesimal demonstrou que as salsichas de carne suína com celulose vegetal tiveram maior teor de proteína, umidade, CRA e menor perda de água e gordura no cozimento. As amostras formuladas com óleo de soja pré-emulsificado também apresentaram cor mais clara, melhor estabilidade da emulsão e interação supramoleculares entre água, gordura e proteínas, poder gelificante, emulsificante, textura mais firme e elástica após o cozimento, estrutura compactada com cavidades e gotículas de gordura menores distribuídas homogeneamente na matriz cárnea em salsichas que receberam o óleo emulsificado.

Sob a perspectiva de testes em emulsões com gordura láctea, Guo et al., (2018) avaliaram a incorporação de um gel formado por nanocelulose bacteriana (*Gluconacetobacter xylinus* CICC 10.529) e proteína isolada de soja em substituição ao creme de leite (matéria gorda) em sorvete. Houve melhoras na viscoelasticidade, nas taxas de derretimento, tornando o produto mais resistente e estável ao

derretimento, além de atributos sensoriais superiores na proporção de 1:20 (nanocelulose bacteriana/proteína isolada de soja). A aplicação do biopolímero forneceu estabilidade, evitando precipitação proteica e separação de fase em temperatura ambiente. A nanocelulose teve dispersão homogênea no sorvete e assim como em emulsões cárneas, apenas pequenas doses devem ser adicionadas para evitar ruptura na matriz proteica. A textura e cor foram mantidas sem diferenças significativas quando 10-20% do creme de leite foi substituído.

Diante de uma perspectiva crescente sobre consumo de alimentos probióticos, estudos envolvendo aplicação de técnicas de microencapsulação em alimentos se destacam e a celulose tem sido utilizada na formulação com o objetivo de aprimorar a eficiência e estabilização durante processamento, armazenamento e resistência do produto micro encapsulado ao conteúdo gastrointestinal e assim, por exemplo, é possível que as cepas bacterianas não percam viabilidade durante a ingestão e cheguem ao sistema intestinal em quantidade suficiente para ação probiótica (CASTRO-ROSAS et al., 2017).

Neste sentido, são relatados o uso de nanocristal de celulose para aprimorar propriedades mecânicas de microcápsulas probióticas de alginato e lecitina durante a liofilização, sendo constatada melhor preservação de bactérias lácticas (*Lactobacillus rhamnosus*) durante o transporte gástrico quando utilizado NCC e devido característica de não toxicidade, o uso de celulose em encapsulamento de probióticos permite sua aplicação em alimentos com segurança (HUQ et al., 2017).

O uso de antimicrobianos em alimentos industrializados é uma prática comum que visa aumentar a vida de prateleira e reduzir deterioração nos alimentos, deste modo, a aplicação de microesferas com substâncias antimicrobianas é uma inovação na tecnologia de alimentos (CASTRO-ROSAS et al., 2017; HUQ et al., 2014).

Corroborando com esta técnica, Huq et al., (2014) optaram por microencapsular nisina comestível em microesferas de alginato com nanocristais de celulose e então aplica-las em presunto cozido intencionalmente contaminado com *Listeria monocytogenes*. Os autores relacionaram uma melhora na redução de contagem dessa bactéria em relação a nisina não encapsulada e de forma positiva também não alterou o pH e a cor do produto (HUQ et al., 2014).

Em um contexto sobre preservação de alimentos, o setor de embalagens também possui inovações, principalmente nas tentativas de reduzir materiais não biodegradáveis, e as indústrias e instituições de pesquisas investem em estudos e

viabilização de revestimentos a base de matérias biodegradáveis e de origem sustentável (ADURI et al., 2019; CAZÓN e VÁZQUEZ, 2021; LAAVANYA et al., 2021).

Xie et al., (2020) utilizaram casca de batata em pó e celulose bacteriana como agentes de reforço, em conjunto com glicerol como plastificante e cúrcuma para efeito antioxidante na criação de embalagem ativa e biodegradável. A efetividade do filme foi testada em carne suína fresca avaliando oxidação lipídica. O material desenvolvido demonstrou maior proteção contra a luz por reduzir transparência do filme, a interação entre o biopolímero oriundo da casca do vegetal com a CB que contribui para redução da permeabilidade ao oxigênio e vapores. O estudo ainda evidenciou o potencial uso destes materiais no desenvolvimento de embalagens que exerçam efeito antioxidante e aumenta a vida útil de produtos cárneos gordurosos.

Corroborando com as outras possibilidades de aplicações de celulose, a Tabela 1 traz um resumo de estudos sobre diferentes utilizações de partículas de celulose, celulose bacteriana e celulose de SCOBY em alimentos.

Tabela -1.1 - Alguns estudos experimentais sobre uso de celulose vegetal, bacteriana e de SCOBY como ingrediente alimentar e como material na produção de embalagens biodegradáveis

Produto	CELULOSE		Substrato, meio de cultura	Objetivo	Propriedades	Referência
	Origem	Modelo				
Surimi de peixe golfinho	Bacteriana	CB <i>Gluconacetobacter xylinum</i> (BCRC12335)	Cepa comercial	Substituto de gordura e fornecer ao paladar atributos sensoriais suaves.	Redução de gordura, gelificação adequada e a adição de ≤ 5 % de CB melhorou estabilidade do gel do surimi durante o aquecimento; porém, o aumento de CB no surimi (10%) prejudicou interações na matriz cárnea e formação de gel proteico com menor rigidez.	(LIN; CHEN; CHEN, 2011)
Linguiça tipo bolonha	Vegetal	Celulose amorfa	Não mencionado	Redução de teor lipídico por uso de pele suína com celulose amorfa.	Redução de 42% de gordura e perda de cozimento, aumento da estabilidade, do teor proteico e de água, maiores valores de gomosidade, dureza, mastigabilidade e amostras com maior brancura.	(FARIA et al., 2015)
Salsicha de carne bovina	Bacteriana	Nanocelulose por <i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Cepa comercial	Aditivo –Redução de teores lipídicos e de sódio.	Aumento dos atributos de textura (dureza, coesão, mastigabilidade), estrutura sólida, elevação da retenção de água e rendimento do produto cárneo.	(MARCHETI et al., 2017)
Salsicha de carne suína	Vegetal	Nanofibras de celulose (NFC) e nanocristais de celulose (NCC)	Algodão e sisal	Redução de gordura animal a partir óleo de soja pré-emulsionado com NFC/NCC.	Melhora da composição centesimal (maior teor de proteína), maior estabilidade no cozimento (redução da perda de água e gordura), melhor dispersão da gordura, cor clara, formação de gel, textura firme e elástica, emulsão homogênea; óleo pré-emulsionado melhorou a qualidade do produto comparado a amostras com óleo puro.	(QI et al., 2020)
Salsichas fermentadas	Vegetal	Celulose microcristalina	Comercial	Redução de gordura e sal.	A composição centesimal não foi afetada, teor de gordura próximo a 25% e de 25% KCl e 75% NaCl; adição de 2% não alterou pH e perda de peso (31,00 a 34,15%), aumento da atividade de água, dureza e mastigabilidade, não afetou elasticidade e coesividade, valores adequados para coliformes termotolerantes, <i>Staphylococcus</i> coagulase positiva e ausência de <i>Salmonella</i> spp., aumento de bactérias lácticas (9 log UFC/g), controle da oxidação lipídica, ausência de alterações significativas sobre cor, aparência, sabor e textura.	(SANTOS et al., 2021)

Emulsões Pickering (óleo de amendoim e água)	Bacteriana	Nanofibras de celulose bacteriana por <i>Komagataeibacter xylinus</i> (CICC 10529).	Cepa comercial cultivada em meio fermentativo estático	Testar ação estabilizante de nanofibras de celulose bacteriana em emulsões (O/A).	0,05% (v/v) de nanofibras suficientes para boa dispersão e ação estabilizante em emulsão (O/A), sendo ideais em pH ≥ 7 , estabilidade térmica (20-100 °C), porção lipofílica e hidrofílica presente, emulsões homogêneas; força repulsiva suficiente para evitar agregação.	(ZHAI et al., 2018)
Pães sem glúten	Vegetal	Celulose e celulose fibrilada	Comercial	Redução de amido e farinha de pão sem glúten.	Redução da viscosidade da massa, aumento de solidez, coesão e consistência, menor crescimento, massa de miolo dura e menos elástica, porém confere estrutura do miolo mais fina, amostras com celulose fibrilada possuem maior CRA.	(REN; LINTER; FOSTER, 2020)
Ingrediente em pratos culinários	Bacteriana	Celulose de SCOBY	Kombucha	Agregar valor à celulose de SCOBY como alimento principal em alta gastronomia.	Inovação culinária, pontuações sensoriais (sabor, textura, odor, aparência) mais altas que celulose de SCOBY sem preparo culinário com melhora da aceitação geral dos consumidores diante do subproduto da produção de kombucha.	(TORÁN-PEREG et al., 2021)
Sorvete	Bacteriana	Nanocelulose bacteriana por <i>Gluconacetobacter xylinus</i> CICC 10.529	Cepa comercial	Substituto de gordura por gel nanobacteriano + proteína de soja.	Nanocelulose com poder de modificar reologia e viscoelasticidade e aumentar estabilidade da mistura de celulose e leite sem separação de fase (emulsificante), redução na taxa de derretimento, dispersão homogênea na matriz proteica, reforça a textura, comportamento de gel; adição de 4,8% de nanocelulose bacteriana propiciou aspecto de creme na mistura; 10% de substituição não alterou textura; 30% de gel reforçou o produto com maior elasticidade, mastigabilidade, coesividade, resiliência, aparência mais áspera e grossa.	(GUO et al., 2018)
Embalagem biodegradável (nanocelulose bacteriana + quitosana)	Celulose de SCOBY	Nanocelulose bacteriana	Kombucha	Embalagens biodegradáveis, com ação antibacteriana e com matéria-prima de baixo custo.	Atividade antibacteriana contra <i>E.coli</i> e <i>A. viridans</i> ; Eficiente na conservação de tomates por 20 dias tanto embalagem com apenas NCB de SCOBY e NCB de SCOBY + quitosana.	(SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021)
Embalagem biodegradável	Celulose de SCOBY	Celulose bacteriana lavada e seca.	Kombucha	Embalagens biodegradáveis com baixo custo	Atividade antibacteriana contra <i>Bacillus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Staphylococcus</i> e <i>Pseudomonas</i> , material poroso e absorvivo que necessita de outro composto em sua formulação para torná-lo apto a embalar líquidos, não nociva a aparência e nutrientes dos alimentos, degradação do revestimento facilitada.	(ADURI et al., 2019)

Embalagem ativa (nano-ZnO + 0,5% (p/v) de CMC)	Vegetal	Carboximetilcelulose	Não mencionado	Revestimento ativo e comestível para preservar romã.	O revestimento aumentou vida útil de romã, menor perda de peso e suco da fruta, preservou maior teor de vitamina C, maior teor de antocianinas e AAT, menores alterações de CFT e perda de compostos bioativos, alterações de pH não significativas; tratamento com nano-ZnO reduziu total de leveduras por 12 dias e mesofílicas por 6 dias, tratamento com nano-ZnO a 0,2% mais eficiente na redução de bolores e leveduras.	(KOUSHES H SABA; AMINI, 2017)
Embalagem ativa (quitosana + acetato de celulose + nano-ZnO)	Vegetal	Acetato de celulose	Comercial	Revestimento ativo, biodegradável para preservar uvas pretas.	Ação antimicrobiana, baixa molhabilidade, flexibilidade, rigidez adequada para embalagem, proteção quanto a absorção UV, biodegradabilidade de 30 a 50% em 28 dias, aumentou vida útil das uvas em 9 dias, opacidade, hidrofobicidade e barreira contra O ₂ aumentaram com incorporação de nano-ZnO e reduziu a porosidade.	(INDUMAT HI; SARAL SARAJINI; RAJARAJE SWARI, 2019)

Legenda: CMC: Carboximetilcelulose; nano-ZnO: nanopartículas de óxido de zinco; CFT: compostos fenólicos totais; AAT: atividade antioxidante total; O/A: emulsão composta por óleo e água.

É possível inferir por meio dos dados levantados que a celulose de diferentes origens possui alto potencial sobre produções alimentícias e como reforço em alimentos e em materiais de revestimento, além de possuir funções e propriedades tecnológicas evidentes sobre a estabilização de diferentes emulsões, principalmente em emulsões cárneas (LIU et al., 2015; PARÉS et al., 2018; ZHAI et al., 2018). Ademais pode ser um material a ser explorado em produções veganas e alimentações com restrições de produtos de origem animal, como mimético de carnes com auxílio de pigmentação por *Monascus purpureus*, por exemplo (LIN et al., 2020; PURWADARIA; GUNAWAN; WYDIA GUNAWAN, 2010).

4 CONCLUSÃO

Observou-se uma tendência de execução de experimentos atuais com foco em formas de obtenção de celuloses e exploração como biopolímero útil, funcional e tecnológico em aplicações alimentícias. E diante da demanda por processos que minimizem prejuízos ambientais, os pesquisadores buscam por extração de fibras de celulose a partir de resíduos agrícolas e produção de celulose bacteriana a partir de fermentações por cultivos e substratos oriundos de materiais residuais e coprodutos.

A celulose bacteriana dispensa tratamentos onerosos e poluentes para purificação, além da possibilidade de uso de meios de cultivo a base de matérias orgânicas de descarte e/ou coprodutos de indústrias alimentícias que torna a sua obtenção com menor custo e mais sustentável comparada à celulose vegetal. Todavia, maiores estudos ainda são necessários para proporcionar um aumento no rendimento da produção de CB de acordo com sua síntese.

Neste contexto, existe uma expectativa sobre o aumento da aplicabilidade da CB, principalmente a partir da sua submissão a processos químicos que alterem grupos hidroxila presentes e assim permitindo expressão de características funcionais, atrativas e aplicáveis como aditivo alimentar importante na melhora da qualidade, saudabilidade e vida útil de produtos alimentícios.

Esta revisão revelou que celuloses de diferentes origens e morfologias são promissoras em formulações e fabricação de novos produtos alimentícios, excelente capacidade em estabilizar emulsões alimentares diversas, auxiliar em formulações com teores reduzidos de gordura, sal e amido e eficiente como material de embalagem para melhor conservação de alimentos.

Diante dos estudos levantados, notou-se que a obtenção e utilização de celuloses de origens vegetais são mais frequentes que a celulose bacteriana, sendo justificável pela ampla disponibilidade deste material, sua obtenção economicamente mais viável e rápida em relação a celulose bacteriana. Logo, ainda existem mais estudos utilizando celulose vegetal como biopolímero e como substitutos de ingredientes em formulações de produtos alimentícios.

A celulose de SCOBY representa uma das estratégias na obtenção de biopolímero celulósico com menor custo, uma vez que podem ser utilizados chás, resíduos de frutas e de outros alimentos, além de fontes baratas de açúcar para que o processo fermentativo se desenvolva e haja produção de celulose.

Entretanto, nota-se escassez de estudos que explorem a obtenção da celulose de SCOBY em escala industrial e o seu uso em produtos alimentícios, sendo necessária essa exploração científica e industrial para que alcance competitividade econômica e viabilidade comercial com este material, e assim torná-lo uma alternativa rentável para a produção e aplicação em alimentos deste coproduto oriundo da fabricação de kombucha.

REFERÊNCIAS

ABKOM. **Associação Brasileira de Kombucha**. 2022. Disponível em: <https://abkom.org.br/>. Acesso em: 23 out. 2022.

ACHESON, Justin F.; DEREWENDA, Zygmunt S.; ZIMMER, Jochen. Architecture of the Cellulose Synthase Outer Membrane Channel and Its Association with the <https://doi.org/10.1016/j.str.2019.09.008>. Periplasmic TPR Domain. **Structure**, [S. l.], v. 27, n. 12, p. 1855- 1861.e3, 2019. DOI: . Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969212619303144>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ADURI, Priyanka; RAO, Kokolu Ankita; FATIMA, Areeba; PRIYANKA, Kaul; SHALINI, A. Study of biodegradable packaging material produced from SCOBY. **Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 389–404, 2019. DOI: <http://doi.org/10.26479/2019.0503.32>. Disponível em: <http://www.rjlbpccs.com/article-pdf-downloads/2019/28/644.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2021.

AMARASEKARA, Ananda S.; WANG, Deping; GRADY, Tony L. A comparison of kombucha SCOBY bacterial cellulose purification methods. **SN Applied Sciences**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 1–7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1982-2>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s42452-020-1982-2>. Acesso em: 13 abr. 2022.

ARAÚJO, Priscila Dinah De; ARAÚJO, Wilma Maria Coelho; PATARATA, Luís; FRAQUEZA, Maria João. Understanding the main factors that influence consumer quality

perception and attitude towards meat and processed meat products. **Meat Science**, [S. l.], v. 193, p. 1–12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108952>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174022002200>. Acesso em: 20 set. 2022.

ARSERIM-UÇAR, Dilhun Keriman; KOREL, Figen; LIU, LinShu; YAM, Kit L. Characterization of bacterial cellulose nanocrystals: Effect of acid treatments and neutralization. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 336, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127597>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030881462031459X>. Acesso em: 3 mar. 2022.

AVCIOGLU, Nermin Hande; BIRBEN, Meric; SEYIS BILKAY, Isil. Optimization and physicochemical characterization of enhanced microbial cellulose production with a new Kombucha consortium. **Process Biochemistry**, [S. l.], v. 108, p. 60–68, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.06.005>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359511321001872>. Acesso em: 9 abr. 2022.

AZEREDO, Henriette M. C.; BARUD, Hernane; FARINAS, Cristiane S.; VASCONCELLOS, Vanessa M.; CLARO, Amanda M. Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 3, p. 1–14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00007>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2019.00007/full>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BANGAR, Sneh Punia; HARUSSANI, M. M.; ILYAS, R. A.; ASHOGBON, Adeleke Omodunbi; SINGH, Arashdeep; TRIF, Monica; JAFARI, Seid Mahdi. Surface modifications of cellulose nanocrystals: Processes, properties, and applications. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 130, p. 1–21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107689>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X22002090>. Acesso em: 20 set. 2022.

BEHERA, Bunushree; LAAVANYA, D.; BALASUBRAMANIAN, Paramasivan. Techno-economic feasibility assessment of bacterial cellulose biofilm production during the Kombucha fermentation process. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 346, p. 1–7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126659>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421020010>. Acesso em: 3 set. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. **DOU - Imprensa Nacional**, [S. l.], n. 181, p. 13, 2019. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/09/2019&jornal=515&pagina=13&totalArquivos=76%0Ahttp://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-41-de-17-de-setembro-de-2019-216803534%0Ahttps://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instruca>.

CASTRO-ROSAS, Javier; FERREIRA-GROSSO, Carlos Raimundo; GÓMEZ-ALDAPA, Carlos Alberto; RANGEL-VARGAS, Esmeralda; RODRÍGUEZ-MARÍN, María Luisa; GUZMÁN-ORTIZ, Fabiola Araceli; FALFAN-CORTES, Reyna Nallely. Recent advances in microencapsulation of natural sources of antimicrobial compounds used in food - A review. **Food Research International**, [S. l.], v. 102, p. 575–587, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.054>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096399691730621X>. Acesso em: 1 nov. 2021.

CHAKRAVORTY, Somnath; BHATTACHARYA, Semantee; CHATZINOTAS, Antonis; CHAKRABORTY, Writachit; BHATTACHARYA, Debanjana; GACHHUI, Ratan. Kombucha tea fermentation: microbial and biochemical dynamics. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 220, p. 63–72, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>. Acesso em: 13 maio. 2021.

CHEN, Chuntao; DING, Weixiao; ZHANG, Heng; ZHANG, Lei; HUANG, Yang; FAN, Mengmeng; YANG, Jiazhi; SUN, Dongping. Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 278, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118995>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721013825>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CHEN, Si-Qian; MELDRUM, Oliver W.; LIAO, Qiudong; LI, Zhaofeng; CAO, Xiao; GUO, Lei; ZHANG, Shuyan; ZHU, Jie; LI, Lin. The influence of alkaline treatment on the mechanical and structural properties of bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 271, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118431>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721008183>. Acesso em: 10 maio. 2022.

DEBNATH, Banhisikha; HALDAR, Dibyajyoti; PURKAIT, Mihir Kumar. A critical review on the techniques used for the synthesis and applications of crystalline cellulose derived from agricultural wastes and forest residues. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 273, n. August, p. 1–17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118537>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721009243>. Acesso em: 13 abr. 2022.

DI VITA, Giuseppe; BLANC, Simone; BRUN, Filippo; BRACCO, Salvatore; D'AMICO, Mario. Quality attributes and harmful components of cured meats: Exploring the attitudes of Italian consumers towards healthier cooked ham. **Meat Science**, [S. l.], v. 155, p. 8–15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.013>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174018308805>. Acesso em: 29 jun. 2022.

DIEZ-OZAETA, Iñaki; ASTIAZARAN, Oihana Juaristi. Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 377, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160522002550>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FARIA, Miriam de Oliveira; CIPRIANO, Tayssa Martins; ADRIANO, Gomes da Cruz; SANTOS, Bibiana Alves Dos; POLLONIO, Marise Aparecida Rodrigues; CAMPAGNOL, Paulo Cezar Bastianello. Properties of bologna-type sausages with pork back-fat replaced with pork skin and amorphous cellulose. **Meat Science**, [S. l.], v. 104, p. 44–51, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.02.002>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174015000376>. Acesso em: 6 abr. 2022.

GAGGIÀ, Francesca et al. Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. **Nutrients**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 1–22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010001>. Disponível em:

<http://www.mdpi.com/2072-6643/11/1/1>. Acesso em: 31 ago. 2021.

GALIWANGO, Emmanuel; ABDEL RAHMAN, Nour S.; AL-MARZOUQI, Ali H.; ABU-OMAR, Mahdi M.; KHALEEL, Abbas A. Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. **Heliyon**, [S. l.], v. 5, n. 12, p. 1–8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02937>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S240584401936596X>. Acesso em: 10 mar. 2022.

GORGIEVA; TRČEK. Bacterial Cellulose: Production, Modification and Perspectives in Biomedical Applications. **Nanomaterials**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. 1–20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9101352>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/9/10/1352>. Acesso em: 8 maio. 2022.

GREGORY, David A.; TRIPATHI, Lakshmi; FRICKER, Annabelle T. R.; ASARE, Emmanuel; ORLANDO, Isabel; RAGHAVENDRAN, Vijayendran; ROY, Ipsita. Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, [S. l.], v. 145, p. 1–27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100623>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927796X21000188>. Acesso em: 10 fev. 2022.

GULLO, Maria; SOLA, Antonella; ZANICHELLI, Gabriele; MONTORSI, Monia; MESSORI, Massimo; GIUDICI, Paolo. Increased production of bacterial cellulose as starting point for scaled-up applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [S. l.], v. 101, n. 22, p. 8115–8127, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8539-3>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00253-017-8539-3>.

GUO, Yan; ZHANG, Xianhao; HAO, Wenhui; XIE, Yumei; CHEN, Lin; LI, Zhixi; ZHU, Beiwei; FENG, Xianchao. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 198, n. May, p. 620–630, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.078>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014486171830732X>. Acesso em: 10 maio. 2021.

GUPTE, Yash et al. Characterization of nanocellulose production by strains of Komagataeibacter sp. isolated from organic waste and Kombucha. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 266, p. 118176, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118176>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721005634>. Acesso em: 20 set. 2021.

GVR. **Report overview**. [s.l.: s.n.]. DOI: 10.18356/9ba8eaeb-en. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>.

HE, Xiangxiang; LU, Wei; SUN, Cuixia; KHALESI, Hoda; MATA, Analucia; ANDALEEB, Rani; FANG, Yapeng. Cellulose and cellulose derivatives: Different colloidal states and food-related applications. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 255, p. 1–23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117334>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861720315071>. Acesso em: 20 out. 2022.

HUQ, Tanzina; FRASCHINI, Carole; KHAN, Avik; RIEDL, Bernard; BOUCHARD, Jean; LACROIX, Monique. Alginate based nanocomposite for microencapsulation of probiotic: Effect of cellulose nanocrystal (CNC) and lecithin. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 168, p. 61–69, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.032>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861717302886>. Acesso em: 10 abr. 2022.

HUQ, Tanzina; RIEDL, Bernard; BOUCHARD, Jean; SALMIERI, Stephane; LACROIX, Monique. Microencapsulation of nisin in alginate-cellulose nanocrystal (CNC) microbeads for prolonged efficacy against *Listeria monocytogenes*. **Cellulose**, [S. l.], v. 21, n. 6, p. 4309–4321, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0432-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-014-0432-y>. Acesso em 10 mar. 2022.

INDUMATHI, M. P.; SARAL SAROJINI, K.; RAJARAJESWARI, G. R. Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grape fruits. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 132, p. 1112–1120, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.171>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813019308086>. Acesso em: 8 abr. 2022.

JAYABALAN, Rasu; MALINI, Kesavan; SATHISHKUMAR, Muthuswamy; SWAMINATHAN, Krishnaswami; YUN, Sei-Eok. Biochemical characteristics of tea fungus produced during kombucha fermentation. **Food Science and Biotechnology**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 843–847, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0119-6>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10068-010-0119-6>.

KHALID, Muhammad Yasir; AL RASHID, Ans; ARIF, Zia Ullah; AHMED, Waqas; ARSHAD, Hassan. Recent advances in nanocellulose-based different biomaterials: types, properties, and emerging applications. **Journal of Materials Research and Technology**, [S. l.], v. 14, p. 2601–2623, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.128>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2238785421007924>. Acesso em: 10 maio. 2022.

KOUSHESH SABA, Mahmoud; AMINI, Rasoul. Nano-ZnO/carboxymethyl cellulose-based active coating impact on ready-to-use pomegranate during cold storage. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 232, p. 721–726, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.076>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617306465>. Acesso em: 10 mar. 2022.

LADEVANYA, D.; SHIRKOLE, Shivanand; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 295, p. 1–20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621006740>. Acesso em: 13 maio. 2021.

LEONARSKI, Eduardo; GUIMARÃES, Alana C.; CESCA, Karina; POLETTO, Patrícia. Production process and characteristics of kombucha fermented from alternative raw materials. **Food Bioscience**, [S. l.], v. 49, p. 1–15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101841>. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429222003005>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LI, Ziqian; ZHANG, Yan; ANANKANBIL, Sampson; GUO, Zheng. Applications of nanocellulosic products in food: Manufacturing processes, structural features and multifaceted functionalities. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 113, n. March, p. 277–300, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.027>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421002181>. Acesso em: 20 maio. 2022.

LIN, Dehui; LIU, Zhe; SHEN, Rui; CHEN, Siqian; YANG, Xingbin. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 158, p. 1007–1019, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813020330968>. Acesso em: 11 nov. 2021.

LIN, SHIH-BIN; CHEN, LI-CHEN; CHEN, HUI-HUANG. Physical characteristics of surimi and bacterial cellulose composite gel. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 1363–1379, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00533.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4530.2009.00533.x>. Acesso em: 13 maio. 2022.

LIU, Jianbin; SONG, Huanlu; LIU, Ye; LI, Pei; YAO, Juan; XIONG, Jian. Discovery of kokumi peptide from yeast extract by LC-Q-TOF-MS/MS and sensomics approach. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 95, n. 15, p. 3183–3194, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7058>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.7058>. Acesso em: 18 set. 2021.

MA, Jinxing; HE, Jiazhou; KONG, Xiangtong; ZHENG, Junjian; HAN, Lanfang; LIU, Yi; ZHU, Zhenchang; ZHANG, Zhong. From agricultural cellulosic waste to food delivery packaging: A mini-review. **Chinese Chemical Letters**, [S. l.], p. 1–21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2022.04.005>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001841722003473>. Acesso em: 10 maio. 2022.

MACHADO, Rachel T. A. et al. Komagataeibacter rhaeticus grown in sugarcane molasses-supplemented culture medium as a strategy for enhancing bacterial cellulose production. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 122, n. December 2017, p. 637–646, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.048>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669018305570>. Acesso em: 10 dez. 2021.

MANAN, Sehrish; ULLAH, Muhammad Wajid; UL-ISLAM, Mazhar; SHI, Zhijun; GAUTHIER, Mario; YANG, Guang. Bacterial cellulose: Molecular regulation of biosynthesis, supramolecular assembly, and tailored structural and functional properties. **Progress in Materials Science**, [S. l.], v. 129, p. 1–28, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.100972>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079642522000536>. Acesso em: 23 maio. 2022.

MARCHETTI, Lucas; ANDRÉS, Silvina C. Use of nanocellulose in meat products.

Current Opinion in Food Science, [S. l.], v. 38, p. 96–101, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.003>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214799320301235>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MARCHETTI, Lucas; MUZZIO, Bianca; CERRUTTI, Patricia; ANDRÉS, Silvina C.; CALIFANO, Alicia N. Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability. **Food Structure**, [S. l.], v. 14, p. 52–59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.06.004>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213329117300187>. Acesso em: 6 maio. 2022.

MATHIAS, Samir Leite; DE ASSUMPÇÃO PEREIRA-DA-SILVA, Marcelo; DE ALMEIDA LUCAS, Alessandra; DE MENEZES, Aparecido Junior. Potential application of cellulose nanocrystals obtained from cultivated fibers in Amazon forest. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 187, p. 1–8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115426>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669022009098>. Acesso em: 18 ago. 2022.

MOHAMAD, Nurul Amal Nadhirah; JAI, Junaidah. Response surface methodology for optimization of cellulose extraction from banana stem using NaOH-EDTA for pulp and papermaking. **Heliyon**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09114>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844022004029>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MURUGESAN, G. .; SATHISHKUMAR, M.; SWAMINATHAN, K. Supplementation of waste tea fungal biomass as a dietary ingredient for broiler chicks. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 96, n. 16, p. 1743–1748, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.006>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096085240500060X>. Acesso em: 20 set. 2021.

NAVYA, P. V.; GAYATHRI, Varnakumar; SAMANTA, Debasis; SAMPATH, Srinivasan. Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 220, p. 435–461, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813022017500>. Acesso em: 20 ago. 2022.

NG, Law Yong; WONG, Ting Jun; NG, Ching Yin; AMELIA, Chiang Kar Mun. A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from *Elaeis guineensis* empty fruit bunches. **Arabian Journal of Chemistry**, [S. l.], v. 14, n. 9, p. 1–25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103339>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878535221003543>. Acesso em: 20 abr. 2022.

NIETO, Gema; LORENZO, José M. Use of olive oil as fat replacer in meat emulsions. **Current Opinion in Food Science**, [S. l.], v. 40, p. 179–186, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.007>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214799321000734>. Acesso em: 10 set. 2022.

2021.

OLAD, Ali; DOUSTDAR, Fatemeh; GHAREKHANI, Hamed. Fabrication and characterization of a starch-based superabsorbent hydrogel composite reinforced with cellulose nanocrystals from potato peel waste. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S. l.], v. 601, p. 1–12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124962>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775720305550>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PARÉS, Dolors; PÈLACH, M. Àngels; TOLDRA, Mònica; SAGUER, Elena; TARRÉS, Quim; CARRETERO, Carmen. Nanofibrillated Cellulose as Functional Ingredient in Emulsion-Type Meat Products. **Food and Bioprocess Technology**, [S. l.], v. 11, n. 7, p. 1393–1401, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2104-7>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11947-018-2104-7>. Acesso em: 10 ago. 2022.

PERUMAL, Anand Babu; NAMBIAR, Reshma B.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Nanocellulose: Recent trends and applications in the food industry. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 127, p. 1–23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107484>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X22000042>. Acesso em: 6 abr. 2022.

PURWADARIA, TRESNAWATI; GUNAWAN, LISRINA; WYDIA GUNAWAN, AGUSTIN. The Production of Nata Colored by Monascus purpureus J1 Pigments as Functional Food. **Microbiology Indonesia**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 6–10, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5454/mi.4.1.2>. Disponível em: <http://jurnal.permi.or.id/index.php/mionline/article/view/51>. Acesso em: 12 jun. 2022.

QI, Wenhui; WU, Junjie; SHU, Ying; WANG, Huiqiang; RAO, Weili; XU, Hua-Neng; ZHANG, Zhisheng. Microstructure and physiochemical properties of meat sausages based on nanocellulose-stabilized emulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 152, p. 567–575, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.285>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014181302030444X>. Acesso em: 2 mar. 2021.

RAMESH, Shruthy; RADHAKRISHNAN, Preetha. Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. **Applied Surface Science**, [S. l.], v. 484, n. December 2018, p. 1274–1281, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.003>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433219309948>. Acesso em: 12 jun. 2022.

RANA, Ashvinder Kumar; FROLLINI, Elisabete; THAKUR, Vijay Kumar. Cellulose nanocrystals: Pretreatments, preparation strategies, and surface functionalization. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 182, p. 1554–1581, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.119>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813021010941>. Acesso em: 29 abr. 2022.

RATTANAWONGKUN, Phattharasaya; KERDDONFAG, Noppadon; TAWICHA, Nattaya; INTATHA, Uraiwan; SOYKEABKAEW, Nattakan. Improving agricultural waste

pulps via self-blending concept with potential use in moulded pulp packaging. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 1–7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104320>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343720306692>. Acesso em: 3 mar. 2022.

REINIATI, Isabela; HRYMAK, Andrew N.; MARGARITIS, Argyrios. Kinetics of cell growth and crystalline nanocellulose production by *Komagataeibacter xylinus*. **Biochemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 127, p. 21–31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.07.007>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369703X17301912>. Acesso em: 20 jan. 2022.

REN, Yi; LINTER, Bruce R.; FOSTER, Tim J. Starch replacement in gluten free bread by cellulose and fibrillated cellulose. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 107, p. 1–12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105957>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X1932630X>. Acesso em: 17 maio. 2022.

ROZENBERGA, Linda; SKUTE, Marite; BELKOVA, Lubova; SABLE, Inese; VIKELE, Laura; SEMJONOV, Pavels; SAKA, Madara; RUKLISHA, Maija; PAEGLE, Longina. Characterisation of films and nanopaper obtained from cellulose synthesised by acetic acid bacteria. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 144, p. 33–40, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.025>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716300819>.

SANTOS, João Marcos Dos; IGNÁCIO, Eduardo Oliveira; BIS-SOUZA, Camila Vespúcio; SILVA-BARRETTO, Andrea Carla Da. Performance of reduced fat-reduced salt fermented sausage with added microcrystalline cellulose, resistant starch and oat fiber using the simplex design. **Meat Science**, [S. l.], v. 175, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108433>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174021000097>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SAVARY, Océane et al. Tailor-made microbial consortium for Kombucha fermentation: Microbiota-induced biochemical changes and biofilm formation. **Food Research International**, [S. l.], v. 147, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110549>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996921004488>. Acesso em: 9 ago. 2021.

SEDERAVIČIŪTĖ, F.; BEKAMPIENĖ, P.; DOMSKIENĖ, J. Effect of pretreatment procedure on properties of Kombucha fermented bacterial cellulose membrane. **Polymer Testing**, [S. l.], v. 78, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105941>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142941819303526>.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K. Biotransformation of fermented black tea into bacterial nanocellulose via symbiotic interplay of microorganisms. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 132, p. 166–177, 2019. a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.202>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813019302831>. Acesso em: 1 jul. 2021.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K. Bacterial nanocellulose: present status,

biomedical applications and future perspectives. **Materials Science and Engineering: C**, [S. l.], v. 104, p. 1–18, 2019. b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109963>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493118329606>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K.; PATHAK, Puneet. Static intermittent fed-batch production of bacterial nanocellulose from black tea and its modification using chitosan to develop antibacterial green packaging material. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 279, p. 1–16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123608>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620336532>. Acesso em: 17 ago. 2021.

SINGHANIA, Reeta Rani; PATEL, Anil Kumar; TSENG, Yi-Sheng; KUMAR, Vinod; CHEN, Chiu-Wen; HALDAR, Dibyajyoti; SAINI, Jitendra Kumar; DONG, Cheng-Di. Developments in bioprocess for bacterial cellulose production. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 344, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126343>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421016850>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SKIBA, Ekaterina A.; BUDAEVA, Vera V.; OVCHINNIKOVA, Elena V.; GLADYSHEVA, Evgenia K.; KASHCHEYEVA, Ekaterina I.; PAVLOV, Igor N.; SAKOVICH, Gennady V. A technology for pilot production of bacterial cellulose from oat hulls. **Chemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 383, n. October 2019, p. 123128, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123128>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894719325409>. Acesso em: 10 out. 2021.

SURENDRAN, Greeshma; SHERJE, Atul P. Cellulose nanofibers and composites: An insight into basics and biomedical applications. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, [S. l.], v. 75, p. 103601, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103601>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1773224722005123>. Acesso em: 20 set. 2022.

TANPICHAI, Supachok; BOONMAHITTHISUD, Anyaporn; SOYKEABKAEW, Nattakan; ONGTHIP, Laksika. Review of the recent developments in all-cellulose nanocomposites: Properties and applications. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 286, p. 1–22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119192>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861722000960>. Acesso em: 18 set. 2022.

TAPIAS, Yuly A. Ramírez; DI MONTE, M. Victoria; PELTZER, Mercedes A.; SALVAY, Andrés G. Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 372, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131346>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621023529>.

TEIXEIRA, Alfredo; RODRIGUES, Sandra. Consumer perceptions towards healthier meat products. **Current Opinion in Food Science**, [S. l.], v. 38, p. 147–154, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.004>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214799320301375>. Acesso em: 3 abr. 2022.

THAKUR, Manisha; SHARMA, Amita; AHLAWAT, Vishakha; BHATTACHARYA, Munna; GOSWAMI, Saswata. Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice straw derived α -cellulose. **Materials Science for Energy Technologies**, [S. l.], v. 3, p. 328–334, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.12.005>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589299120300045>. Acesso em: 10 maio. 2022.

TORÁN-PEREG, Paula; DEL NOVAL, Blanca; VALENZUELA, Susana; MARTINEZ, Josefina; PRADO, Diego; PERISÉ, Ramón; ARBOLEYA, Juan Carlos. Microbiological and sensory characterization of kombucha SCOBY for culinary applications. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [S. l.], v. 23, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100314>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X21000135>. Acesso em: 20 set. 2021.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra; BEAUFORT, Sandra; BOUAJILA, Jalloul; SOUCHARD, Jean-pierre; RENARD, Thierry; ROLLAN, Serge; TAILLANDIER, Patricia. Impact of fermentation conditions on the production of bioactive compounds with anticancer, anti-inflammatory and antioxidant properties in kombucha tea extracts. **Process Biochemistry**, [S. l.], v. 83, p. 44–54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.004>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359511318316416>. Acesso em: 12 ago. 2021.

VUKMANOVIĆ, Stefan; VITAS, Jasmina; RANITTOVIĆ, Aleksandra; CVETKOVIĆ, Dragoljub; TOMIĆ, Ana; MALBAŠA, Radomir. Certain production variables and antimicrobial activity of novel winery effluent based kombucha. **LWT**, [S. l.], v. 154, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112726>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364382101879X>. Acesso em: 20 abr. 2022.

WANG, He-Ya; QIAN, He; YAO, Wei-Rong. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 128, n. 3, p. 573–584, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.075>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814611004572>.

WANG, Yanan; WANG, Wenhong; JIA, Hongjiao; GAO, Guixian; WANG, Xiao; ZHANG, Xiaowei; WANG, Yabin. Using Cellulose Nanofibers and Its Palm Oil Pickering Emulsion as Fat Substitutes in Emulsified Sausage. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 83, n. 6, p. 1740–1747, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14164>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.14164>. Acesso em: 2 mar. 2022.

WATANABE, Y. et al. Visualization of cellulose synthases in Arabidopsis secondary cell walls. **Science**, [S. l.], v. 350, n. 6257, p. 198–203, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aac7446>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aac7446>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZHAI, Xichuan; LIN, Dehui; LIU, Dongjie; YANG, Xingbin. Emulsions stabilized by nanofibers from bacterial cellulose: New potential food-grade Pickering emulsions. **Food Research International**, [S. l.], v. 103, n. October 2017, p. 12–20, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.030>. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996917307111>. Acesso em: 16 mar.
2022.

ZHOU, Lei; ZHANG, Wangang; WANG, Jingyu. Recent advances in the study of modified cellulose in meat products: Modification method of cellulose, meat quality improvement and safety concern. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 122, n. 1, p. 140–156, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.024>. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224422000723>. Acesso em: 25 ago.
2022.

CAPÍTULO 2 - CELULOSE DE SCOBY COMO SUBPRODUTO DA PRODUÇÃO DE KOMBUCHA COM FOCO NO APROVEITAMENTO E POTENCIAL NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

O CAPÍTULO 2 aborda, mediante uma revisão bibliográfica, os aspectos funcionais e potenciais tecnológicos que a celulose de SCOBY possui como alimento e ingrediente na indústria alimentícia e não mais apenas como um subproduto da produção de kombucha. A obtenção de celulose de SCOBY foi relatada a partir de fermentações de *Camellia sinensis*, ervas, algas, leite, resíduos de vinícolas, de cozinhas, de confeitaria e de subprodutos de frutas e que demonstraram eficiência na conversão desses substratos em celulose bacteriana, criação de novos alimentos e bebidas fermentados. A versatilidade no uso do consórcio microbiano de kombucha (SCOBY) e da celulose produzida pelas bactérias nele presente demonstram potencialidade e possibilidades, diante de novos e profundos experimentos, na inovação da indústria alimentícia, otimização na produção de biocelulose, redução de material poluente proveniente de indústrias e de desperdício de alimentos. Assim, a celulose de SCOBY e a microbiota que a coloniza tem recebido atenção crescente nas pesquisas científicas como estratégias na redução da escassez de alimentos mediante seu uso no desenvolvimento de novos alimentos.

Resumo: A celulose bacteriana de SCOBY, proveniente da fermentação do chá *kombucha*, tem recebido atenção crescente nas pesquisas científicas como material altamente promissor nas indústrias têxteis, de saúde, de embalagens e de alimentos. O objetivo deste trabalho foi estudar a obtenção de celulose de SCOBY a partir de diferentes substratos usados no processo fermentativo, como ervas, algas, leite, resíduos de vinícolas, de cozinhas, de confeitaria e de resíduos de frutas, focando na eficiência de conversão desses substratos em SCOBY, além de seu uso no desenvolvimento de novos alimentos e bebidas fermentadas. Assim, este coproduto mostra-se uma fonte alternativa de biopolímero, com potencialidade tecnológica diante das características de pureza, hidrofiliabilidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, não citotóxica, estável em elevadas temperaturas.

Palavras-chave: celulose bacteriana, resíduo, alimentos, desperdício, renovável.

1 INTRODUÇÃO

A celulose bacteriana (CB) tem sido amplamente pesquisada por sua grande potencialidade como biopolímero renovável, biocompatível e versátil sendo explorada como ingrediente, aditivo alimentar, material de reforço em embalagens e em micro encapsulamento de compostos bioativos (CHEN et al., 2022; LIN et al., 2020; MARCHETTI; ANDRÉS, 2021). Todavia, existem entraves como custos com meios de cultura sintéticos, reatores, baixa produtividade e rendimento que dificultam praticidade no processo de produção e aplicação em larga escala (CHEN et al., 2022; LIYASKINA et al., 2018; SINGHANIA et al., 2022).

Sob a perspectiva de otimização da produção de CB de forma mais simples e barata do que por melhoramento genético, o uso de consórcios microbianos, como Symbiotic Community of Bacteria and Yeast (SCOBY) é uma alternativa com vantagens produtivas e menos onerosa (SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021; TAPIAS et al., 2022).

O SCOBY é uma comunidade de bactérias, principalmente de ácido acéticas e leveduras que vivem em simbiose sobre uma membrana celulósica que compõe o ecossistema microbiológico da kombucha (COELHO et al., 2020; SINIR; TAMER; SUNA, 2019). A cooperação entre os microrganismos age sobre açúcares do meio, produz ácidos orgânicos, etanol e celulose bacteriana (GULLO et al., 2017; TAPIAS et al., 2022).

Entretanto, a celulose de SCOBY tornou-se fonte potencial de CB para aplicabilidade nas áreas têxtil, de saúde e de alimentos (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022). Além da celulose de SCOBY ser obtida na indústria de kombucha, é possível sua obtenção mediante substratos alimentícios que seriam descartados, porém submetidos a fermentação com SCOBY, como resíduos de

cozinha compostos principalmente por arroz, vegetais e carne (WEIHUA; HONG; QIANHUI, 2022), resíduos de frutas (VUKMANOVIĆ et al., 2022) e por diferentes ervas (erva-doce, erva-mate, lavanda e orégano) (TAPIAS et al., 2022), além de leite, leite de soja e soro de soja (TU et al., 2019; XIA et al., 2019), gerando novas possibilidades na cadeia produtiva de celulose bacteriana de baixo custo.

Diante de um cenário de escassez de alimentos, preço elevado de alguns gêneros alimentícios e desperdício, a estratégia de desenvolvimento de novos produtos a partir de ingredientes baratos é uma opção no enfrentamento dessas questões sociais (LEONARSKI et al., 2021b; WEIHUA; HONG; QIANHUI, 2022). O uso da celulose bacteriana em alimentos tem sido relatado, contudo, a celulose de SCOBY necessita de estudos aprofundados quanto a sua aplicação em produção de alimentos com menor custo e nutritivos, a fim de ampliar o seu uso.

Assim, o objetivo desta revisão foi estudar as características, propriedades, aplicações tecnológicas da celulose de SCOBY, focando em informações das vantagens e possibilidades de seu uso e exploração na indústria de alimentos, como agente fermentador, conservante, aditivo, material de reforço, fonte de CB, reciclagem de resíduos e coprodutos alimentícios. Além disso, será abordado o desenvolvimento de novos produtos com atributos nutricionais adequados e de baixo custo por ser de origem renovável e biológica.

2 CELULOSE DE SCOBY (SC)

As bactérias possuem uma metabolização específica da glicose disponível em celulose bacteriana mediante transformação do açúcar em glicose-6-fosfato, formação de uridina difosfo-glicose que é transformada em celulose (MANAN et al., 2022; NAVYA et al., 2022). Esse material celulósico é produzido intracelularmente e secretado para o meio extracelular. As cadeias de β -(1,4)-glucana compostas por aproximadamente 15 mil unidades de glicose são transportadas extracelularmente pela membrana plasmática da bactéria e então, organizadas em cadeia, seguida de cristalização, estruturação por ligações de hidrogênio intramoleculares e entre as moléculas de celulose (DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022).

A celulose de SCOBY se diferencia de BC obtidas por única cepa bacteriana e em meios de cultura padrões devido a exposição de fitoquímicos presentes na kombucha e/ou em outros substratos não convencionais utilizados que proporciona ao material celulósico

a retenção de compostos como carotenoides, taninos, alcaloides, flavonoides e outras substâncias bioativas e desse modo, tem-se um material naturalmente com ação antioxidante, maior funcionalidade e aspectos tecnológicos, sendo assim outro aspecto positivo no reaproveitamento deste material como fonte de CB de baixo custo (AZEREDO et al., 2019; COTTET et al., 2020; TAPIAS et al., 2022).

A coloração e o formato da SC são característicos e influenciados pelo meio em que se encontra, conforme demonstrado na Figura 1 (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021). Durante o período fermentativo a película celulósica poderá alterar sua cor, principalmente quando é utilizada como suporte microbiano em sucessivas fermentações, devido sua porosidade há a absorção dos pigmentos do meio de cultivo, ou seja, dos substratos utilizados, e a membrana pode se tornar mais escura (Figura 1) quanto maior for o período de exposição aos chás ou outro produto utilizado na fermentação, além da presença de proteínas e ácido nucleicos produzidos pelos microrganismos, assim como também reações químicas durante a fermentação que contribuem para a coloração (ADURI et al., 2019; BARBOSA et al., 2022; TAPIAS et al., 2022).

A sua microestrutura é composta por feixes de fibras nanométricas densamente entrelaçadas, representadas por regiões cristalinas e amorfas, além de células bacterianas e leveduras aderidas à matriz celulósica (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021). Além disso, os inúmeros grupos hidroxila (-OH) e sua estrutura porosa configuram um material altamente hidrofílico e absorvivo (ADURI et al., 2019; AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020).

Figura 2.1 - Coloração de membranas de celulose de SCOBY excedentes da produção kombucha a base de uma mistura de chá verde e chá preto (*Camellia sinensis*)



Fonte: autoria própria.

Legenda: A diferença de coloração entre as três imagens é explicada por terem sido submetidas a tempos diversos de fermentações. A membrana celulósica à esquerda possui tom mais claro por ter sido exposta a menor tempo de fermentação, enquanto a última imagem (à direita) possui coloração mais escura por ter sido submetida a mais processos fermentativos, na produção de kombucha, quando comparada as outras duas imagens de celulose de SCOBY.

As propriedades da celulose de SCOBY envolvem também estabilidade térmica, porosidade, adsorvidade, hidrofobicidade, biodegradabilidade, compatibilidade com organismo humano, fonte de nutrientes, elasticidade e aliada a sua composição sua aplicação extrapola as fermentações de kombucha, diante de registros em tratamento de poluentes (MOUSAVI et al., 2018), reciclagem de lixo alimentício (WEIHUA; HONG; QIANHUI, 2022), uso em alimentação animal (MURUGESAN; SATHISHKUMAR; SWAMINATHAN, 2005), moda têxtil (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021), eletrônicos e indústria alimentícia (ADURI et al., 2019; KALAIAPPAN et al., 2020; TORÁN-PEREG et al., 2021).

A celulose bacteriana possui ampla e diversificada aplicabilidade na área têxtil, no tratamento de feridas ou em próteses cirúrgicas e outros materiais biomédicos, em dispositivos eletrônicos, sendo um excelente biomaterial que auxilia no reforço de confecção de papel reciclável, material absorvente e auxiliar no tratamento de poluente, em embalagens biodegradáveis e revestimentos comestíveis, além do seu uso como fibra alimentar e outras aplicações em alimentos por sua alta capacidade em reter água, estabilizar iogurtes, sorvetes, produtos cárneos e proporciona melhoras texturais (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2021; GREGORY et al., 2021; LIN et al., 2020).

Os meios de cultura para o crescimento de bactérias possuem preço relativamente alto e tornam a obtenção da celulose bacteriana dispendiosa, sendo assim a substituição por substratos alternativos e provenientes de resíduos de alimentos, além de consórcios microbianos, como o SCOBY, são reconhecidamente explorados em pesquisas como oportunidade em reduzir custos (EMILJANOWICZ; MALINOWSKA-PAŃCZYK, 2020; MANAN et al., 2022). A simbiose entre os microrganismos presentes no SCOBY proporciona melhor dinâmica fermentativa e melhor produção de celulose diante da produção de etanol pelas leveduras que potencializa de síntese da CB (LEONARSKI et al., 2022).

As bactérias ácido acéticas presentes na kombucha, com destaque principalmente para *Komagataeibacter xylinum*, utilizam dos açúcares redutores como fonte de carbono

presentes no caldo e combinado a nitrogênio e sais minerais sintetizam biocelulose, além da produção de substâncias antimicrobianas (CHAKRAVORTY et al., 2016; DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022). A cada dois a três dias uma nova película de biofilme se forma entre o líquido (kombucha/chá) e o ar presente no recipiente fermentador (CHAKRAVORTY et al., 2019a; JAYABALAN et al., 2014).

Na produção de kombucha, a membrana de celulose de SCOBY também possui função protetiva do meio contra partículas contaminantes, microrganismos deteriorantes e função de suporte microbiano para bactérias aeróbicas e leveduras (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022). Durante a fermentação, as películas novas que surgem flutuantes no líquido e vão se tornando espessas com várias películas aderidas umas às outras (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021). A celulose de SCOBY é morfologicamente mais densa na região que está em contato com ar e a superfície em contato direto com o caldo se apresenta mais porosa (LEONARSKI et al., 2021b).

Um dado interessante foi relatado por Leonarski et al., (2021b) que observaram que ao aumentar a quantidade de substrato de acerola no processo fermentativo, mais densas eram as películas celulósicas desenvolvidas, e por microscopia eletrônica de varredura identificaram que as fibrilas de celulose eram dispostas com menos espaço entre elas e uma rede nanofibrilar mais forte que normalmente se observa em produções tradicionais de CB e celulose de SCOBY em kombuchas, foi formada.

3 COMUNIDADE MICROBIANA PRESENTE NO PROCESSO FERMENTATIVO

A SC foi considerada por algum tempo, apenas como um coproduto que se desenvolve rapidamente durante produções de kombucha (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021). Em relação ao potencial tecnológico e funcional, os microrganismos que colonizam a celulose de SCOBY como cultura fermentadora eficiente e a celulose de SCOBY são objetos de estudo na indústria alimentícia em desenvolvimento de novas formulações e alimentos, valorização de coprodutos comestíveis que seriam descartados (SHARIFUDIN et al., 2021; WEIHUA; HONG; QIANHUI, 2022).

A coexistência entre leveduras e bactérias, presentes na SC promovem fermentações lácticas, acéticas e alcoólicas durante a produção de *kombucha* (CHAKRAVORTY et al., 2016; DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022). A dinâmica

fermentativa ocorre a partir da hidrólise enzimática da sacarose e conversão em glicose e frutose, efetuada pelas leveduras, que posteriormente consomem a glicose e geram dióxido de carbono, ou seja, produzem carbonatação natural da bebida e etanol, em sequência as bactérias (ácido lácticas e ácido acéticas, principalmente) metabolizam os açúcares redutores e etanol em ácidos orgânicos, vitaminas, compostos bioativos e a celulose bacteriana (DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

A SC é formada por uma estrutura tridimensional composta por nanofibrilas de celulose em formato de longas fibrilas emaranhadas com 3 – 8 nm de diâmetro que permite melhor área superficial, fibras ultrafinas. Ela possui maior capacidade de absorção de água por sua morfologia porosa, elasticidade, alta cristalinidade, melhor estabilidade térmica e maior resistência à tração e mecânica (MANAN et al., 2022; NAVYA et al., 2022).

Estudos na área genômica realizados disponibilizam dados mais detalhados sobre o quão diverso é a microbiota instalada em SCOBYS (Tabela 2) e como esse consórcio microbiano pode ser diferente dependendo de sua origem, substrato fermentado, tempo e temperatura de fermentação e também deve ser considerado a diversidade de aplicações fermentativas que podem ser possibilitadas (BARBOSA et al., 2021; CHAKRAVORTY et al., 2019b; COELHO et al., 2020).

Tabela 2.1 - Fermentação de diversos substratos (chás, ervas, resíduos) na produção de kombucha e bebidas tipo kombucha e microbiota resultante

ORIGEM DO SCOBY	SUBSTRATO (chá, ervas e resíduos de indústria de alimentos)	AMOSTRA	TEMPO DE FERMENTAÇÃO	MICROORGANISMOS	REFERÊNCIA
Grã-Bretanha	Chá verde, chá preto e erva rooibos	SCOBY e kombucha	7 a 14 dias a 27 ± 1 °C	<u>Isolados de bactérias identificados:</u> • 120 BAA isoladas: <i>K. intermedius</i> (SV e SP) e <i>Gluconobacter entanii</i> (KR) como cepas mais recorrentes; • <i>Proteobacteria</i>, família <i>Acetobacteraceae</i> 99% no SCOBY e > 97% na kombucha; • <i>Detectada Firmicutes</i>: famílias <i>Lactobacillaceae</i>, <i>Paenibacillaceae</i>, <i>Staphylococcaceae</i>, <i>Streptococcaceae</i>, <i>Lachnospiraceae</i>; • Família: <i>Bacteroidaceae</i> 0.11%; <i>Bifidobacteriaceae</i> 0.26%; Família <i>Enterobacteriaceae</i> (KR) < 3%; <u>Isolados de leveduras identificados:</u> • 130 leveduras isoladas (dois gêneros): <i>Brettanomyces bruxellensis</i> e <i>Zygosaccharomyces parabailli</i>; • <i>Brettanomyces bruxellensis</i> abundante em kombuchas, SP, SV; • <i>Zygosaccharomyces parabailli</i> (abundante em SR) 3-35% do gênero <i>Zygosaccharomyces</i>; • Filo <i>Ascomycota</i> > 60%: família <i>Pichiaceae</i> > 91%, cepa <i>Brettanomyces bruxellensis</i> em 0,4-2,0%; • Família <i>Saccharomycetaceae</i> (kombuchas) < 8.5% e 57,9% (SR aos 7 dias);	(GAGGIÀ et al., 2019)
Espanha	Chá preto	SCOBY e kombucha	20 dias a 30 °C.	<u>Isolados de bactérias identificados:</u> • Gênero <i>Komagataebacter</i> > 95% (SCOBY e kombucha); • Isoladas <i>Bacillus licheniformis</i> (filo <i>Firmicutes</i>) e <i>Microbacterium</i> sp. (filo <i>Actinobacteria</i>); <u>Isolados de leveduras identificados:</u> • <i>Brettanomyces bruxellensis</i>/<i>Dekkera bruxellensis</i>, <i>Rhodotorula muciluginosae</i>, <i>Zygosaccharomyces bailii</i>.	(TORÁN-PEREG et al., 2021)

Argentina	Chá preto, verde, erva-mate, lavanda, orégano e erva-doce	Kombucha	21 dias a 22 °C.	<u>Contagem de comunidade microbiana total:</u> • 5 x 10⁵ UFC. ml⁻¹ para infusões de erva-doce; • 81 x 10⁵ UFC. ml⁻¹ para erva-mate;	(TAPIAS et al., 2022)
Estados Unidos da América	Alga vermelha (<i>Porphyra dentata</i>)	Kombucha	22 dias a 25 e 30 °C.	• 30 °C maior contagem de bactérias mesófilas e BAA. • A 25 °C maior contagem de leveduras (7-8 dias): 4,60log UFC/mL; • A 30 °C (7-8 dias): 3,8 log UFC/mL de leveduras.	(AUNG; EUN, 2021)
Não mencionado	Variáveis	Kombuchas comerciais	Ausência deste dado	A comunidade de <u>bactérias</u> variou de 0,5 x 10⁸ - 1,8 x 10⁹ células/mL a 6,4 x 10⁹ células/mL; • Isolados prevalentes: <i>Komagataeibacter</i>, <i>Lactobacillus</i> e <i>Bacillus</i>; • Outros isolados identificados: <i>Bacillus coagulans</i>, <i>Gluconobacter oxydans</i>, <i>Pseudomonas putida</i>, <i>Pseudomonas azotoformans</i>, <i>Paenibacillus typhae</i>; A comunidade de <u>leveduras</u> variou de 2,5 - 3 x 10⁷ células/mL a aproximadamente 1,0 x 10⁸ células/mL; • <i>Isolados prevalentes: Dekkera/Brettanomyces e Zymomonas mobilis</i> (prevalente em algumas bebidas); • Outros isolados identificados: <i>Dekkera anomala</i>, <i>Dekkera bruxellensis</i>, <i>Zygosaccharomyces parabailli</i>, <i>Hanseniaspora valbyensis</i> e <i>Issatchenkia</i> spp.;	(ANDRESON et al., 2022)
Não mencionado		Kombucha comercial	Ausência deste dado	• <i>Lactobacillus plantarum</i>;	(PEI et al., 2020)
França	Chá preto	SCOBY e kombucha	15 dias a 22 °C.	<u>Isolados bacterianos predominantes na bebida e SCOBY:</u> • <i>Actinobactérias</i> e <i>Proteobactérias</i>; • <i>Acetobacteraceae</i> (80%): <i>Komagataeibacter</i>, <i>Gluconacetobacter</i> e <i>Gluconobacter</i>; SCOBY: • <i>Komagataeibacter rhaeticus</i> (16-49%); <i>Gluconacetobacter</i> sp. SXCC1 (9–26%); Líquido (bebida): • <i>Komagataeibacter xylinus</i>: 16,89%;	(VILLARREAL-SOTO et al., 2020)

				• Outros isolados: <i>A. malorum</i>, <i>A. pasteurianus</i>, <i>A. pomorum</i> e <i>A. tropicalis</i>;	
				<u>Isolados de leveduras predominantes na bebida e SCOBY:</u> • <i>Saccharomycetaceae</i> e <i>Schizosaccharomycetacea</i> Líquido (bebida): • <i>B. bruxellensis</i>: 29,56%; <i>S. pombe</i>: 16,11%; • Outros isolados: <i>Candida arabino fermentans</i>, <i>Brettanomyces bruxellensis</i>, <i>Schizosaccharomyces pombe</i> e <i>Zygosaccharomyces bailii</i>;	
Não mencionado	Chá verde	SCOBY	7 dias a 20 ± 2 °C.	• Isolado bacteriano semelhante a <i>K. xylinus</i>;	(SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019)
				• Isolado de levedura semelhante a <i>Z. bailii</i>;	
Brasil	Resíduos de acerola	SCOBY e bebida tipo kombucha	15 dias a 30 °C.	<u>Isolados bacterianos identificados:</u> • <i>Komagataeibacter rhaeticus</i>, <i>Bacillus megaterium</i>, <i>Bacillus aryabhattai</i>, <i>Bacillus flexus</i> e <i>Bacillus simplex</i>;	(LEONARSKI et al., 2021b)
				<u>Isolados de leveduras identificados:</u> • <i>Brettanomyces bruxellensis</i> e <i>Zygosaccharomyces bisporus</i>;	
Brasil	Chá verde	SCOBY e kombucha	7 dias: 5 dias a 28 °C (aerobiose) e 2 dias a 25 °C (anaerobiose).	<u>Isolados bacterianos identificados na bebida e SCOBY:</u> • <i>Filos Proteobacteria</i> (80%) e <i>Firmicutes</i>; SCOBY: • <i>Acetobacteraceae</i>: • BAA 97,1%; <i>Komagataeibacter</i>: 80,3%; <i>Liquorilactobacillus</i>: (<1%); Bebida: • <i>Zymomonas</i> (41,57%); <i>Sphingomonadaceae</i> (41,6%), <i>Enterobacteriaceae</i> (35,2%) e <i>Lactobacillaceae</i> (19,9%), <i>Liquorilactobacillus</i>: (13%); <i>Ligilactobacillus</i> (6,9%); <i>Acetobacteraceae</i>: BAA (3,25%);	(FABRICIO et al., 2022)
				<u>Isolados de leveduras identificados:</u> • <i>Hanseniaspora</i> após fermentação (15,8% - 25,76);	

				SCOBY: • <i>Dekkera/Brettanomyces</i>: 98,8%; e <i>Saccharomyces</i>: 1,2%; Bebida: • <i>Dekkera/Brettanomyces</i>: 99,9%; e <i>Saccharomyces</i> ausente;	
França	Chá verde e preto	SCOBY e kombucha	21 dias a 20 e 30 °C	<u>Isolados bacterianos identificados:</u> A 30 °C • <i>G. saccharivorans</i>; • BAA (cerca de 8,5 log UFC/g no SCOBY e 7,5 log UFC/mL na bebida); • <i>Gluconacetobacter</i> (> 90%); e <i>Acetobacter</i> (3-5%); • Favoreceu bactérias contaminantes: <i>Firmicutes</i> (<i>Lactobacillus</i>, <i>Lactococcus</i>, <i>Streptococcus</i>) e <i>Actinobacteria</i> (<i>Propionibacterium</i>, <i>Corynebacterium</i>); A 20 °C • <i>G. xylinus</i> (prevaleceu); • BAA (cerca de 5,5 log UFC/g no SCOBY e 6,5 log UFC/mL na bebida);	(FILIPPIS et al., 2018)
Flórida	Café arábica	Bebida tipo Kombucha a base de café	8 dias a 23 °C	<u>Isolados bacterianos identificados:</u> Grupo controle (sem lactobacilos inoculados): • Sequências de bactérias: 712.475 bactérias; • <i>Acetobacteracea</i>; • <i>Gluconacetobacter saccharivorans</i> (66,86%); • Aos 15 dias: <i>Acetobacter</i> spp. (11,6%); <i>Gluconacetobacter</i> spp. (10,9%); <i>Gluconacetobacter intermedius</i> (5,8%); <i>Gluconacetobacter xylinus</i> (3,5%) e outros (1,5%); <u>Grupo com LR inoculados:</u> • Total de 926.923 sequências para bactérias; • <i>Lactobacillus zeae</i> 39,03%; <i>Lactobacillus rhamnosus</i> (18,03%); <i>Lactobacillus casei</i> (16,34%); <i>Lactobacillus paracasei</i> (11,93%); <i>Gluconacetobacter saccharivorans</i> (6,16%); outros (8,51%); <u>Grupo com LC inoculados:</u>	(BUENO; CHOULJENKO; SATHIVEL, 2021)

				• Total de 1.107.125 sequências para bactérias; • <i>Lactobacillus paracasei</i> (25,21%); <i>Lactobacillus casei</i> (19,01%); <i>Lactobacillus zeae</i> (15,79%); <i>Lactobacillus rhamnosus</i> (15,62%); outros (12,73%);	
				<u>Isolados de leveduras identificados:</u> • Em kombucha de café com LR inoculado = 785.192 sequências de fungos; • Em kombucha de café com LC inoculado = 673.139 sequências de fungos;	

Legenda: KR: kombucha de rooibos; BAA: bactérias ácido acéticas; SV: SCOBY de chá verde; SP: SCOBY de chá preto; SR: SCOBY de rooibos; LC: *Lactobacillus casei*; LR: *Lactobacillus rhamnosus*.

É possível perceber mediante essas pesquisas e dados científicos que a microbiota em kombuchas e em SCOBYs é diversificada e ampla, porém nota-se que sempre existirá um gênero que se estabelecerá de forma predominante em cada fermentação e produto final que dependerá das variáveis tempo, temperatura, origem microbiana, fonte de açúcar e dos substratos - tipos de chás, ervas e outras matérias orgânicas - que sejam utilizados na fermentação (CHAKRAVORTY et al., 2016; GAGGIÀ et al., 2019).

As investigações experimentais (Tabela 2) retratam a maior presença de bactérias ácido acéticas (BAA) e cepas produtoras de celulose bacteriana, sendo gênero *Komagataeibacter* o isolado mais prevalente e em menor ocorrência tem-se os lactobacilos, porém quando presentes na kombucha é interpretado como uma cultura positiva para produção de substâncias probióticas na bebida (BUENO; CHOULJENKO; SATHIVEL, 2021; TORÁN-PEREG et al., 2021). Os gêneros de leveduras isolados com maior frequência são *Dekkera/Brettanomyces* e *Zygosaccharomyces* (ANDRESON et al., 2022; FABRICIO et al., 2022; GAGGIÀ et al., 2019).

De fato, corroborando com a perspectiva da influência do substrato sobre a variação da comunidade microbiana e os componentes resultantes, Tapias et al. (2022) realizaram análises de kombucha preparada por dois tipos de chá e quatro ervas diferentes (Tabela 2) e constataram variação significativa de unidades formadoras de colônias, sendo que na infusão de erva-doce a contagem total foi de 5×10^5 UFC. ml⁻¹ e em erva-mate foram 81×10^5 UFC. ml⁻¹ e as microbiota com maior produtividade de celulose pertenciam às fermentações de erva-mate e chá-preto.

O tipo de chá ou substratos alternativos utilizados para a fermentação como, *Camellia sinensis* em suas versões disponíveis, ervas, resíduos de frutas ou café, possuem componentes que interferem na composição da bebida, nas substâncias disponíveis para ação metabólicas dos microrganismos presentes, proporciona variedade genética da comunidade microbiana e a produção de celulose (BUENO; CHOULJENKO; SATHIVEL, 2021; LEONARSKI et al., 2021b).

Na mesma perspectiva de observar o quanto a composição de substratos é importante na dinâmica fermentativa, Bueno et al. (2021) utilizaram café arábica, fonte de cafeína e outros compostos bioativos como flavonoides, cafestol e diterpenos, para produção de café kombucha adicionado de cepas de *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus rhamnosus* e detectaram a mudança de famílias *Acetobacteraceae* para família *Lactobacillaceae* na microbiota da bebida. Assim, foi evidenciado a

sobrevivência e resistência dos lactobacilos inoculados, perante à digestão gástrica simulada, todavia, investigações científicas *in vivo* ainda são necessárias para constatar ação probiótica da bebida (BUENO; CHOULJENKO; SATHIVEL, 2021).

Em chá preto e chá verde existem uma variabilidade de componentes bioativos, como compostos fenólicos que impactam na composição da bebida, por exemplo. O chá verde possui catequina como principal polifenol e o chá preto é composto por maior concentração de teaflavinas e tearubiginas que são metabolizadas pelo SCOBY durante a fermentação permitindo bebida com maior diversificação de compostos e propicia a produção de celulose (CARDOSO et al., 2020).

As ervas que foram utilizadas por Tapias et al., (2022) possuíam vitaminas, minerais e nitrogênio que viabilizaram o seu uso em fermentações, além de serem fontes de compostos bioativos úteis ao experimento, uma vez que a intenção experimental era a incorporação desses compostos às películas de celulose de SCOBY mediante absorção, e então fossem destinadas à produção de filmes e revestimentos ativos e biodegradáveis.

Entretanto, segundo Rodriguez-Garcia et al. (2016) e Tapias et al. (2022) é necessário entender a composição do substrato antes de utilizá-lo, uma vez que orégano, por exemplo, que é fonte de substâncias antimicrobianas, como carvacrol e timol, é almejado em embalagens ativas destinadas a conservação de alimentos.

Todavia, esta ação antimicrobiana prejudica o desenvolvimento de bactérias ácido acéticas (AAB), podendo afetar a produção de celulose durante o processo fermentativo, isto foi observado, diante de um menor rendimento celulósico nas amostras de Tapias et al. (2022) em que diante da fermentação de chá preto $10,6 \text{ g/L}^{-1}$ de celulose foram obtidas, enquanto na fermentação de orégano, apenas $3,6 \text{ g/L}^{-1}$.

Os ácidos fenólicos, estilbenos, taninos, cumarinas, curcuminóides, flavonoides, quinonas e lignanas estão presentes em plantas, vegetais, frutas e cereais. Eles estão presentes em alto valor nos processos fermentativos e contribuem para coloração, sabores, ação antioxidante e antimicrobianas nesses alimentos (JAFARI et al., 2020; LEONARSKI et al., 2022). Além disso, no SCOBY, a enzima invertase possibilita a transformação de polifenóis em compostos menores e com isso aumento da atividade antioxidante (CHAKRAVORTY et al., 2016; COELHO et al., 2020).

Assim sendo, resíduos de acerola possuem alto teor de polifenóis e vitamina C. Quando utilizados para fermentação da kombucha, na SC tiveram influência positiva sobre o metabolismo das bactérias produtoras de celulose, sendo proporcional a maior

quantidade de resíduo, maior a quantidade de celulose (LEONARSKI et al., 2021b, 2022).

As mudanças na comunidade microbiana ocorrem de acordo com os dias de fermentação, o que corrobora com a existência de uma dinâmica fermentativa (CHAKRAVORTY et al., 2016). Acerca desta premissa, Savary et al. (2021) observaram por dados metabolômicos e microbianos a correlação entre a mudança abundante das espécies microbianas durante o processo fermentativo em sincronia com alterações no perfil de compostos voláteis e rendimento de celulose. A respeito das variações da microbiota durante a fermentação, Fabricio et al. (2022) detectaram o gênero de levedura *Hanseniaspora* apenas após o período de fermentação, tendo sido responsável pelo incremento de aroma da bebida.

A mudança dos microrganismos durante o período fermentativo também foi relatado mediante elevação da UFC de bactérias e leveduras de forma significativa no 9º dia da fermentação de bebida tipo kombucha à base de resíduos de acerola (LEONARSKI et al., 2021b). De modo semelhante, Aung e Eun (2021) demonstraram a relação da variabilidade microbiana em relação ao tempo e temperatura de fermentação ao confirmarem que a temperatura ótima de 30 °C favoreceu maior contagem de mesófilas, de AAB, acelerou o processo fermentativo, elevou a produção de celulose e refletiu em menor quantidade de colônias de leveduras, sendo a maior contagem entre o sétimo e oitavo dia (Tabela 2).

Filippis et al. (2018) também avaliaram os efeitos de diferentes temperaturas e constataram que maior temperatura favoreceu maior diversidade bacteriana no SCOBY e na bebida. As AAB representaram maiores contagens comparada a fermentação sob menor temperatura, sendo que após uma semana de fermentação, os valores de AAB se elevaram em aproximadamente 1,5 log e *Gluconacetobacter* representou o maior gênero bacteriano. Porém, houve também maior quantidade de bactérias contaminantes (*Acinetobacter*, *Propionibacterium* e bactérias ácido lácticas) em alta temperatura.

É notório que existe uma diferença entre os microrganismos presentes na SC e no chá *kombucha*. Nesse sentido, Gaggia et al. (2019) realizaram o isolamento e extração de DNA da microbiota presente e obtiveram *Komagataeibacter* spp. e *Gluconobacter* spp como gêneros mais recorrentes dentre BAA e as cepas de leveduras *Brettanomyces bruxellensis* e *Zygosaccharomyces parabailli* predominaram no SCOBY dos três substratos. O estudo relatou ainda a diferença significativa entre leveduras identificadas no SCOBY formado e na kombucha, enquanto a comunidade

bacteriana foi muito similar nos materiais amostrados. Os autores correlacionaram a influência do substrato utilizado sobre a variação da comunidade de leveduras.

Alguns microrganismos são de ocorrência rara em fermentações de kombucha, como cepas de *Bacillus licheniformis*, *Microbacterium* sp e levedura *Rhodotorula mucilaginosa* (BARBOSA et al., 2021; TORÁN-PEREG et al., 2021). Isso demonstra que mesmo utilizando um mesmo substrato, por exemplo, o chá preto (Tabela 2), são isoladas microbiotas diversificadas em cada uma dessas fermentações. Logo, demonstra que, mesmo utilizando um mesmo tipo de chá, os climas, a origem do SCOBY, a temperatura e o período fermentativo diversificados influenciarão quais microrganismos que estabelecerão no meio e na produção de componentes secundários.

Andreson et al. (2022) avaliaram algum *kombuchas* comerciais e as submeteram a análise metagenômica. Os produtos resultaram em uma composição diversificada de bactérias, além de ter sido detectado BAL principalmente em produtos elaborados com chá verde e BAA em chá preto. A comunidade de leveduras pertencia a ordem *Saccharomycetales*, sendo o gênero *Dekkera/Brettanomyces* dominante. Neste estudo, foi possível correlacionar dados sensoriais e genéticos e os autores concluíram que a microbiota da cultura iniciadora tem influência significativa nos atributos e propriedades na bebida produzida.

Na perspectiva de chá *kombuchas* comerciais, existe a possibilidade de utilizá-las como cultura iniciadora para novas fermentações, como realizado por Villareal-Soto et al. (2020). Os autores detectaram no SCOBY quantidade de bactérias superior ao conteúdo líquido e as leveduras após 15 dias predominaram na bebida. Os autores também relacionaram a microbiota presente com reações metabólicas ocasionadas durante a fermentação, sendo que nas *kombuchas* com maior quantidade de *S. pombe* e *B. bruxellensis* o consumo de açúcar foi maior e, por conseguinte, a produção de etanol também foi maior (17g/L). Diferentemente, outra amostra em que *B. bruxellensis* não foi isolada, o teor de açúcar consumido foi menor.

A diversidade de bactérias presentes em kombuchas é significativa e com potencial antimicrobiano conforme demonstrado por Pei et al. (2020) que identificaram *Lactobacillus plantarum* em kombucha comercial. A relevância do estudo foi o potencial produtivo de bacteriocina de *L. plantarum* e sua ação antibacteriana testada contra *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Micrococcus luteus*; *Clostridium butyricum*, *Staphylococcus aureus*; *Listeria innocua*, *L. monocytogenes*, *Brochothrix thermosphacta* e *E.coli* e inibição de biofilmes de *S. aureus*.

4 USO DO SCOBY NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS E SEU USO COMO INGREDIENTE ALIMENTAR

Os produtos cárneos embutidos e reformulados são submetidos a substituição de gordura por óleos vegetais, fibras de arroz, pectina e biopolímeros, como celulose vegetal e celulose bacteriana, que possuem excelente capacidade em estabilizar emulsões (MARCHETTI; ANDRÉS, 2021; WANG et al., 2018). Nesse sentido, estudos relataram aplicação de nanocelulose (bacteriana e vegetal) e nanofibras de celulose em salsichas, em hambúrgueres, surimi, mortadela, salsicha de frango e almôdegas para obtenção de produtos com teor lipídico e sódico reduzidos, com melhor capacidade de retenção de água e textura, além de microestruturas mais homogêneas (ANDRÉS; ZARITZKY; CALIFANO, 2009; LIN; CHEN; CHEN, 2011; MARCHETTI et al., 2017; QI et al., 2020).

Diante do potencial produtivo de novas películas celulósicas durante a fermentação da kombucha, o SCOBY tem sido explorado em pesquisas como um coproduto útil para indústria de celulose bacteriana e para obtenção de microrganismos fermentativos (BEHERA; LAAVANYA; BALASUBRAMANIAN, 2022).

Na indústria de alimentos o SCOBY tem destaque como matéria-prima para desenvolvimento de novos produtos mediante ação fermentadora, reciclagem de resíduos alimentícios, produção de nutracêuticos em cápsulas, embalagens biodegradáveis, assim como alimento e ingrediente de receitas, a figura 3 traz uma representação ilustrativa das formas que se pode utilizar o SCOBY (BEHERA; LAAVANYA; BALASUBRAMANIAN, 2022; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021; TORÁN-PEREG et al., 2021).

Figura 2.2 - Possibilidades de aplicação de kombucha e SCOBY em alimentos



Fonte: autoria própria.

4.1 Contribuição do SCOBY como alimento, agente fermentador e conservador de alimentos

Os consumidores se preocupam cada vez mais em adquirir alimentos com menos processos industriais envolvidos, menor teor de aditivos artificiais, com alto valor nutricional, ação probiótica, com a presença de compostos bioativos e até mesmo com teores de sódio e gordura reduzidos (CARDOSO et al., 2020; DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022).

A procura por produtos fermentados cresce e as pesquisas relacionadas a kombucha e SCOBY têm ganhado destaque pela comunidade pesquisadora e pelos consumidores, principalmente pelas ações antimicrobianas, antioxidante, hepatoprotetora, antidiabética e antitumoral já relatadas em estudos *in vitro* e com animais. (CARDOSO et al., 2020; CHAKRAVORTY et al., 2019b; GAGGIÀ et al., 2019). Entretanto, segue sem comprovações científicas desses efeitos em humanos, por ausência de experimentos nessa comunidade (DIEZ-OZAETA; ASTIAZARAN, 2022).

Assim sendo, o SCOBY também pode ser considerado uma ótima fonte de fibras e ser preparado como alimento, como já se realiza tradicionalmente nas Filipinas por meio da fermentação de água de coco e então o consumo da matéria celulósica que se origina, temperada, conhecida por “nata de coco” (TORÁN-PEREG et al., 2021).

A possibilidade do uso da celulose de SCOBY e de sua microbiota como alimento e sua exploração na produção de novas bebidas e produtos fermentados chama

atenção a uma possível solução e/ou contribuição para algo de extrema relevância no mundo e que foi escancarada ainda mais na pandemia de COVID-19: a escassez e a alta dos preços dos alimentos que contribui para insegurança alimentar (NICA-AVRAM et al., 2021).

Diante desse cenário, a celulose de SCOBY surge como uma matéria-prima barata que pode ser explorada na transformação de coprodutos em alimentos para consumo humano e preparos culinários, como feito por Tóran-Pereg et al., (2021) que desenvolveram pratos gastronômicos a base de SCOBY em diferentes tempos de fermentação (3, 4, 10 e 20 dias), em conjunto com ovas de lagosta, sal, açúcar, cenoura, morango, chouriço e presunto. O estudo obteve êxito sensorial com ótima aceitação dos provadores, constatando a possibilidade de utilizar o SCOBY como fonte alimentar.

Sob uma outra perspectiva, existe também uma pressão, cada vez maior, dos consumidores por produtos minimamente processados e redução de compostos químicos em suas formulações, o que desafia os setores alimentícios a desenvolverem ações eficientes para controlar a deterioração, a presença de patógenos, elevar a *shelf-life* e garantir a saúde pública (GIZAW, 2019).

A procura por alimentos frescos, com menos intervenção industrial, seguros, até mesmo de fácil preparo e aliado ao desafio de controle microbiano, incentiva o setor de embalagens, na busca por métodos de resolução para esta temática (ADURI et al., 2019; CAZÓN; VÁZQUEZ, 2021). As embalagens exercem papel fundamental na manutenção da segurança, redução de microrganismos indesejáveis e extensão da vida de prateleira de alimentos, além de facilitarem o transporte e armazenamento de gêneros alimentícios (ACCORSI, 2019).

4.2 Uso da celulose do SCOBY no desenvolvimento de filmes e embalagens para alimentos

As embalagens ativas, filmes comestíveis a base de polímeros biológicos e com propriedades antimicrobianas vêm sendo pesquisadas e utilizadas para prolongar a vida útil de frutos, verduras, carnes e demais alimentos, além de compreenderem materiais biodegradáveis que causarão menos impacto ambiental e preservarão a saúde humana (EL-SABER BATIHA et al., 2021; JAFARZADEH et al., 2021). Estudos com celulose bacteriana (CB) tem ganhado notoriedade na área de embalagens, com potencial substituição ao plástico (CAZÓN; VÁZQUEZ, 2021).

Frente a essa temática, Sharma *et al.*, (2021) utilizaram as películas de celulose bacteriana produzidas, prensadas e secas para elaboração de filmes biodegradáveis de NCB pura e NCB com adição de quitosana, obtidos pela fermentação de kombucha, como embalagem de tomates que estendesse a sua vida útil. Verificaram que ambos os revestimentos mantiveram os tomates frescos e sem sinais de deterioração microbiana. Ademais, notaram alta cristalinidade, ótimas propriedades mecânicas, resistência ao ar e propriedades ópticas, configurando possível utilização do SCOBY como componente de revestimento e filmes.

Aduri *et al.* (2019) produziram sacolas à base de SCOBY desidratado para a armazenagem de tomates, espinafres e uvas e verificaram a capacidade de retardar a degradação desses alimentos, a biodegradabilidade e ação antibacteriana do material, como a inibição da bactéria *Pseudomonas*. Após oito dias de incubação, os produtos se mantiveram sensorialmente adequados, porém o SCOBY como material para embalagem se mostrou poroso e por isso, faz-se necessário o uso de componentes que auxiliem na impermeabilização para ser possível embalar líquidos. Após 10 dias, a embalagem pré-tratada com água degradou-se no solo.

Foi muito comentado a respeito dos processos de purificação do SCOBY com o intuito de branquear as películas, entretanto, existe também a possibilidade de utilizar o filme preservando sua coloração amarronzada como ressaltado por Tapias *et al.*, (2022) que avaliaram a celulose bacteriana oriunda de diferentes tipos de chás e infusões. Os autores observaram que aqueles desenvolvidos em chá preto e erva-mate possuíam uma cor mais pronunciada e que manter essa coloração e opacidade pode ser desejável ou mesmo benéfico ao tipo de filme que se deseja. As razões incluem a manutenção da bioatividade e melhor ação conservadora da embalagem, justamente por exercer uma proteção maior ao alimento contra efeitos oxidativos e de degradação favorecidos pela luz (TAPIAS *et al.*, 2022).

Outro ponto positivo estudado e mencionado na literatura é a possibilidade de padronização dos microrganismos que vivem em simbiose na película celulósica de SCOBY mediante isolamentos microbiológicos e liofilização das culturas, assim como aquelas identificadas na kombucha (FABRICIO *et al.*, 2022; SAVARY *et al.*, 2021). Isso demonstra avanços de padronização da matéria-prima e dos produtos, facilidades de armazenamento e comercialização (FABRICIO *et al.*, 2022).

Essas práticas podem vir a impactar e facilitar o manuseio e aplicação das culturas pelas indústrias, otimizando processos, controlando contaminação cruzada que contribuirá para melhora na qualidade físico-química, microbiológica, sensorial e

bioquímica tanto para produções de kombucha quanto para fermentação de outros alimentos por SCOBY, e também beneficia algumas etapas na fabricação de celulose bacteriana que posteriormente poderá ser utilizada em alimentos (FABRICIO et al., 2022; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; SAVARY et al., 2021).

5 CONCLUSÃO

Mediante os dados da literatura científica levantados e discutidos nesta revisão, a viabilidade do uso de celulose de SCOBY na obtenção de celulose bacteriana é afirmada perante suas características de estrutura elástica, porosa, hidrofiliidade, pureza, ausência de toxicidade ou alergenicidade, com dimensão nanocelulósica, ótima estabilidade térmica e resistência mecânica. A adaptabilidade dos microrganismos presentes na celulose de SCOBY sobre diferentes substratos e meios de cultura alternativos é outro fator relevante e positivo no bioprocessamento de obtenção de CB.

A celulose de SCOBY demonstra ser uma alternativa sustentável e ambientalmente correta na produção de celulose bacteriana. Ademais, existe a possibilidade em ser explorada e aplicada na redução de custos em produções de alimentos, diminuição de desperdícios ao agregar valor e nutriente aos alimentos que seriam destinados ao lixo e conseqüentemente um recurso potencialmente viável como estratégia ao combate à fome.

Todavia, notou-se poucos estudos realizados quanto ao uso da celulose de SCOBY na indústria alimentícia como um alimento, a predominância de estudos é sobre seu uso com finalidade microbiológica em fermentações de outros coprodutos ou substratos na obtenção de celulose bacteriana e bebidas. Acredita-se que a baixa produção em quantidade deste biopolímero seja uma das justificativas.

Outro aspecto é a ausência de menções à qualidade e inocuidade das matérias-primas usadas como meios de cultura alternativos e análises microbiológicas ou outros testes analíticos que comprovem a segurança ao consumir a celulose de SCOBY obtida ou os novos produtos resultantes da fermentação desses meios de cultura a partir de SCOBY. Ademais, não foi encontrado registros, discussões ou considerações quanto a mecanismos que tornem segura a celulose de SCOBY obtida por essas vias e os processos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ADURI, Priyanka; RAO, Kokolu Ankita; FATIMA, Areeba; PRIYANKA, Kaul; SHALINI, A. Study of biodegradable packaging material produced from SCOBY. **Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 389–404, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26479/2019.0503.32>. Disponível em: <http://www.rjlbpcs.com/article-pdf-downloads/2019/28/644.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2021.

AMARASEKARA, Ananda S.; WANG, Deping; GRADY, Tony L. A comparison of kombucha SCOBY bacterial cellulose purification methods. **SN Applied Sciences**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 1–7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1982-2>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s42452-020-1982-2>. Acesso em: 13 abr. 2022.

ANDRESON, Maret; KAZANTSEVA, Jekaterina; KULDJÄRV, Rain; MALV, Esther; VAIKMA, Helen; KALEDA, Aleksei; KÜTT, Mary-Liis; VILU, Raivo. Characterisation of chemical, microbial and sensory profiles of commercial kombuchas. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 373, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109715>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160522001878>. Acesso em: 7 maio. 2022.

AUNG, Thinzar; EUN, Jong-Bang. Production and characterization of a novel beverage from laver (*Porphyra dentata*) through fermentation with kombucha consortium. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 350, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129274>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621002788>. Acesso em: 1 abr. 2022.

AZEREDO, Henriette M. C.; BARUD, Hernane; FARINAS, Cristiane S.; VASCONCELLOS, Vanessa M.; CLARO, Amanda M. Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 3, p. 1–14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00007>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2019.00007/full>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BARBOSA, Cosme Damião et al. Microbial–physicochemical integrated analysis of kombucha fermentation. **LWT**, [S. l.], v. 148, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111788>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643821009415>. Acesso em: 12 set. 2021.

BARBOSA, Erica Loreda; NETTO, Maritza Cerqueira; JUNIOR, Lauro Bendel; MOURA, Lorena Ferreira De; BRASIL, Girlandia Alexandre; BERTOLAZI, Amanda Azevedo; LIMA, Ewelyne Miranda De; VASCONCELOS, Christiane Mileib. Kombucha fermentation in blueberry (*Vaccinium myrtillus*) beverage and its in vivo gastroprotective effect: Preliminary study. **Future Foods**, [S. l.], v. 5, p. 1–9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100129>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S266683352200017X>. Acesso em: 1 jul. 2022.

BUENO, Federico; CHOULJENKO, Alexander; SATHIVEL, Subramaniam. Development of coffee kombucha containing *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus casei*: gastrointestinal simulations and DNA microbial analysis. **LWT**, [S. l.], v. 148, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111788>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643821009415>. Acesso em: 12 set. 2021.

I., v. 142, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110980>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364382100133X>. Acesso em: 2 set. 2021.

CARDOSO, Rodrigo Rezende et al. Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. **Food Research International**, [S. l.], v. 128, p. 1–10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108782>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919306684>. Acesso em: 13 maio. 2022.

CAZÓN, Patricia; VÁZQUEZ, Manuel. Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: a review. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 113, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106530>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X20329040>. Acesso em: 1 ago. 2021.

CHAKRAVORTY, Somnath; BHATTACHARYA, Semantee; BHATTACHARYA, Debanjana; SARKAR, Soumyadev; GACHHUI, Ratan. Kombucha: a promising functional beverage prepared from tea. In: **Non-Alcoholic Beverages**. 6. ed. [s.l.] : Elsevier, 2019. a. p. 285–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815270-6.00010-4>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128152706000104>.

CHAKRAVORTY, Somnath; BHATTACHARYA, Semantee; CHATZINOTAS, Antonis; CHAKRABORTY, Writachit; BHATTACHARYA, Debanjana; GACHHUI, Ratan. Kombucha tea fermentation: microbial and biochemical dynamics. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 220, p. 63–72, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>. Acesso em: 13 maio. 2021.

CHEN, Chuntao; DING, Weixiao; ZHANG, Heng; ZHANG, Lei; HUANG, Yang; FAN, Mengmeng; YANG, Jiazhi; SUN, Dongping. Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 278, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118995>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721013825>. Acesso em: 20 abr. 2022.

COELHO, Raquel Macedo Dantas; ALMEIDA, Aryelle Leite De; AMARAL, Rafael Queiroz Gurgel Do; MOTA, Robson Nascimento Da; SOUSA, Paulo Henrique M. De. Kombucha: review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [S. l.], v. 22, p. 1–12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100272>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X20301499>. Acesso em: 21 abr. 2021.

COTTET, Celeste; RAMIREZ-TAPIAS, Yuly A.; DELGADO, Juan F.; DE LA OSA, Orlando; SALVAY, Andrés G.; PELTZER, Mercedes A. Biobased Materials from Microbial Biomass and Its Derivatives. **Materials**, [S. l.], v. 13, n. 6, p. 1–26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13061263>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/6/1263>. Acesso em: 10 dez. 2021.

DIEZ-OZAETA, Iñaki; ASTIAZARAN, Oihana Juaristi. Recent advances in Kombucha tea: Microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 377, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160522002550>. Acesso em: 20 abr.

2022.

EL-SABER BATIHA, Gaber et al. Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. **Food Control**, [S. l.], v. 126, n. March, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713521002048>. Acesso em: 17 abr. 2022.

EMILJANOWICZ, Katarzyna Ewa; MALINOWSKA-PAŃCZYK, Edyta. Kombucha from alternative raw materials – The review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 60, n. 19, p. 3185–3194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679714>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2019.1679714>. Acesso em: 3 jun. 2022.

FABRICIO, Mariana Fensterseifer; MANN, Michele Bertoni; KOTHE, Caroline Isabel; FRAZZON, Jeverson; TISCHER, Bruna; FLÔRES, Simone Hickmann; AYUB, Marco Antônio Záchia. Effect of freeze-dried kombucha culture on microbial composition and assessment of metabolic dynamics during fermentation. **Food Microbiology**, [S. l.], v. 101, p. 103889, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103889>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002021001544>. Acesso em: 1 mar. 2021.

FILIPPIS, Francesca De; TROISE, Antonio Dario; VITAGLIONE, Paola; ERCOLINI, Danilo. Different temperatures select distinctive acetic acid bacteria species and promotes organic acids production during kombucha tea fermentation. **Food Microbiology**, [S. l.], v. 73, p. 11–16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.008>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0740002017306937>. Acesso em: 20 abr. 2021.

GAGGIÀ, Francesca et al. Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. **Nutrients**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 1–22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010001>. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2072-6643/11/1/1>. Acesso em: 31 ago. 2021.

GREGORY, David A.; TRIPATHI, Lakshmi; FRICKER, Annabelle T. R.; ASARE, Emmanuel; ORLANDO, Isabel; RAGHAVENDRAN, Vijayendran; ROY, Ipsita. Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, [S. l.], v. 145, p. 1–27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100623>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927796X21000188>. Acesso em: 10 fev. 2022.

GULLO, Maria; SOLA, Antonella; ZANICHELLI, Gabriele; MONTORSI, Monia; MESSORI, Massimo; GIUDICI, Paolo. Increased production of bacterial cellulose as starting point for scaled-up applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [S. l.], v. 101, n. 22, p. 8115–8127, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8539-3>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00253-017-8539-3>.

JAFARI, Reyhaneh; NAGHAVI, Nafiseh Sadat; KHOSRAVI-DARANI, Kianoush; DOUDI, Monir; SHAHANIPOUR, Kahin. Kombucha microbial starter with enhanced production of antioxidant compounds and invertase. **Biocatalysis and**

Agricultural Biotechnology, [S. l.], v. 29, p. 1–9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101789>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878818120311324>. Acesso em: 20 set. 2021.

JAFARZADEH, Shima; MOHAMMADI NAFCHI, Abdorreza; SALEHABADI, Ali; OLADZAD-ABBASABADI, Nazila; JAFARI, Seid Mahdi. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. **Advances in Colloid and Interface Science**, [S. l.], v. 291, p. 102405, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001868621000464>. Acesso em: 7 dez. 2021.

JAYABALAN, Rasu; MALBAŠA, Radomir V.; LONČAR, Eva S.; VITAS, Jasmina S.; SATHISHKUMAR, Muthuswamy. A review on kombucha tea-microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 538–550, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12073>. Acesso em: 30 ago. 2021.

KALAIAPPAN, Krishnaveni; RENGAPILLAI, Subadevi; MARIMUTHU, Sivakumar; MURUGAN, Raja; THIRU, Premkumar. Kombucha SCOBY-based carbon and graphene oxide wrapped sulfur/polyacrylonitrile as a high-capacity cathode in lithium-sulfur batteries. **Frontiers of Chemical Science and Engineering**, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 976–987, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11705-019-1897-x>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11705-019-1897-x>. Acesso em: 10 set. 2021.

LAHAVANYA, D.; SHIRKOLE, Shivanand; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 295, p. 1–20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621006740>. Acesso em: 13 maio. 2021.

LEONARSKI, Eduardo; CESCO, Karina; ZANELLA, Eduardo; STAMBUK, Boris U.; OLIVEIRA, Débora De; POLETO, Patrícia. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct as raw material. **LWT**, [S. l.], v. 135, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110075>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643820310641>. Acesso em: 15 set. 2021.

LEONARSKI, Eduardo; GUIMARÃES, Alana C.; CESCO, Karina; POLETO, Patrícia. Production process and characteristics of kombucha fermented from alternative raw materials. **Food Bioscience**, [S. l.], v. 49, p. 1–15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101841>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429222003005>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LIN, Dehui; LIU, Zhe; SHEN, Rui; CHEN, Siqian; YANG, Xingbin. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 158, p. 1007–1019, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813020330968>. Acesso em: 11 nov. 2021.

LIYASKINA, Elena; REVIN, Victor; NAZARKINA, Mariya; BOGATYREVA, Alena; SHCHANKIN, Mikhail. Cost-effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. **Journal of Biotechnology**, [S. l.], v. 49, p. 151–159, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.012>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S151783821730134X>. Acesso em: 10 ago. 2022.

MANAN, Sehrish; ULLAH, Muhammad Wajid; UL-ISLAM, Mazhar; SHI, Zhijun; GAUTHIER, Mario; YANG, Guang. Bacterial cellulose: Molecular regulation of biosynthesis, supramolecular assembly, and tailored structural and functional properties. **Progress in Materials Science**, [S. l.], v. 129, p. 1–28, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.100972>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079642522000536>. Acesso em: 23 maio. 2022.

MARCHETTI, Lucas; ANDRÉS, Silvina C. Use of nanocellulose in meat products. **Current Opinion in Food Science**, [S. l.], v. 38, p. 96–101, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.003>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214799320301235>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MOUSAVI, S. M.; HASHEMI, S. A.; AMANI, A. M.; ESMAEILI, H.; GHASEMI, Y.; BABAPOOR, A.; MOJOUDI, F.; ARJOMAND, O. Pb(II) removal from synthetic wastewater using kombucha Scoby and graphene oxide/Fe₃O₄. **Physical Chemistry Research**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 759–771, 2018. DOI: 10.22036/PCR.2018.133392.1490. Disponível em: https://www.physchemres.org/article_69399.html. Acesso em: 2 set. 2021.

MURUGESAN, G. .; SATHISHKUMAR, M.; SWAMINATHAN, K. Supplementation of waste tea fungal biomass as a dietary ingredient for broiler chicks. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 96, n. 16, p. 1743–1748, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.006>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096085240500060X>. Acesso em: 20 set. 2021.

NAVYA, P. V.; GAYATHRI, Varnakumar; SAMANTA, Debasis; SAMPATH, Srinivasan. Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 220, p. 435–461, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813022017500>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PEI, Jinjin et al. Isolation, purification, and structural identification of a new bacteriocin made by *Lactobacillus plantarum* found in conventional kombucha. **Food Control**, [S. l.], v. 110, p. 1–8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106923>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713519305122>. Acesso em: 12 nov. 2021.

RODRIGUEZ-GARCIA, I.; SILVA-ESPINOZA, B. A.; ORTEGA-RAMIREZ, L. A.; LEYVA, J. M.; SIDDIQUI, M. W.; CRUZ-VALENZUELA, M. R.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; AYALA-ZAVALA, J. F. Oregano Essential Oil as an Antimicrobial and Antioxidant Additive in Food Products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 56, n. 10, p. 1717–1727, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.800832>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2013.800832>. Acesso em: 10

jul. 2022.

SAVARY, Océane et al. Tailor-made microbial consortium for Kombucha fermentation: Microbiota-induced biochemical changes and biofilm formation. **Food Research International**, [S. l.], v. 147, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110549>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996921004488>. Acesso em: 9 ago. 2021.

SEDERAVIČIŪTĖ, F.; BEKAMPIENĖ, P.; DOMSKIENĖ, J. Effect of pretreatment procedure on properties of Kombucha fermented bacterial cellulose membrane. **Polymer Testing**, [S. l.], v. 78, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105941>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142941819303526>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SHARIFUDIN, Shaiful Adzni; HO, Wan Yong; YEAP, Swee Keong; ABDULLAH, Rosmawati; KOH, Soo Peng. Fermentation and characterisation of potential kombucha cultures on papaya-based substrates. **LWT**, [S. l.], v. 151, p. 1–10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112060>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643821012135>.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K.; PATHAK, Puneet. Static intermittent fed-batch production of bacterial nanocellulose from black tea and its modification using chitosan to develop antibacterial green packaging material. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 279, p. 1–16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123608>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620336532>. Acesso em: 17 ago. 2021.

SINGHANIA, Reeta Rani; PATEL, Anil Kumar; TSENG, Yi-Sheng; KUMAR, Vinod; CHEN, Chiu-Wen; HALDAR, Dibyajyoti; SAINI, Jitendra Kumar; DONG, Cheng-Di. Developments in bioprocess for bacterial cellulose production. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 344, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126343>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421016850>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SINIR, Gülşah Özcan; TAMER, Canan Ece; SUNA, Senem. Kombucha Tea: A Promising Fermented Functional Beverage. In: **Fermented Beverages**. [s.l.] : Elsevier, 2019. p. 401–432. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815271-3.00010-5>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128152713000105>.

TAPIAS, Yuly A. Ramírez; DI MONTE, M. Victoria; PELTZER, Mercedes A.; SALVAY, Andrés G. Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 372, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131346>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621023529>.

TORÁN-PEREG, Paula; DEL NOVAL, Blanca; VALENZUELA, Susana; MARTINEZ, Josefina; PRADO, Diego; PERISÉ, Ramón; ARBOLEYA, Juan Carlos. Microbiological and sensory characterization of kombucha SCOBY for culinary applications. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [S. l.], v. 23, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100314>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X21000135>. Acesso em: 20 set.

2021.

TU, Chuanhai; TANG, Sijie; AZI, Fidelis; HU, Wenxiu; DONG, Mingsheng. Use of kombucha consortium to transform soy whey into a novel functional beverage. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 52, p. 81–89, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.024>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464618305425>. Acesso em: 3 set. 2021.

VILLARREAL-SOTO, Silvia Alejandra; BOUAJILA, Jalloul; PACE, Mauro; LEECH, John; COTTER, Paul D.; SOUCHARD, Jean-Pierre; TAILLANDIER, Patricia; BEAUFORT, Sandra. Metabolome-microbiome signatures in the fermented beverage, Kombucha. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 333, p. 1–13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108778>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160520302725>. Acesso em: 30 out. 2021.

VUKMANOVIĆ, Stefan; VITAS, Jasmina; RANITOVIĆ, Aleksandra; CVETKOVIĆ, Dragoljub; TOMIĆ, Ana; MALBAŠA, Radomir. Certain production variables and antimicrobial activity of novel winery effluent based kombucha. **LWT**, [S. l.], v. 154, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112726>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002364382101879X>. Acesso em: 20 abr. 2022.

WEIHUA, Qiu; HONG, Ren; QIANHUI, Wang. Production of bacterial cellulose from enzymatic hydrolysate of kitchen waste by fermentation with kombucha. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], p. 1–12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02903-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13399-022-02903-5>. Acesso em: 20 jul. 2022.

XIA, Xiudong; DAI, Yiqiang; WU, Han; LIU, Xiaoli; WANG, Ying; YIN, Liqing; WANG, Zhe; LI, Xiaonan; ZHOU, Jianzhong. Kombucha fermentation enhances the health-promoting properties of soymilk beverage. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 62, p. 1–13, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103549>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464619304736>. Acesso em: 7 out. 2021.

CAPÍTULO 3 - TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NA OBTENÇÃO E PURIFICAÇÃO DE CELULOSE DE SCOBY DE KOMBUCHA

O CAPÍTULO 23 aborda, mediante uma revisão bibliográfica, obtenção e tratamentos de celulose de SCOBY a partir do uso de água e alcalinização. Apesar da característica de alta pureza da celulose bacteriana, a celulose de SCOBY possui açúcares, compostos residuais e metabólicos dos chás utilizados na fermentação e bactérias e leveduras aderidas em sua matriz. Por esse motivo são necessários tratamentos que promovam a remoção de substâncias residuais e celulares da película celulósica e mudanças na estrutura química da celulose, como redução de áreas amorfas e esterificação da sua superfície. Os tratamentos químicos e mecânicos agem purificando o material celulósico, podendo propiciar melhor capacidade hidrofóbica, aumento na resistência térmica e à tração e reduzir características de hornificação. Diante disto, o objetivo deste capítulo é apresentar um compilado de metodologias referente a tratamentos realizados sobre a celulose de SCOBY, os efeitos sobre a composição química e estrutural e caracterização das fibras de celulose de SCOBY tratadas e purificadas.

Resumo: A celulose de SCOBY (CS) é um biopolímero com excelentes propriedades físicas, fonte de fibras, capacidade de retenção de água, cristalinidade e pureza. Por isso, tem sido considerada e explorada não apenas como um subproduto da produção de kombucha, mas também como potencial fonte de celulose bacteriana (CB). O objetivo deste estudo foi coletar informações de estudos experimentais da literatura científica sobre diferentes métodos de extração, beneficiamento e purificação de CS e sua influência sobre a estrutura microscópica, macroscópica e características funcionais. Os tratamentos de purificação da CS, descritos na literatura, compreendem imersão em água deionizada, destilada ou estéril, hidróxido de sódio, peróxido de hidrogênio e hipoclorito de sódio, sob agitação ou modo estático, em diversas temperaturas (23°C, 30°C, 50°C, 80°C, 90°C, 110°C) e sob tempos de contato com a substância escolhida no tratamento, variáveis (1, 2, 20, 24 horas até 3 dias). Os tratamentos alcalinos em celulose de SCOBY ocasionam aumento da extensibilidade, de viscoelasticidade, de absorvidade, de resistência à tração, estabilidade ao calor, remoção de microrganismos, açúcares e outros componentes do meio de cultura aderidos à celulose. Devido a CS ser obtido com baixo custo e baixa complexidade no processo fermentativo, aliado funcionalização do material celulósico perante tratamentos menos poluentes, torna-se um processo sustentável e fonte de CB aplicável, por exemplo, em indústrias alimentícias.

Palavras-chave: alcalino, celulose bacteriana, hidróxido de sódio, nanofibras, sustentável.

1 INTRODUÇÃO

As características físicas, químicas e de biodegradabilidade da celulose estimulam expressivamente pesquisas para viabilizar o seu uso em indústrias e produtos sustentáveis mediante o aproveitamento de resíduos de madeiras, agrícolas e por processos fermentativos que produzam celulose bacteriana (CHEN et al., 2022; PERUMAL et al., 2022). Assim, a celulose pode ser extraída por processos químicos (como hidrólise), mecânicos e enzimáticos, tornando-a ainda mais promissora, proporcionando o incremento de suas propriedades mecânicas e físicas em alimentos e embalagens (CHEN et al., 2021; KHALID et al., 2021; SINGHANIA et al., 2022).

A celulose de SCOBY (CS) trata-se de um subproduto acumulado da produção de kombucha, sendo que de forma rápida, precisamente a partir de dois a três dias de fermentação, há o desenvolvimento de uma nova película de celulose bacteriana sobre o chá, produzida pelas bactérias aeróbicas sobre o chá fermentado, o que gera acumulação desse material (CHAKRAVORTY et al., 2016, 2019; JAYABALAN et al., 2014; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

Diante da produção excedente deste produto, alternativas para o seu reaproveitamento tem despertado interesse de pesquisas sobre obtenção de celulose bacteriana com baixo custo produtivo, uma vez que é considerado um material

residual e com relevante expectativa para aplicação em alimentos (EFTHYMIOU et al., 2022; LI et al., 2021; LIN et al., 2020).

A celulose de SCOBY é um biopolímero com excelentes propriedades físicas, fonte de fibras, capacidade de retenção de água (CRA), cristalinidade e pureza e por isso tem sido considerada e explorada não apenas como um subproduto da produção de kombucha (EMILJANOWICZ; MALINOWSKA-PAŃCZYK, 2020; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021). A destinação da celulose de SCOBY como matéria-prima e/ou ingrediente foi relatada em áreas alimentícias, como embalagens, agente fermentador e produtor de novas bebidas (ADURI et al., 2019; AYED; BEN ABID; HAMDI, 2017; LEONARSKI et al., 2021b; TORÁN-PEREG et al., 2021).

Para que a CS seja melhor aproveitada, métodos de tratamento são relatados na literatura, sendo que o uso de hidróxido de sódio (NaOH) em baixas concentrações (1,0 M, 0,5%, 0,1 mol/L e 0,5 N), é a substância mais comum relacionada à purificação de celulose de SCOBY, sendo que o tempo de exposição é variável em cada metodologia, registrada uma margem de uma hora a três dias nos experimentos relatados na literatura (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019). O tratamento desse material celulósico propicia a remoção de detritos celulares, metabólitos secundários da fermentação, além de açúcar e pigmentos provenientes do chá e branqueamento elevando a pureza do material (FONSECA et al., 2019; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Além das inúmeras propriedades e aplicabilidades da celulose bacteriana, outra vantagem é que as etapas purificação e branqueamento de suas fibras são menos complexas e com menor concentração de químicos poluentes, quando comparado ao beneficiamento da celulose vegetal (CHEN et al., 2021; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ, 2019a).

Por conseguinte, o objetivo deste estudo foi coletar informações sobre diferentes métodos de extração, beneficiamento e purificação de celulose de SCOBY relatados em estudos experimentais e suas influências sobre a estrutura microscópica, macroscópica e características funcionais dessa celulose bacteriana.

2 TRATAMENTOS DE PURIFICAÇÃO, PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS DE CELULOSE DE SCOPY

Os tratamentos se baseiam principalmente no uso de agentes branqueadores, uma vez que CS possui cor característica que oscila entre esbranquiçada à amarronzada e a ação clareadora é almejada na purificação, sendo que a maioria dos pesquisadores opta pelo uso de solução de NaOH devido a maior eficiência no clareamento e purificação (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021).

Além da coloração adquirida devido à presença de pigmentos e melanoidinas produzidas pela reação de *Maillard* entre o açúcar do meio e os aminoácidos presentes durante a fermentação (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; ROZENBERGA et al., 2016; TAPIAS et al., 2022), a membrana de celulose de SCOPY é composta por proteínas, fibras, lipídios, e compostos minerais (fósforo, cálcio, magnésio, manganês, zinco, cobre e sódio), além de aminoácidos essenciais e não essenciais e diante disso demanda processos de purificação que removam essas substâncias orgânicas (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Perante a composição e características da celulose de SCOPY são necessários tratamentos de purificação das fibras para a eliminação de resíduos e compostos do meio de cultura e células bacterianas e leveduras que estejam aderidas na rede nanofibrilar, além do branqueamento da película (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

A Tabela 3 descreve alguns estudos científicos que produziram celulose de SCOPY por meio de fermentação de chás, ervas e substratos e resíduos/coprodutos alternativos e a submeteram a processos de branqueamento e purificação sobre diferentes métodos e padrões.

Tabela 3.1 - Tratamentos para o branqueamento e purificação da película celulósica de origem bacteriana (SCOBY)

OBJETIVO	TRATAMENTO	FERMENTAÇÃO	RENDIMENTO DE CELULOSE	REFERÊNCIA
Purificação do SCOBY com métodos e soluções fracas para diminuir áreas amorfas, aumentar cristalinidade, remoção de açúcar e impurezas orgânicas.	Lavagem em água corrente; Imersão em água deionizada e outro grupo imerso em solução de NaOH 0,5% (p/v), ambos sob agitação por 24 horas a 30 °C; e trocas de solução de lavagem após 1, 2, 4 e 8 horas; secagem a 25 °C até peso constante;	Cultivo estático por 7 dias a 20 °C	Não relatado.	SEDERAVIČIŪTĖ, BEKAMPIENĖ E DOMSKIENĖ (2019)
Análise de diferentes tratamentos de purificação de SCOBY, na remoção de taninos, polifenóis, bactérias, leveduras e proteínas presentes na matriz celulósica e ação clareadora;	Dois tratamentos sequenciais de solução de NaOH (1,0 M) a 23 °C /1 hora + imersão em H ₂ O ₂ aquoso a 1,5% (m/m) a 23 °C /2 horas; Dois tratamentos sequenciais de solução de NaOH (1,0 M) a 23 °C/1 hora + imersão em NaClO aquoso a 1,5% (m/m) a 23 °C /2 horas; Dois banhos termostatizados sequenciais de solução de NaOH (1,0 M) a 90 °C /1 hora + imersão em H ₂ O ₂ aquoso a 1,5% (m/m) a 23 °C /2 horas; Dois banhos termostatizados sequenciais de solução de NaOH (1,0 M) a 90 °C /1 hora + imersão em NaClO a 1,5% (m/m) a 23 °C /2 horas; Após os tratamentos todas as amostras foram lavadas com água deionizada e secas em estufa a 50 °C /20 horas.	Cultivo estático por 10 dia a temperatura ambiente.	Não relatado.	(AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020)

Purificação com eliminação de substâncias aderidas, células de microrganismos e branqueamento.	Imersão em solução de NaOH (0,1 mol/L) por 24 horas em estufa a 50 °C; lavagens com água destilada até pH neutro, congeladas (24 horas) e liofilizadas (48 horas).	Cultivo estático por 15 dias a 30 °C.	4,0 g/L.	(LEONARSKI et al., 2021b).
Eliminação de substâncias aderidas, células de microrganismos e branqueamento.	Película centrifugada por 15 minutos e o pellet lavado com água destilada; purificação com solução de NaOH (1,0 M) a 80 °C /1 hora; imergida em água destilada durante a noite.	Cultivo estático por 10 dias a 30°C.	4,59 g/L ⁻¹ em meio HS. 7,98 g/L ⁻¹ em chá preto; 18,68 g/L ⁻¹ em chá otimizado (com 6% de glicose);	(AVCIOGLU; BIRBEN; SEYIS BILKAY, 2021).
Remoção de microrganismos e impurezas.	Purificação por imersão em solução de NaOH (0,1 mol/L) por 24 horas em estufa a 50 °C; lavagens com água destilada até pH neutro, congeladas (24 horas) e liofilizadas (48 horas).	Cultivo estático por 15 dias a 30°C.	4,6 g/L ⁻¹ .	(LEONARSKI et al., 2021a)
Purificação para eliminar células microbianas, detritos anexos a película e água extra.	Imersão em solução de NaOH (0,5 N) em ebulição por 1 hora; lavagem com água destilada até pH neutro e branqueamento; prensagem (pressão 50 psi/2 minutos); secagem a 60 °C até peso constante.	Cultivo estático por 20 dias a 30°C.	13,3 0,31 g/L ⁻¹ com folhas de chá frescas; 12,8 ± 0,25 g/L ⁻¹ com folhas de chá usadas.	(SHARMA; BHARDWAJ, 2019a)
Eliminar células microbianas, detritos anexos a película e água extra; e produção de filmes com nanocelulose bacteriana.	Lavagem com água estéril e fervura em solução de NaOH (0,5 N) por 1 hora; lavagem completa e repetida com água destilada até pH próximo a 7,0; prensagem com prensa de folha pneumática (pressão 50 psi/2 minutos); secagem a 60 °C até peso constante.	Cultivo estático por 20 dias a 30°C; CEAI por 20 dias a 30°C.	29,2 g/L ⁻¹ em CEAI; 13,3 g/L ⁻¹ em meio estático sem alimentação intermitente.	(SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021)

Remoção residual de componentes e células presente na membrana.	Película filtrada do meio, lavada com água destilada; purificada com solução de NaOH (0,3 mol/L) a 90 °C por 1 hora e lavada até pH neutro; secagem a 30 °C até peso constante.	14 dias a 28 °C.	7,21 ± 0,25 g/L ⁻¹ .	(WEIHUA; HONG; QIANHUI, 2022)
Remoção completa de células microbianas e demais substâncias biológicas aderidas; e modificar o pH da membrana para pH neutro.	Lavagem com água Milli-Q e imersos em NaOH (0,1 mol/L) a 110 °C por 30 minutos; novamente imersão em água Milli-Q por 3 dias; após purificação a secagem foi por liofilização durante dois dias.	Cultivo estático por 30 dias a 28 °C.	6,5 ± 2,3 g/100 mL ⁻¹ (CB hidratada); 0,16 ± 0,20 g/100 mL ⁻¹ (CB seca);	(SUBBIAHDOSS; OSMEN; REIMHULT, 2022)

Legenda: CEAI: Cultivo estático com alimentação intermitente (reposição de 10 mL de chá preto adoçado a cada cinco dias de fermentação durante 20 dias); NaOH: hidróxido de sódio; H₂O₂: Peróxido de hidrogênio; NaClO: Hipoclorito de sódio; CB: celulose bacteriana.

Dentre os trabalhos destacados na Tabela 3, é importante observar que nem todos apresentaram os valores de massa na base seca do material celulósico após os tratamentos, seja por simples lavagens com água ou quando submetidos ao hidróxido de sódio, conforme evidenciado na coluna de rendimento.

A celulose é polimorfa, isso quer dizer que existem quatro tipos de celulose que são definidos pelas ligações de hidrogênio, posição das regiões cristalinas e sua orientação química, sendo que a celulose disponível é do tipo I (nativa) e mediante tratamentos químicos a estrutura química celulósica pode ser alterada, ou seja, pode se obter outros tipos polimórficos de celulose (II, III e IV) (HE et al., 2021).

A celulose nativa possui suas moléculas dispostas no plano de forma paralela e mediante o uso de tratamentos alcalinos sob altas temperaturas, a mercerização, ocorre alteração nas ligações de hidrogênio, afetando a região cristalina que culmina na mudança da orientação das cadeias de celulose para antiparalela que caracteriza a transformação da celulose tipo I em tipo II (CHEN et al., 2021).

O hidróxido de sódio atua promovendo maior permeabilidade das fibras de celulose por ocasionar abertura da estrutura celulósica e afrouxamento do emaranhado de nanofibras, além de remover impurezas que estejam eventualmente incrustadas, e o efeito sob a estrutura da CB é potencializado ao aumentar a concentração de NaOH (SURYANTO et al., 2019).

O tratamento químico alcalino age sobre as interações intramoleculares das fibras de celulose e com isso reduz a adesão entre as cadeias, mas facilita a sua reorganização e emaranhamento quando submetidas a prensagem, adicionalmente torna as fibras mais maleáveis e elásticas perante uma força de tração, sendo que quanto maior a quantidade de celulose presente maior será essa capacidade elástica do material alcalinizado (CHEN et al., 2021).

Entretanto, no tratamento de CB o efeito de altas concentrações de soluções alcalinas pode ser indesejável, assim como Gea et al., (2011) salientam que o processo de purificação com altas concentrações de NaOH, especificamente acima de 6 %, transforma celulose tipo I em tipo II e conseqüentemente prejudica as propriedades físicas e mecânicas do material. Os autores constataram que o uso de NaOH (2,5%) acompanhado de NaOCl (1,5%) no tratamento de películas de celulose manteve a estrutura da fibra de celulose tipo I aumentando os atributos mecânicos e resistência térmica.

Além das inúmeras propriedades e aplicabilidades da celulose bacteriana, outra vantagem é que as etapas purificação e branqueamento de suas fibras são menos complexas e com menor concentração de químicos poluentes, quando comparado ao beneficiamento da celulose vegetal, uma vez que sua composição é diferente por não possuir lignina ou hemicelulose aderidas à sua estrutura como é encontrado na celulose vegetal (NAVYA et al., 2022; SUBBIAHDOSS; OSMEN; REIMHULT, 2022).

A exemplo, são relatadas metodologias mais complexas para a remoção de compostos não celulósicos a partir de biomassas vegetais e assim efetiva purificação de celulose vegetal, Melikoğlu, Bilek e Cesur (2019) utilizaram HCl (1 M a 85 °C por duas vezes), NaOH (10,23%), além de complementar a deslignificação com NaOCl (1%/60 minutos) para rendimento máximo de $27,96 \pm 0,78\%$ de celulose extraída de bagaço de maçã.

Uma vez que a fonte vegetal de celulose difere da celulose bacteriana, sendo a celulose de SCOBY mais pura como mencionado, por exemplo, Fonseca et al., (2019) utilizaram solução de NaOH mais concentrada (5% p/v), comparada aquelas utilizadas na purificação de celulose bacteriana ou de SCOBY, para melhor remoção de lignina e hemicelulose das fibras de *Corchorus* sp, (planta amazônica) e então obtenção de fibras mais puras e funcionais. Assim como evidenciado por Asem et al., (2021) que utilizaram NaOH a 2% (p/v) para tratamento de nanofibras de celulose do bagaço de cana-de-açúcar, entretanto foram necessárias 5 horas do material nesta concentração, em seguida mais uma hora em solução de NaOH a 12% (p/v) em aquecimento e por fim dissolução em peróxido de hidrogênio.

Todavia, diante da Tabela 3, nota-se que dentre os processos utilizados na purificação de celulose de SCOBY, a alcalinização com o hidróxido de sódio (NaOH) em baixas concentrações é comumente escolhida e suficiente para o efeito de limpeza e branqueamento que se deseja, e deste modo são consideradas práticas efetivas e mais sustentáveis em relação aos pré-tratamentos e tratamentos de purificação da celulose vegetal (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Após o tratamento de purificação, algumas análises são necessárias para verificar a eficácia e caracterizar o material celulósico, como microscopia eletrônica de varredura, capacidade de retenção de água, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, difração de raios X, análises termogravimétricas, calorimetria de varredura

diferencial, resistência à tração e capacidades mecânicas, aspectos visuais como coloração e ainda propriedades físico-químicas como umidade, pH, espessura e peso (g) (HE et al., 2021a; SURYANTO et al., 2019).

A tabela 4 reúne pesquisas que evidenciam, mediante análises de caracterizações da celulose de SCOBY, características estruturais e funcionais alteradas ou adquiridas após tratamentos de purificação com água, reagentes alcalinos, lavagens posteriores e em alguns casos, a secagem.

Tabela 3.2 - Características estruturais, funcionais e visuais da celulose de SCOPY após tratamentos de purificação

TRATAMENTO	CARACTERIZAÇÃO DO SCOPY		REFERÊNCIA
	Análises físico-químicas, morfológicas, mecânicas e térmicas	Resultados	
Alcalinização com NaOH	Capacidade de retenção de água (CRA), teor de umidade; Espessura por micrômetro digital; MEV-EC; ATR-FTIR; e XRD.	Valor de retenção de água = $88,42 \pm 1,80\%$ e $87,51 \pm 1,81$; Umidade = $94,3 \pm 0,3$ (CBS-CPF _F) e $92,5 \pm 0,5$ (CBS-CPF _U); Arranjos de feixes densos de fibras: nanofibras de celulose (D: 20 - 100 nm); Espessura (material seco) CBS-CPF _F : $31 \pm 2 \mu\text{m}$ e CBS-CPF _U : $29 \pm 2 \mu\text{m}$; Cristalinidade de 79,4% (CBS-CPF _F) e 77,3% (CBS-CPF _U); Peso de celulose amorfa de 0,21 (21% em peso em CBS-CPF _F) e 0,23 (23% em peso em CBS-CPF _U);	(SHARMA; BHARDWAJ, 2019a)
Alcalinização com NaOH	FE-SEM; ATR-FTIR; XRD; TGA; Propriedades ópticas; Cor (CIE L*a*b*); Propriedade antibacteriana; vida útil; Testes mecânicos (Espessura; Teste de tração, alongamento/ruptura e módulo Young, Permeabilidade a gás; Molhabilidade).	Espessura da membrana celulósica: 29 ± 2; Estrutura densa de nanofibras de celulose com largura média de 45 – 55 nm e D: 25 – 95 nm; Perda de 60-70% de massa a 348 °C e acentuada perda de massa a 450-510 °C; <u>Características do filme produzido e suas propriedades mecânicas:</u> Força de ruptura de $243 \pm 3 \text{ kPa}$; Deformação de ruptura: $3,18 \pm 0,06\%$; Tensão de tração: $23,56 \pm 0,51 \text{ MPa}$; Módulo de Young: $2,64 \pm 0,07 \text{ GPa}$; Permeabilidade a gás: > 1000 (após a secagem), indicando impermeabilidade; e A coloração clara com regiões amareladas (L*: $89,04 \pm 1,04$; a*: $0,09 \pm 0,01$; b*: $10,80 \pm 0,70$); Opacidade: $28,67 \pm 0,45\%$; Capacidade conservante como revestimento biodegradável (conservação de tomates por 20 dias).	(SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021)
Celulose sem tratamento	Aparência visual por espectrofotômetro e espessura por micrômetro digital; MEV; FTIR; DSC; Propriedades mecânicas; Isotermas de sorção de água; Atividade antioxidante	Películas homogêneas sem trincas, semiflexíveis e pouco rígidas; Espessura entre 28 – 79 μm (película seca); Luminosidade > 70 (L*), levemente avermelhados ($0 < a^* < 5$) e amarelados ($18 < b^* < 44$); Nanofibras em formato de fita (D: 20 a 100 nm e C: até 30 μm); As temperaturas de transição vítrea variaram de $84 \pm 3 \text{ °C}$ (filme de erva-doce) a $106 \pm 3 \text{ °C}$ (filme de lavanda); <u>Características e propriedades mecânicas:</u> Baixa deformação (ϵ máximo de 10,1%);	(TAPIAS et al., 2022)

		Valores de ME elevados entre $925,6 \pm 77,0$ MPa para o filme obtido do orégano e $3047,8 \pm 384,5$ MPa para o do chá preto; MTS resultou em valores que variam de $30,3 \pm 4,2$ MPa (filme de orégano) e $128,9 \pm 13,3$ MPa (filme de erva-mate); Capacidade antioxidante maior em película na infusão de erva-mate;	
Alcalinização com NaOH	Análise da celulose bacteriana seca por MEV, FTIR e XRD.	Cristalinidade: 81,4%, 95,3% e 96,7% de cristalinidade (1%, 3% e 5% de resíduo de acerola utilizado, respectivamente).	(LEONARSKI et al., 2021b)
Alcalinização com NaOH seguido por imersão em água destilada	FIB-SEM; CRA; FTIR; TGA; XRD;	Fibras com diâmetros médios entre 30 – 75 nm; CRA: 114,01%; FTIR: de celulose tipo I; XRD: cristalinidade em 77,9% TGA: $t^{\circ}\text{C} < 225$ aprox. 8% do peso da CB; $225^{\circ}\text{C} \leq t^{\circ}\text{C} \leq 350^{\circ}\text{C}$ aprox. 61% de perda do peso; E entre 350°C a 650°C houve perda de aproximadamente 7% da massa celulósica.	(AVCIOGLU; BIRBEN; SEYIS BILKAY, 2021)
Água deionizada e alcalinização com NaOH	pH, umidade, peso de amostra úmida, densidade; Teste de tração; FTIR; DSC; XRD; MEV.	XRD: Cristalinidade = ~47%; não houve transformação de celulose I em celulose II; presença de celulose α e β ; pH: 7,3 (CBS-H ₂ O) e 7,1 (CBS-NaOH); Umidade (24 horas de tratamento): 98% CBS-H ₂ O e 97% CBS-NaOH; Densidade (após secagem): 1,11 g/cm ³ (CBS-NaOH) e 0,93 g/cm ³ (CBS-H ₂ O); Espessura (amostra úmida): aumento médio de 18,22% (CBS-H ₂ O) e 21,32% (CBS-NaOH) após os respectivos tratamentos; Peso (amostra úmida em gramas): aumento médio de 15,5% de espessura (CBS-H ₂ O e CBS-NaOH); Propriedade de tração: amostra não tratada é mais elástica e menor resistência; CBS-H ₂ O = $\sigma = 75,75$ MPa e CBS-NaOH = $\sigma = 73,71$ MPa; $\epsilon = 45,18\%$ (não tratada), 8,36% (CBS-H ₂ O) e 5,47% (CBS-NaOH).	(SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019)

Legenda: CBS: Celulose bacteriana de SCOBY; CRA: Capacidade de retenção de água; MEV-EC: Microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo; FIB-SEM: Microscopia eletrônica de varredura por feixe de íons focalizado; XRD: Difrações de raios-X; TGA: Análise termogravimétrica; MEV: Microscopia eletrônica de varredura FTIR: Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier; ATR-FTIR: Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier de refletância atenuada; DSC: Calorimetria exploratória de varredura; CBS-CPF_F: Celulose bacteriana de SCOBY a partir da fermentação de chá preto com folhas frescas; CBS-CPF_U: Celulose bacteriana de SCOBY a partir da fermentação de chá preto com folhas reutilizadas; D: diâmetro; C: Comprimento; CBS-H₂O: Celulose bacteriana de SCOBY imersas em água deionizada; CBS-NaOH: Celulose bacteriana de SCOBY imersas em NaOH (0,5 % w/w); σ = Resistência a tração; ϵ = Extensão de quebra (valor de extensibilidade do material/deformação na ruptura); EM: Módulo de elasticidade; MTS: Força de tração máxima.

No processo de obtenção de celulose de SCOBY, foi relatado que a partir de uma maior quantidade de chá (*Camellia sinensis*), açúcares ou ainda a depender do uso de meio de cultura fermentável alternativo, por exemplo, algas ou resíduos de indústrias de alimentos, ou seja, o tipo de substrato escolhido e utilizado na fermentação poderá contribuir no aumento do peso e da espessura da membrana celulósica, além do desenvolvimento de uma estrutura mais densa, o que sugere uma perspectiva positiva na produção e rendimento de CB (LEONARSKI et al., 2021b).

A estrutura da celulose de SCOBY retirada do meio fermentativo e não tratada é porosa, frágil, composta por fibras emaranhadas com substâncias do meio de cultura e leveduras e bactérias aderidos, além de uma estrutura química típica de celulose tipo I, com regiões amorfas e cristalinas (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ; PATHAK, 2021).

A microestrutura celulósica é avaliada a fim de se verificar o efeito dos tratamentos com água ou com substâncias alcalinas sobre a eficácia de purificação da membrana celulósica a partir da remoção de bactérias e leveduras incrustadas nas fibras, além da eliminação de açúcares, como é o caso da celulose de SCOBY, além de ser possível também observar que após os tratamentos existe um afrouxamento entre as fibras e aumento da porosidade na estrutura (LEONARSKI et al., 2021b; SAVARY et al., 2021; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Após o tratamento com NaOH a morfologia das fibras de celulose também é afetada, tendo sido relatado aumento no diâmetro médio e no tamanho dos poros, sendo que posteriormente à lavagem do material tratado apenas o efeito sobre os poros é mantido, sendo que esta é uma prática usual em que lavagens sucessivas com água destilada, deionizada ou mesmo potável são realizadas até que o material atinja pH neutro (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; CHEN et al., 2021; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ, 2019a; VASCONCELOS et al., 2017).

A capacidade de retenção de água em celulose bacteriana é conhecida por ser superior comparada às vegetais e em celulose produzida por SCOBY não é diferente, as películas absorvem grande quantidade de líquido durante o período de fermentação justamente por sua estrutura composta por fibras finas, longas, porosidade relevante e características hidrofílicas (NAVYA et al., 2022; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ, 2019a).

Durante o contato com soluções de NaOH também é evidenciado entumescimento dessas películas devido ao afrouxamento entre as fibras, logo maiores espaços entre as

microfibrilas se formam e assim possibilita aumento da capacidade absorviva, maior permeabilidade à solventes e porosidade da estrutura celulósica que facilita a difusão de líquidos após o tratamento alcalino (CHEN et al., 2021; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Deste modo, há aumento de espessura da película após tratamento alcalino, como relatado por Sederavičiūtė, Bekampienė e Domskienė (2019) na Tabela 4, e essa propriedade pode ser útil em aplicação de celulose no tratamento de efluentes, curativos e em alimentos, por exemplo, utilizada como estratégia na redução de exsudação ou perda de água durante cozimento (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; LI et al., 2021; MOUSAVI et al., 2018; SHARMA; BHARDWAJ, 2019b).

Diante das análises de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier apresentadas na literatura, é possível verificar grupos funcionais e as ligações químicas existentes na molécula de celulose bacteriana e por meio dos resultados espectrais identificar presença de regiões amorfas e cristalinas, além de avaliar a efetividade do processo de purificação (SHARMA; BHARDWAJ, 2019a). Os difratogramas de raios-X da membrana celulósica tratada evidenciam o tipo de celulose (I ou II), sendo essencial para avaliar se a concentração de NaOH não foi excedida, e evitar a transformação em celulose II, além de indicar o grau de cristalinidade (LEONARSKI et al., 2021b; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

A determinação da cristalinidade ou a busca por aumentá-la mediante tratamentos químicos e físicos se dá mediante a sua influência em características mecânicas do material celulósico, sendo que se a proporção de áreas amorfas for maior o material será mais flexível e quando a proporção de regiões cristalinas for elevada, por exemplo, mediante tratamentos químicos e de purificação, as fibras poliméricas serão mais rígidas, adquirem maior módulo Young e resistência à tração (KHALID et al., 2021).

Um maior aumento da cristalinidade da CB e a produção de nanocristais de CB demandam intervenções físicas e químicas mais potentes que a alcalinização, sendo necessários pré-tratamentos com lavagens em água e/ou com reagentes alcalinos, posteriormente moagens, ultrassonificações, tratamentos térmicos e hidrólises químicas ou enzimáticas, sendo possível a remoção das regiões amorfas da nanofibra de celulose, e produção de nanocristais contendo apenas áreas cristalinas com característica anfífila e formato que se assemelha a agulhas (HE et al., 2021b; VASCONCELOS et al., 2017).

Entretanto, diante dos materiais consultados, até o momento a funcionalização, utilização e tratamento de celulose de SCOPY têm sido realizadas constantemente

mediante lavagens com água e alcalinização com soluções fracas, como elencado na Tabela 4 e obtendo bons resultados no quesito branqueamento e remoção de material não celulósico que esteja aderido as nanofibras de celulose bacteriana (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; LEONARSKI et al., 2021b; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019; SHARMA; BHARDWAJ, 2019a; SUBBIAHDOSS; OSMEN; REIMHULT, 2022).

Em relação a resistência térmica do material, as análises termogravimétricas e DSC analisam o calor absorvido ou liberado, variações de massas (evaporação) de acordo com altas temperaturas e tempo de exposição e a faixa de calor exata que ocorre a transição do estado do material, ocasionada por mudanças na organização química das fibras e ligações de glicose culminando em sua degradação (AVCIOGLU; BIRBEN; SEYIS BILKAY, 2021). Mediante realização de análise termogravimétrica conduzida em celulose de SCOBY íntegra, foi constatado que o processo de degradação iniciou-se a uma temperatura de 298,7 °C, demonstrando alta tolerância térmica, atributo esse que destaca-se como qualidade relevante, conferindo-lhe excelente potencialidade para aplicações em embalagens e produtos cozidos, por exemplo (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; TAPIAS et al., 2022).

A CB obtida a partir da fermentação do chá preto com microbiota otimizada proposta e testada por Avcioglu, Birben e Seyis Bilkay (2021) foi submetida à análise termogravimétrica (TGA-DSC), sob atmosfera de N₂ e faixa de temperatura entre 30-650°C, sendo 225°C, 225-350° C e 350-650°C os intervalos de temperaturas em que houve perdas de massa da celulose microbiana por degradação térmica. As perdas consistiram, primeiramente, por evaporação da água presente na membrana, seguida de dissociação das unidades de glicose, alteração da estrutura química, desidratação e despolimerização e por fim volatilização e oxidação do material, resultando em uma perda total de aproximadamente 76% de massa.

A estabilidade térmica será maior quanto maior for a pureza e cristalinidade da amostra, ou seja, após a remoção de açúcares e outros compostos, presentes na celulose de SCOBY, haverá aumento na estabilidade térmica, a exemplo, amostras tratadas com água e NaOH por Sederavičiūtė, Bekampienė e Domskienė (2019) demonstraram-se estáveis mesmo após cinco horas de submissão ao calor durante análise termogravimétrica.

Quando a celulose bacteriana é submetida a tratamentos alcalinos, devido a rede de fibras ser enfraquecida, isso influencia em uma maior extensibilidade do material e aspectos mecânicos e físicos da celulose de SCOBY também estão sujeitas a alterações

mediante contato com NaOH e isso pode ser evidenciado mediante testes de força, tração e permeabilidade à água (Chen et al., 2021; He et al., 2021; Sederavičiūtė et al., 2019).

A celulose de SCOBY íntegra apresenta uma alta extensibilidade, ou seja, o material oferece baixa resistência a tração mas quando é imersa em água ou em NaOH (tratamento) e após lavagens para atingir pH neutro, essa resistência é aumentada, logo torna-se um material com diminuída capacidade de deformação e elasticidade (SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019). Todavia, a elasticidade da CB também poderá ser perdida quando submetidas à modificações físicas, como processos de secagem da película (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

Sederavičiūtė, Bekampienė e Domskienė (2019) justificam que alterações estruturais e melhora de algumas propriedades funcionais, como maior estabilidade térmica, tem correlação com elevação de cristalinidade de celulose de SCOBY que antes foi detectada em 29,10% e atingiu aproximadamente 47% a partir de lavagens com água e uso de solução de NaOH a 0,5% (p/v), indicando eficiência dos tratamentos na eliminação de resíduos e materiais amorfos oriundos do meio de cultivo.

Entretanto, características da celulose de SCOBY íntegra como coloração e sua ação antibacteriana são aspectos interessantes em sua utilização sem tratamentos químicos prévios, por exemplo, como em embalagens ativas (ADURI et al., 2019). Diante disso, a depender do objetivo ou destinação da celulose de SCOBY é importante verificar a necessidade de tratamentos e/ou uso de substância química ou ainda a possibilidade de não beneficiamento prévio (AMARASEKARA; WANG; GRADY, 2020; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Em síntese, é possível constatar mediante os dados de análises de caracterização reunidos na Tabela 4 que os tratamentos alcalinos em celulose de SCOBY ocasionam aumento da extensibilidade, de viscoelasticidade, de absorvidade, de resistência à tração e estabilidade ao calor que implicam em inúmeras possibilidades de aplicação na indústria farmacêutica, biomédica e de alimentos (CHEN et al., 2021; SEDERAVIČIŪTĖ; BEKAMPIENĖ; DOMSKIENĖ, 2019).

Diante disso, a celulose de SCOBY passa a ser objeto de estudo como matéria-prima para obtenção de celulose bacteriana a partir de um processo produtivo limpo e sustentável e se torna não apenas um resíduo da indústria de kombucha e sim um coproduto com alto valor agregado e versatilidade (BEHERA; LAAVANYA; BALASUBRAMANIAN, 2022; LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021).

3 CONCLUSÃO

A obtenção de celulose de SCOBY é vantajosa em relação às etapas de purificação e branqueamento por serem menos complexas, além de se utilizar menor concentração de químicos poluentes quando comparado ao beneficiamento da celulose vegetal. A utilização de hidróxido de sódio têm sido o tratamento alcalino mais utilizado e possui eficiência comprovada no material celulósico oriundo da fermentação de kombucha, sendo que a concentração desta substância é inferior às relatadas em processos de purificação de celulose vegetal.

A purificação da celulose de SCOBY demonstra ser benéfica para funcionalização do material, como melhora da estabilidade a elevadas temperaturas e seu branqueamento o que a torna mais susceptível para possíveis estudos e aplicações na indústria alimentícia como aditivo e/ou ingrediente. O uso da CS sem tratamentos químicos também é uma possibilidade em preparos alimentícios e ou revestimentos biodegradáveis.

Todavia, nota-se que as pesquisas na purificação de CS são recentes devido à ausência de um padrão no uso de concentrações de substância alcalina e tempo de tratamento, assim como escassez de informações sobre obtenção de nanocristais a partir deste material celulósico. É necessário considerar que a quantidade de rendimento de celulose de SCOBY é um entrave na obtenção e utilização em larga escala deste biopolímero, o que demanda maiores estudos a fim de acelerar e aumentar a produção de CS.

Contudo, têm se a partir deste coproduto originário da fermentação de kombucha uma fonte de obtenção de celulose bacteriana, com ampla perspectiva nas áreas científicas e de tecnologia de alimentos, sendo um bioprocessos com cultura microbiológica fermentadora (SCOBY) de baixo custo, haja visto que é abundante nas membranas celulósicas formadas e excedentes na produção da bebida, além da reduzida complexidade de manutenção, em relação aos métodos tradicionais de produção de CB que demandam meios de cultura caros e condições de incubação rigorosas.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do estudo, por meio da concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ADURI, Priyanka; RAO, Kokolu Ankita; FATIMA, Areeba; PRIYANKA, Kaul; SHALINI, A. Study of biodegradable packaging material produced from SCOBY. **Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 389–404, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26479/2019.0503.32>. Disponível em: <http://www.rjlbpcs.com/article-pdf-downloads/2019/28/644.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2021.

AMARASEKARA, Ananda S.; WANG, Deping; GRADY, Tony L. A comparison of kombucha SCOBY bacterial cellulose purification methods. **SN Applied Sciences**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 1–7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1982-2>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s42452-020-1982-2>. Acesso em: 13 abr. 2022.

AVCIOGLU, Nermin Hande; BIRBEN, Meric; SEYIS BILKAY, Isil. Optimization and physicochemical characterization of enhanced microbial cellulose production with a new Kombucha consortium. **Process Biochemistry**, [S. l.], v. 108, p. 60–68, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.06.005>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359511321001872>. Acesso em: 9 abr. 2022.

AYED, Lamia; BEN ABID, Salwa; HAMDY, Moktar. Development of a beverage from red grape juice fermented with the Kombucha consortium. **Annals of Microbiology**, [S. l.], v. 67, n. 1, p. 111–121, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13213-016-1242-2>. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13213-016-1242-2>. Acesso em: 20 set. 2021.

BEHERA, Bunushree; LAAVANYA, D.; BALASUBRAMANIAN, Paramasivan. Techno-economic feasibility assessment of bacterial cellulose biofilm production during the Kombucha fermentation process. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 346, p. 1–7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126659>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421020010>. Acesso em: 3 set. 2022.

CHEN, Chuntao; DING, Weixiao; ZHANG, Heng; ZHANG, Lei; HUANG, Yang; FAN, Mengmeng; YANG, Jiazhi; SUN, Dongping. Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 278, p. 1–14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118995>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721013825>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CHEN, Si-Qian; MELDRUM, Oliver W.; LIAO, Qiudong; LI, Zhaofeng; CAO, Xiao; GUO, Lei; ZHANG, Shuyan; ZHU, Jie; LI, Lin. The influence of alkaline treatment on the mechanical and structural properties of bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 271, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118431>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721008183>. Acesso em: 10 maio. 2022.

EFTHYMIOU, Maria-nefeli; TSOUKO, Erminta; PATERAKI, Chrysanthi; PAPAGIANNOPOULOS, Aristeidis; TZAMALIS, Pavlos; PISPAS, Stergios; BETHANIS, Kostas; MANTALA, Ioanna; KOUTINAS, Apostolis. Property evaluation of bacterial cellulose nanostructures produced from confectionery wastes. **Biochemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 186, p. 1–11, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108575>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369703X22002443>. Acesso em: 22 ago. 2022.

EMILJANOWICZ, Katarzyna Ewa; MALINOWSKA-PAŃCZYK, Edyta. Kombucha from alternative raw materials – The review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 60, n. 19, p. 3185–3194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1679714>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2019.1679714>. Acesso em: 3 jun. 2022.

FONSECA, Alessandra de Souza; PANTHAPULAKKAL, Suhara; KONAR, Samir Kumar; SAIN, Mohini; BUFALINO, Lina; RAABE, Joabel; MIRANDA, Ires Paula de Andrade; MARTINS, Maria Alice; TONOLI, Gustavo Henrique Denzin. Improving cellulose nanofibrillation of non-wood fiber using alkaline and bleaching pre-treatments. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 131, p. 203–212, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.046>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669019300536>. Acesso em: 21 maio. 2022.

GEA, Saharman; REYNOLDS, Christopher T.; ROOHPUR, Nima; WIRJOSENTONO, Basuki; SOYKEABKAEW, Nattakan; BILOTTI, Emiliano; PEIJS, Ton. Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 102, n. 19, p. 9105–9110, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.077>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852411005955>. Acesso em: 3 abr. 2022.

HE, Feng; CHEN, Jinhui; GONG, Zhiwei; XU, Qinqin; YUE, Wang; XIE, Haibo. Dissolution pretreatment of cellulose by using levulinic acid-based protic ionic liquids towards enhanced enzymatic hydrolysis. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 269, p. 1–9, 2021. a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118271>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861721006585>. Acesso em: 29 mar. 2022.

HE, Xiangxiang; LU, Wei; SUN, Cuixia; KHALES, Hoda; MATA, Analucia; ANDALEEB, Rani; FANG, Yapeng. Cellulose and cellulose derivatives: Different colloidal states and food-related applications. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 255, p. 1–23, 2021. b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117334>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861720315071>. Acesso em: 20 out. 2022.

KHALID, Muhammad Yasir; AL RASHID, Ans; ARIF, Zia Ullah; AHMED, Waqas; ARSHAD, Hassan. Recent advances in nanocellulose-based different biomaterials: types, properties, and emerging applications. **Journal of Materials Research and Technology**, [S. l.], v. 14, p. 2601–2623, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.128>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2238785421007924>. Acesso em: 10 maio. 2022.

LAUVANYA, D.; SHIRKOLE, Shivanand; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 295, p. 1–20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621006740>. Acesso em: 13 maio. 2022.

2021.

LEONARSKI, Eduardo; CESCO, Karina; BORGES, Otília M. A.; OLIVEIRA, Débora; POLETO, Patrícia. Typical kombucha fermentation: Kinetic evaluation of beverage and morphological characterization of bacterial cellulose. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 45, n. 12, p. 1–9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16100>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16100>. Acesso em: 14 mar. 2022.

LEONARSKI, Eduardo; CESCO, Karina; ZANELLA, Eduardo; STAMBUK, Boris U.; OLIVEIRA, Débora De; POLETO, Patrícia. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct as raw material. **LWT**, [S. l.], v. 135, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110075>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643820310641>. Acesso em: 15 set. 2021.

LI, Ziqian; ZHANG, Yan; ANANKANBIL, Sampson; GUO, Zheng. Applications of nanocellulosic products in food: Manufacturing processes, structural features and multifaceted functionalities. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 113, n. March, p. 277–300, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.027>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421002181>. Acesso em: 20 maio. 2022.

LIN, Dehui; LIU, Zhe; SHEN, Rui; CHEN, Siqian; YANG, Xingbin. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 158, p. 1007–1019, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813020330968>. Acesso em: 11 nov. 2021.

MOUSAVI, S. M.; HASHEMI, S. A.; AMANI, A. M.; ESMAEILI, H.; GHASEMI, Y.; BABAPOOR, A.; MOJOUDE, F.; ARJOMAND, O. Pb(II) removal from synthetic wastewater using kombucha Scoby and graphene oxide/Fe₃O₄. **Physical Chemistry Research**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 759–771, 2018. DOI: 10.22036/PCR.2018.133392.1490. Disponível em: https://www.physchemres.org/article_69399.html. Acesso em: 2 set. 2021.

NAVYA, P. V.; GAYATHRI, Varnakumar; SAMANTA, Debasis; SAMPATH, Srinivasan. Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 220, p. 435–461, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813022017500>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PERUMAL, Anand Babu; NAMBIAR, Reshma B.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Nanocellulose: Recent trends and applications in the food industry. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 127, p. 1–23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107484>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X22000042>. Acesso em: 6 abr. 2022.

ROZENBERGA, Linda; SKUTE, Marite; BELKOVA, Lubova; SABLE, Inese; VIKLE, Laura; SEMJONOV, Pavels; SAKA, Madara; RUKLISHA, Maija; PAEGLE, Longina. Characterisation of films and nanopaper obtained from cellulose synthesised by acetic acid bacteria. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 144, p. 33–40, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.025>. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716300819>. Acesso em: 7 set. 2021.

SAVARY, Océane et al. Tailor-made microbial consortium for Kombucha fermentation: Microbiota-induced biochemical changes and biofilm formation. **Food Research International**, [S. l.], v. 147, p. 1–14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110549>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996921004488>. Acesso em: 9 ago. 2021.

SEDERAVIČIŪTĖ, F.; BEKAMPIENĖ, P.; DOMSKIENĖ, J. Effect of pretreatment procedure on properties of Kombucha fermented bacterial cellulose membrane. **Polymer Testing**, [S. l.], v. 78, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105941>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142941819303526>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K. Biotransformation of fermented black tea into bacterial nanocellulose via symbiotic interplay of microorganisms. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 132, p. 166–177, 2019. a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.202>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813019302831>. Acesso em: 1 jul. 2021.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K. Bacterial nanocellulose: present status, biomedical applications and future perspectives. **Materials Science and Engineering: C**, [S. l.], v. 104, p. 1–18, 2019. b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109963>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493118329606>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SHARMA, Chhavi; BHARDWAJ, Nishi K.; PATHAK, Puneet. Static intermittent fed-batch production of bacterial nanocellulose from black tea and its modification using chitosan to develop antibacterial green packaging material. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 279, p. 1–16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123608>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620336532>. Acesso em: 17 ago. 2021.

SINGHANIA, Reeta Rani; PATEL, Anil Kumar; TSENG, Yi-Sheng; KUMAR, Vinod; CHEN, Chiu-Wen; HALDAR, Dibyajyoti; SAINI, Jitendra Kumar; DONG, Cheng-Di. Developments in bioprocess for bacterial cellulose production. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 344, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126343>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421016850>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SUBBIAHDOSS, Guruprakash; OSMEN, Sarah; REIMHULT, Erik. Cellulosic biofilm formation of Komagataeibacter in kombucha at oil-water interfaces. **Biofilm**, [S. l.], v. 4, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2022.100071>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590207522000053>. Acesso em: 5 jun. 2022.

SURYANTO, H.; MUHAJIR, M.; SUTRISNO, T. A.; MUDJIONO; ZAKIA, N.; YANUHAR, U. The Mechanical Strength and Morphology of Bacterial Cellulose Films: The Effect of NaOH Concentration. **IOP Conference Series: Materials Science and**

Engineering, [S. l.], v. 515, n. 1, p. 1–8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012053>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/515/1/012053>. Acesso em: 12 mar. 2022.

TAPIAS, Yuly A. Ramírez; DI MONTE, M. Victoria; PELTZER, Mercedes A.; SALVAY, Andrés G. Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 372, p. 1–11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131346>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621023529>.

TORÁN-PEREG, Paula; DEL NOVAL, Blanca; VALENZUELA, Susana; MARTINEZ, Josefina; PRADO, Diego; PERISÉ, Ramón; ARBOLEYA, Juan Carlos. Microbiological and sensory characterization of kombucha SCOBY for culinary applications. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [S. l.], v. 23, p. 1–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100314>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X21000135>. Acesso em: 20 set. 2021.

VASCONCELOS, Niédja Fittipaldi; FEITOSA, Judith Pessoa Andrade; DA GAMA, Francisco Miguel Portela; MORAIS, João Paulo Saraiva; ANDRADE, Fábila Karine; DE SOUZA FILHO, Men de Sá Moreira; ROSA, Morsyleide de Freitas. Bacterial cellulose nanocrystals produced under different hydrolysis conditions: Properties and morphological features. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 155, p. 425–431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.090>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716310396>. Acesso em: 2 maio. 2022.

WEIHUA, Qiu; HONG, Ren; QIANHUI, Wang. Production of bacterial cellulose from enzymatic hydrolysate of kitchen waste by fermentation with kombucha. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], p. 1–12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02903-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13399-022-02903-5>. Acesso em: 20 jul. 2022.