

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

MAYEVELLIN LUIZA DO NASCIMENTO TAVARES

**CELULOSE BACTERIANA POR SCOPY DE KOMBUCHA: CARACTERIZAÇÃO E
APLICAÇÃO COMO BIOEMBALAGEM**

Vitória de Santo Antão

2025

MAYEVELLIN LUIZA DO NASCIMENTO TAVARES

**CELULOSE BACTERIANA POR SCOBY DE KOMBUCHA: CARACTERIZAÇÃO E
APLICAÇÃO COMO BIOEMBALAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado do Curso de
Graduação em Nutrição do Centro
Acadêmico da Vitória da Universidade
Federal de Pernambuco em
cumprimento a requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Nutrição, sob orientação da Professora
Dra Christine Lamenha Luna Finkler.

Vitória de Santo Antão

2025

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

Tavares, Mayevellin Luiza do Nascimento.

Celulose bacteriana por scoby de kombucha: Caracterização e aplicação como bioembalagem / Mayevellin Luiza do Nascimento Tavares. - Vitória de Santo Antão, 2025.

57 p. : il., tab.

Orientador(a): Christine Lamenha Luna Finkler

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, Nutrição - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. biofilme. 2. embalagem de alimentos. 3. celulose. 4. chá de kombucha.
I. Finkler, Christine Lamenha Luna. (Orientação). II. Título.

600 CDD (22.ed.)

MAYEVELLIN LUIZA DO NASCIMENTO TAVARES

**CELULOSE BACTERIANA POR SCOBY DE KOMBUCHA: CARACTERIZAÇÃO E
APLICAÇÃO COMO BIOEMBALAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado do Curso de
Graduação em Nutrição do Centro
Acadêmico da Vitória da Universidade
Federal de Pernambuco em
cumprimento a requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Nutrição, sob orientação da Professora
Dra Christine Lamenha Luna Finkler.

Data: 22.08.2025

Nota:

Banca Examinadora:

Profa. Christine Lamenha Luna Finkler (Examinadora Externa)
Departamento de Antibióticos - Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Renata Emanuelle Assunção Santos (Examinadora Interna)
Centro Acadêmico de Vitória - Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Eduila Maria Couto Santos (Examinadora Interna)
Centro Acadêmico de Vitória - Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho à minha família, meu maior alicerce. Em especial à minha bisá Josefa e aos meus avós, Teresa e Fernando, que, com cuidado e dedicação, me criaram como sua menininha. Cada conquista minha é também de vocês, e tudo o que sou carrega o amor infinito que sempre me ofereceram.

AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar meus agradecimentos sem falar do meu Criador, meu Papai. Deus, muito obrigada por cuidar de mim ao longo desta caminhada, por me guardar como a menina dos Teus olhos durante todos esses anos. Sei que o Senhor esteve comigo a cada instante, mesmo quando eu não era merecedora. A Ti entrego esta conquista, pois sem Tua graça nada disso seria possível.

Aos meus pais, Fernanda e Moisés, por acreditarem em mim e por fazerem meu sonho se tornar realidade, sem medir esforços para isso. Sou grata por ter o privilégio de ser filha de vocês e por nunca me preocupar com nada além do estudo. Espero um dia poder retribuir todo o sacrifício que fizeram por mim. Ao meu irmão, que com seus elogios faz eu me sentir a pessoa mais linda e inteligente do mundo, agradeço pelo carinho. Sei que a distância me fez uma filha e irmã um pouco ausente, privando-me de momentos importantes ao lado de vocês, mas cada renúncia construiu este caminho, e ainda teremos muito a viver juntos.

Agradeço aos meus familiares, em especial à minha bisá, aos meus avós, à tia Flávia, à Eliane e à minha prima Shavanna, por todo o apoio e carinho que sempre me dedicaram. Desde o meu nascimento, vocês me ensinaram, com amor, o valor dos estudos, acompanhando e incentivando cada passo meu desde o maternal. Esta conquista, assim como as que ainda virão, pertence a todos nós. Onde quer que eu chegue, levarei sempre o nome de vocês comigo. Ao meu amor, meu companheiro de vida, obrigada por tornar minha rotina mais leve, por ser meu apoio e segurança nos dias difíceis. Ainda vamos conquistar o mundo juntos.

Ao meu grupinho da faculdade, meu eterno “Barbie Day”, agradeço por compartilharem comigo estes quatro anos. Vivemos momentos inesquecíveis, que ficarão guardados na minha memória e no meu coração. Dia após dia, vocês estiveram presentes, e juntos nos tornamos uma verdadeira família. Um agradecimento especial às minhas amigas, carinhosamente chamadas Mandinha e Jujubinha, que dividiram apartamento comigo e passaram praticamente todo o tempo ao meu lado. Entre cafés intermináveis, saídas para comer pastel, voltas ao mercado e muitas risadas, tornaram a rotina mais leve e divertida.

Também quero expressar minha gratidão à minha orientadora, Christine, e ao professor Leandro, por me guiarem e me fazerem crescer como aluna e como

pessoa. Tivemos a oportunidade de compartilhar diversas experiências acadêmicas e pessoais, sempre com paciência, incentivo e atenção aos detalhes. Obrigada por acreditarem em mim e no meu potencial, por me desafiarem a ir além e por contribuírem de forma decisiva para que eu chegasse até aqui.

Agradeço ainda a todos os professores da faculdade, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pelo incentivo ao longo desta jornada acadêmica. Aos funcionários, meu reconhecimento pelo apoio em todos os momentos, garantindo que o ambiente de estudo fosse sempre acolhedor e organizado. Também sou grata aos colegas de turma, com quem compartilhei aprendizados, desafios e experiências que tornaram esses anos mais ricos e memoráveis.

Por fim, agradeço a todos do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Industrial da UFPE, pela parceria, aprendizado e apoio durante a realização deste trabalho. De maneira especial, agradeço à Ellen e ao Andrews, por contribuírem de forma essencial neste estudo, e a todos que, de alguma forma, ajudaram para que este trabalho se tornasse realidade.

RESUMO

A crescente preocupação ambiental e o desperdício de alimentos têm impulsionado o desenvolvimento de embalagens mais sustentáveis. Entre as alternativas, a celulose bacteriana tem ganhado destaque. O chá de kombucha é mediado pela simbiose de bactérias e leveduras (SCOBY), que apresenta características como resistência, elasticidade, biodegradabilidade e elevada área superficial. A adição de indicadores naturais de pH em biofilmes possibilita monitorar o frescor dos alimentos, favorecendo assim a segurança e a redução do impacto ambiental. Neste contexto, este estudo objetivou produzir e caracterizar biofilmes de celulose de kombucha em escala laboratorial e industrial, avaliando suas propriedades físico-químicas e aplicabilidade como embalagem inteligente. Foi necessário obter um biofilme industrial, de tamanho maior, visando a sua aplicação como bioembalagem. Os filmes foram purificados com solução de NaOH 0,1 mol/L à temperatura ambiente até que atingissem a coloração branca. Para avaliar o efeito de um plastificante, foi incorporado o glicerol à 25% do peso seco da celulose nas amostras. Através do processo de secagem e dos dados obtidos, foi possível determinar o percentual de umidade das amostras e a capacidade de retenção de água dos biofilmes com e sem glicerol, analisados estatisticamente pelo teste t Student. Além disso, os filmes foram caracterizados por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. Para a obtenção da antocianina, utilizou-se farinha de casca e sementes de uva sob um processo de extração utilizando etanol:água (1:1). Os filmes indicadores foram aplicados em filés de tilápia como embalagem primária em temperatura ambiente. Os resultados mostraram que os filmes laboratoriais apresentaram maior capacidade de retenção de água que os industriais, embora todos exibissem altos teores de umidade (>95%). A análise por FTIR confirmou as bandas típicas da celulose e indicou que o glicerol atuou apenas como plastificante físico. A impregnação com antocianinas permitiu mudanças de cor visíveis em diferentes valores de pH, ainda que de baixa intensidade. Em testes com filés de tilápia, os filmes de kombucha tiveram desempenho similar ao PVC, mas sua opacidade e baixa coloração ainda são limitações. Conclui-se que a celulose bacteriana de kombucha é promissora para bioembalagens sustentáveis e inteligentes, mas estudos futuros devem otimizar a incorporação de pigmentos, reduzir a umidade e aumentar a transparência dos filmes.

Palavras-chave: biofilme; embalagem de alimentos; celulose; chá de kombucha.

ABSTRACT

Growing environmental concerns and food waste have driven the development of more sustainable packaging. Among the alternatives, bacterial cellulose has gained prominence. Kombucha tea is mediated by the symbiosis of bacteria and yeast (SCOBY), which has characteristics such as strength, elasticity, biodegradability, and high surface area. The addition of natural pH indicators to biofilms makes it possible to monitor food freshness, thus promoting safety and reducing environmental impact. In this context, this study aimed to produce and characterize kombucha cellulose biofilms on a laboratory and industrial scale, evaluating their physicochemical properties and applicability as smart packaging. A larger industrial biofilm was required for its application as biopackaging. The films were purified with a 0.1 mol/L NaOH solution at room temperature until they turned white. To evaluate the effect of a plasticizer, glycerol was incorporated into the samples at 25% of the dry weight of the cellulose. Through the drying process and the data obtained, it was possible to determine the moisture content of the samples and the water retention capacity of the biofilms with and without glycerol, which were statistically analyzed using the Student's t-test. Furthermore, the films were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy. To obtain anthocyanins, grape skin and seed flour were used through an ethanol:water (1:1) extraction process. The indicator films were applied to tilapia fillets as primary packaging at room temperature. The results showed that the laboratory films had greater water retention capacity than the industrial ones, although all exhibited high moisture contents (>95%). FTIR analysis confirmed the typical cellulose bands and indicated that glycerol acted solely as a physical plasticizer. Impregnation with anthocyanins allowed visible color changes at different pH values, albeit of low intensity. In tests with tilapia fillets, kombucha films performed similarly to PVC, but their opacity and low coloration remain limitations. The conclusion is that kombucha bacterial cellulose holds promise for sustainable and smart biopackaging, but future studies should optimize pigment incorporation, reduce moisture, and increase film transparency.

Keywords: biofilms; food packaging; cellulose; kombucha tea.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Via bioquímica da síntese de celulose por <i>Komagataeibacter xylinum</i> . NAD: Nicotinamida adenina dinucleotídeo; NADP: Fosfato de nicotinamida adenina dinucleotídeo.	20
Figura 2 – Recipiente contendo o Scoby e líquido <i>starter</i> para a elaboração da Kombucha.	27
Figura 3 – SCOBY em escala laboratorial após esterilização.	28
Figura 4 – SCOBY em escala industrial após esterilização.	28
Figura 5 – Filmes em escala laboratorial imersos em solução, com e sem glicerol.	29
Figura 6 – Biofilmes produzidos em escala laboratorial (A) e obtidos em escala industrial (B) durante secagem em estufa a 50°C.	29
Figura 7 – Processo de purificação dos biofilmes laboratoriais de celulose de kombucha durante quatro dias.	33
Figura 8 – Processo de purificação do biofilme industrial de celulose de kombucha durante nove dias.	33
Figura 9 – Aspecto visual dos filmes obtidos em laboratório após o processo de secagem.	34
Figura 10 – Espectro de FTIR na faixa de 4000–550 cm ⁻¹ para filmes de celulose sem glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório	34
Figura 11 – Espectro de FTIR na faixa de 4000–550 cm ⁻¹ para filmes de celulose com glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório.	35
Figura 12 – Mudança de coloração no extrato de antocianinas a diferentes valores de pH.	37
Figura 13 – Resposta de cor dos filmes de celulose contendo antocianina a diferentes valores de pH.	37
Figura 14 – (A) Filés de tilápia embalados com filmes no início do experimento: (1) embalados com filme de PVC; (2) embalados com filme de celulose de kombucha sem glicerol; (3) embalados com filme de celulose de kombucha com glicerol. (B) Filés de tilápia após 24 h de armazenamento à temperatura ambiente e sem os filmes.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de capacidade de retenção de água (WHC) e percentual de umidade (U%) de filmes de celulose obtidos em laboratório e em escala industrial, com e sem glicerol	34
Tabela 2 – Intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção para filmes de celulose sem glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório	35
Tabela 3 – Intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção para filmes de celulose com glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CB	Celulose Bacteriana
DRX	Difração de Raios X
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
MA	Absortividade molar de cianidina-3-glicosídeo
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NaOH	Hidróxido de Sódio
PIQ	Padrão de Identidade e Qualidade
PR	<i>Phyllanthus reticulatus</i>
PVC	Policloreto de Vinila
PVOH	Álcool polivinílico
SCOBY	<i>Symbiotic Colony of Bacteria and Yeast</i>
TTA	Teor total de antocianinas
U%	Percentual de umidade
UDPG	Uridina Difosfoglicose
WHC	<i>Water Holding Capacity</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 REVISÃO DA LITERATURA	18
4.1. Kombucha e a Produção de Celulose Bacteriana	18
4.2 Características e Aplicações do Biopolímero	21
4.3 Bioembalagens	23
4.4 Técnicas de Caracterização dos Biofilmes	25
5 MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1 Elaboração da kombucha	27
5.2 Purificação da celulose	27
5.3 Obtenção da celulose industrial	28
5.4 Incorporação de glicerol ao biopolímero	29
5.5 Determinação da capacidade de retenção de água e da umidade dos filmes	29
5.6 Análise por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	30
5.7 Extração de antocianinas e quantificação de antocianinas totais	31
5.8 Preparo do indicador e aplicação dos biofilmes como embalagem primária	31
5.9 Análise estatística	32
6 RESULTADOS	33
6.1 Obtenção dos biopolímeros purificados	33
6.2 Caracterização da celulose	33
6.2.1 Capacidade de retenção de água e percentual de umidade dos filmes obtidos em escala laboratorial e em escala industrial	33
6.2.2 Caracterização dos filmes em escala de laboratório por FTIR	34
6.3 Quantificação de antocianinas totais no extrato e avaliação da coloração de biofilmes de celulose contendo o indicador	36
6.4 Aplicação dos biofilmes como embalagem primária	38
7 DISCUSSÃO	39
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais obstáculos enfrentados pelo setor alimentício é a deterioração da qualidade dos produtos ao longo do período de estocagem, resultante de transformações químicas, físicas ou biológicas, o que contribui para o aumento do desperdício de alimentos (Morais, 2024). As embalagens tradicionais de alimentos foram criadas com a finalidade de assegurar a preservação e o acondicionamento do produto. Contudo, os progressos tecnológicos possibilitaram o surgimento de embalagens cujas funcionalidades ultrapassam os aspectos usuais, dando origem a um novo setor que abrange as chamadas embalagens ativas e inteligentes (Machado; Santos, 2023). Nesse contexto, destaca-se o chá de kombucha, bebida originária da China, tradicionalmente utilizada na medicina chinesa por possuir efeitos estimulantes e pela capacidade de auxiliar na eliminação de toxinas do organismo (Onsun; Toprak; Sanlier, 2025).

Devido às suas propriedades benéficas à saúde e características sensoriais marcantes, a kombucha tem passado por processos de diversificação e inovação, utilizados como estratégias competitivas de mercado. Nos últimos anos, a indústria mundial de kombucha tem apresentado um crescimento expressivo: em 2018, movimentou cerca de 1,5 bilhões de dólares, com projeções de alcançar aproximadamente 5 bilhões até o final de 2025 (Wang *et al.*, 2022).

A produção da kombucha inicia-se com a infusão das folhas de *Camellia sinensis*, geralmente nas variedades de chá verde, chá preto ou oolong. Em seguida, adiciona-se açúcar ao líquido ainda quente para facilitar sua dissolução. Após o resfriamento à temperatura ambiente, realiza-se a inoculação do biofilme celulósico denominado *SCOB*Y, responsável pelo processo fermentativo e pela produção de celulose bacteriana (Symbiotic Colony of Bacteria and Yeast) (Júnior *et al.*, 2022).

A celulose, um biopolímero de origem natural, renovável e ecologicamente sustentável, tem ganhado destaque na literatura e na indústria, especialmente devido às suas propriedades mecânicas e físico-químicas (Tapias *et al.*, 2022). Os principais setores que exploram seu potencial são a indústria alimentícia, o setor

têxtil e o ambiental, todos em busca de soluções mais sustentáveis e eficientes para seus processos produtivos (Cubas *et al.*, 2023).

A poluição plástica se tornou uma preocupação comum dentro das ciências ambientais, estando amplamente distribuída em vários ecossistemas. Os microplásticos, em especial, são colocados no ambiente por diferentes rotas e representam um contaminante singular por serem partículas compostas por polímeros associados a aditivos químicos, conferindo cor e maleabilidade. Essa combinação aumenta seu potencial de impacto, já que além de persistirem no meio, suas formas e volumes favorecem interações nocivas com organismos, afetando cadeias alimentares, qualidade do solo, água e, conseqüentemente, o equilíbrio dos ecossistemas (Rillig; Kim; Zhu, 2023). Nesse contexto, alternativas sustentáveis têm ganhado espaço, incluindo o setor alimentício. O uso de compostos naturais, como a celulose, na conservação de alimentos tem recebido crescente reconhecimento científico, por apresentar baixa toxicidade, ser biodegradável, possuir ação antioxidante e antimicrobiana, além de oferecer características físicas e sensoriais compatíveis com o seu uso para aplicação industrial (Souza *et al.*, 2021).

Em razão dessas propriedades, o uso de biopolímeros em embalagens bioativas tem se mostrado uma estratégia eficaz, contribuindo para o aumento da vida útil dos produtos e promovendo alternativas mais saudáveis de acondicionamento (Albuquerque, 2019). Estas inovações também têm potencial para preservar a qualidade e a segurança dos alimentos, reduzir os impactos ambientais e tornar os produtos mais atrativos, tanto para comerciantes quanto para consumidores (Machado; Santos, 2023).

Outra abordagem promissora são as embalagens inteligentes, que integram biossensores que fornecem informações visuais em tempo real acerca da qualidade e do frescor dos alimentos, promovendo maior segurança e transparência ao consumidor (Ongaratto; Vital; Prado, 2022). Há uma grande variedade de equipamentos e dispositivos que podem ser incorporados a essas embalagens, desde os mais complexos, a exemplo das etiquetas de identidade e sensores eletroquímicos, até os mais simples, como a utilização de indicadores de variação do pH (Teixeira; Soares; Stringheta, 2021).

Considerando o contexto apresentado, torna-se evidente a necessidade de desenvolver embalagens que, além de sustentáveis, contribuam ativamente para a conservação e monitoramento da qualidade dos alimentos (Martinazzo *et al.*, 2020).

Estudos apontam que a celulose bacteriana possui propriedades funcionais ideais para essa finalidade, como atividade antimicrobiana e alta resistência mecânica (Morais *et al.*, 2022). Além disso, a incorporação de indicadores visuais como os de pH tem se mostrado promissora para embalar alimentos perecíveis, promovendo maior transparência e segurança ao consumidor (Barbosa; Goes, 2025). Contudo, no cenário brasileiro, ainda são limitadas as iniciativas que aliam esses elementos em um único material, o que reforça a relevância e a originalidade da proposta deste trabalho. Desta forma, este estudo visa caracterizar a celulose bacteriana obtida pela fermentação de kombucha para a sua utilização como bioembalagem para alimentos e utilizar um indicador de pH visando o desenvolvimento de uma embalagem inteligente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

- Produzir e caracterizar a celulose bacteriana de *scooby* de kombucha para aplicação como bioembalagem de alimentos associada a um indicador de pH.

2.2 Objetivos específicos:

- Produzir kombucha em escala laboratorial para a obtenção de celulose;
- Purificar o biopolímero produzido;
- Caracterizar o biopolímero pela capacidade de retenção de água e espectroscopia de infravermelho, na presença ou ausência de glicerol;
- Purificar celulose de kombucha obtida em escala industrial;
- Caracterizar a celulose obtida de escala industrial pela capacidade de retenção de água, na presença ou ausência de glicerol;
- Aplicar a celulose obtida de escala industrial como embalagem para monitorar o frescor de filés de peixe;
- Avaliar a utilização de um indicador de pH visando o desenvolvimento de uma embalagem inteligente.

3 JUSTIFICATIVA

A fermentação do chá kombucha, por meio da ação simbiótica de bactérias e leveduras (*SCOBY*), resulta na formação de celulose bacteriana, um biopolímero com propriedades como resistência, elasticidade, biodegradabilidade e alta área superficial. Essas características tornam o material promissor para o desenvolvimento de bioembalagens sustentáveis.

Diante da crescente preocupação ambiental e da necessidade de reduzir o desperdício de alimentos, as embalagens inteligentes têm ganhado destaque, especialmente aquelas que incorporam indicadores de pH - sensores simples, de baixo custo e fácil interpretação. A união desse tipo de indicador à celulose bacteriana representa uma alternativa funcional e inovadora, com potencial de aplicação na indústria de alimentos. No cenário brasileiro, ainda são limitadas as iniciativas que aliam esses elementos em um único material, o que reforça a relevância e a originalidade da proposta deste trabalho.

Assim, este trabalho justifica-se por propor uma solução sustentável e tecnológica, que contribui para a conservação de alimentos, a redução de impactos ambientais e a oferta de embalagens mais seguras e informativas ao consumidor.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1. Kombucha e a Produção de Celulose Bacteriana

O mercado de alimentos e bebidas funcionais enriquecidos com probióticos tem apresentado crescimento expressivo nos últimos anos, impulsionado pelo aumento da demanda global. De acordo com a Fortune Business Insights, o setor deve atingir em US\$ 94 bilhões até 2027 (Batista *et al.*, 2023). Entre esses produtos, o chá de kombucha registra expansão anual de cerca de 30%. Na América Latina, o mercado dessa bebida foi estimado em US\$ 112,75 milhões em 2022, com previsão de triplicar até 2027 (Moccia *et al.*, 2024). No Brasil, a Associação Brasileira de Kombucha destaca o potencial de expansão, com faturamento de 11 milhões em 2029 (Alcantara; Santos, 2023).

No Brasil, a Instrução Normativa nº41, de 2019, regulamenta o Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) da kombucha, definindo-a como bebida fermentada produzida a partir da infusão da *Camellia sinensis* adoçada, submetida à fermentação aeróbia e anaeróbia mediada pelo *SCOBY*. A legislação também permite ingredientes opcionais como frutas, hortaliças, ervas e mel (Wanderley *et al.*, 2023).

A origem do termo kombucha ainda é debatida. Embora sua pronúncia remeta à língua alemã, uma das hipóteses mais aceitas aponta para sua derivação do japonês, podendo ser traduzido como “chá de algas marinhas” (Bishop *et al.*, 2022). Acredita-se que a bebida tenha se originado na Manchúria, nordeste da China, por volta de 220 a.C., durante a Dinastia Tsin, sendo apreciada por seus possíveis benefícios à saúde. Com o tempo, se espalhou por meio das rotas comerciais, alcançando países como Coreia, Japão, Rússia e Europa Ocidental, chegando à Alemanha no século XX, e, posteriormente, à França e ao Norte da África na década de 1950. Atualmente, é consumida mundialmente, inclusive no Brasil (Miranda *et al.*, 2022).

A kombucha é obtida pela fermentação de chá adoçado com auxílio de uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (*SCOBY*). Esse processo resulta em uma bebida levemente ácida e adocicada, composta por duas fases principais: uma matriz de celulose microbiana e uma fase líquida acidificada, rica em compostos bioativos (Silva *et al.*, 2021).

É uma bebida fermentada obtida em duas etapas complementares: uma fermentação aeróbica, conduzida pelo *SCOBY*, e uma fermentação anaeróbica, responsável pela gaseificação natural e eventual saborização. Na fase aeróbica, leveduras como *Saccharomyces* hidrolisam a sacarose em glicose e frutose, metabolizando-os em etanol e CO₂; posteriormente, bactérias acéticas como *Acetobacter* e *Komagataeibacter* oxidam o etanol em ácido acético, enquanto bactérias láticas convertem açúcares residuais em ácido lático. Paralelamente, bactérias do gênero *Komagataeibacter* sintetizam celulose bacteriana, formando um biofilme protetor. Já na fase anaeróbica, em recipientes hermeticamente fechados, microrganismos remanescentes metabolizam açúcares adicionais, produzindo CO₂, compostos voláteis e metabólitos secundários que intensificam a complexidade sensorial. O resultado é uma bebida de sabor ácido característico, baixa graduação alcoólica e rica em compostos bioativos com potencial funcional (Dada *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2024).

Fatores como tipo e concentração de açúcar, temperatura, tempo de fermentação, pH inicial e adição de substratos alternativos influenciam diretamente o crescimento microbiano e a produção de metabólitos. Tais variáveis afetam não apenas as características sensoriais, mas também a qualidade microbiológica e físico-química da kombucha (Carvalho *et al.*, 2025).

Dentre as propriedades benéficas à saúde, o chá apresenta efeitos que favorecem o equilíbrio da microbiota intestinal, modulam a resposta imune e previne distúrbios gastrointestinais. Sua atividade antioxidante e anti-inflamatória, atribuída aos polifenóis e vitamina C potencializados pela fermentação, alia-se à ação desintoxicante do ácido glicurônico. Compostos fenólicos e metabólitos fermentativos conferem potencial efeito anticâncer, além de propriedades hipoglicemiantes e hipolipemiantes. Essas ações, associadas à diminuição do estresse oxidativo, reforçam o papel na prevenção de doenças crônicas e na promoção da saúde (Maia *et al.*, 2020). Os compostos bioativos presentes na kombucha podem ter origem tanto no substrato, como polifenóis, polissacarídeos, vitaminas, minerais e aminoácidos, quanto nos metabólitos resultantes da atividade microbiana durante o processo fermentativo (Sanwal *et al.*, 2023).

Um estudo metagenômico conduzido por Kaashyap, Cohen e Mantri (2021) identificou que a kombucha abriga cerca de 200 espécies de microrganismos, incluindo 20 variedades de bactérias e 16 de leveduras. No trato gastrointestinal

humano, bactérias, principalmente lácticas e acéticas, e leveduras podem estabelecer relações simbióticas com cepas benéficas, inibindo o crescimento de patógenos. Além disso, a bebida sintetiza uma ampla gama de compostos bioativos, configurando-se como um verdadeiro “coquetel” químico, que inclui ácidos orgânicos, polifenóis, vitaminas, minerais, fibras, aminoácidos, etanol, dióxido de carbono, compostos antimicrobianos e enzimas (Moura Neto *et al.*, 2025).

Com o andamento da fermentação ocorre a formação da película de celulose gelatinosa na superfície e o meio líquido (caldo fermentado) tem diminuição no pH e aumento na acidez, causados devido à ação simbiótica de bactérias e leveduras (Anantachoke *et al.*, 2023). O *SCOBY* é um biofilme celulósico que tem a função de ser utilizado como cultura starter, sendo gerado a cada fermentação (Harrison; Curtin, 2021).

O *SCOBY* é constituído por uma diversidade microbiana que varia conforme o tipo de substrato, as condições ambientais e a origem do cultivo. Portanto, a kombucha produzida é obtida a partir de uma cultura complexa de bactérias do ácido acético (*Acetobacter*, *Gluconobacter* e *Komagataeibacter*) (De Roos; De Vuyst, 2018), leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Brettanomyces bruxellensis*, *Schizosaccharomyces pombe* e *Zygosaccharomyces rouxii*) (Coton *et al.*, 2017), e frequentemente, mas nem sempre, bactérias do ácido láctico (*Lactobacillus*, *Lactococcus*) (Marsh *et al.*, 2014). Essa diversidade favorece a formação de uma matriz tridimensional de nanofibrilas de celulose, que contribui para a resistência, flexibilidade e capacidade de reter água do biofilme (Laavanya; Shirkole; Balasubramanian, 2021).

A síntese da celulose bacteriana inicia-se com a adesão bacteriana à superfície do meio líquido e a secreção de uma matriz polissacarídica que forma o biofilme. No interior da célula, a glicose é convertida em uridina difosfoglicose (UDPG), precursor direto da celulose por meio de reações catalisadas por glicose quinase, fosfoglucomutase e UDPG pirofosforilase. A celulose sintase, então, polimeriza as unidades de glicose em cadeias de β -1 $\rightarrow$ 4 glucano, que se organizam em fitas e macrofibrilas, sendo extrusadas para o meio extracelular, onde estruturam o biofilme (Ojo; Smidt, 2023) (Figura 1)

Em relação à quantidade de celulose produzida durante a fermentação, Tapias *et al.* (2023) verificaram que a infusão de erva-mate suplementada com sacarose apresentou elevada eficiência, atingindo 19,4 g/L, com rendimento de 0,29

O *SCOB* produzido na kombucha apresenta textura gelatinosa em forma de disco e pode adaptar-se ao formato do recipiente de cultivo (Andrade, 2024). Sua composição inclui fibras, proteínas, lipídios, minerais e vitaminas. Diferente da celulose vegetal, a CB possui elevada pureza, maior cristalinidade, ausência de lignina e hemicelulose, além de ser facilmente purificada por meio de hidróxido de sódio, sem necessidade de solventes tóxicos. Essas características conferem ao material vantagens como maior resistência mecânica, biocompatibilidade e atoxicidade - tanto por ingestão quanto por contato (Silva *et al.*, 2023).

A nanocelulose bacteriana, com diâmetro de 20 à 100 nm, destaca-se por suas propriedades superiores à da celulose vegetal: alta retenção de água, grande área superficial, resistência à tração e estabilidade térmica. Tais atributos tornam esse biopolímero aplicável em áreas como engenharia de tecidos, liberação controlada de fármacos, indústria alimentícia e embalagens biodegradáveis, por isso, tem havido alta demanda global (Charoenrak *et al.*, 2023).

Entre as aplicações, destaca-se o estudo de Gonsales, Assarice e Lima (2023), que visou produzir, de forma sustentável, um biotecido a partir do *SCOB* como alternativa aos materiais e tecidos de couro. Outro uso relevante envolve a produção de curativos para queimaduras e úlceras, beneficiando-se de propriedades como biocompatibilidade, capacidade de formar barreiras contra patógenos e elevada resistência mecânica (Pang *et al.*, 2020).

Na indústria cosmética, Pacheco *et al.* (2017) aplicaram máscaras de celulose bacteriana (CB) em 69 voluntários, três vezes por semana durante dois meses, para veiculação de ativos. O material apresentou boa aderência à pele e melhorou significativamente a hidratação, demonstrando potencial em tratamentos dermatológicos. No setor alimentício, Pereira Filho *et al.* (2025) desenvolveram filmes biodegradáveis de gelatina, celulose vegetal e nanocristais de CB obtidos de resíduos, que mantiveram transparência e apresentaram aumento significativo da resistência mecânica, configurando-se como alternativa sustentável às embalagens plásticas.

Diante da crescente preocupação ambiental com resíduos industriais e embalagens plásticas, a celulose bacteriana surge como uma alternativa sustentável (Treviño-Garza *et al.*, 2020). Sua biodegradabilidade, não toxicidade e estabilidade química, a colocam no centro das pesquisas voltadas para soluções tecnológicas ambientalmente responsáveis (Doğan, 2023).

4.3 Bioembalagens

Os plásticos desempenham um papel essencial no setor de embalagens alimentícias, garantindo qualidade, segurança, prazos de validade adequados e redução do desperdício. Entretanto, seu uso intensivo está associado a impactos ambientais significativos, como degradação de recursos naturais, acúmulo de resíduos sólidos e contribuição para o aquecimento global (Covarrubias *et al.*, 2023). Assim, a embalagem assume também caráter social, refletindo a identidade e o posicionamento da marca frente a questões ambientais na produção e comercialização do produto (Debeaufort, 2021).

As bioembalagens são produzidas a partir de materiais renováveis, capazes de se degradar completamente. Podem ser obtidas diretamente por sistemas biológicos ou pela polimerização de monômeros de origem biológica, como o ácido polilático (Ludwicka; Kaczmarek; Białkowska, 2020). Nos últimos anos, observa-se crescente interesse nesse tipo de embalagem para uso alimentício, com destaque para pesquisas voltadas ao desenvolvimento de revestimentos e filmes com ação antimicrobiana (Al-hilifi; Al-ali; Petkoska, 2022).

Entre as vantagens deste tipo de embalagem, como as produzidas com quitosana, destacam-se a biodegradabilidade, não toxicidade e propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Bof *et al.*, 2021). Apesar desses atributos, seu uso na conservação de alimentos ainda enfrenta limitações, especialmente pela necessidade de aprimorar propriedades mecânicas e de barreira (Porta; Sabbah; Pierro, 2022).

A incorporação de biomoléculas funcionais em matrizes bioplásticas tem se mostrado uma estratégia promissora para prolongar a vida útil de alimentos, como exemplificado por Gigante *et al.* (2023), que demonstraram melhora nas propriedades de barreira contra oxigênio e vapor de água, além da adição de características antimicrobianas e antioxidantes. Em aplicação prática, Körde *et al.* (2020) utilizaram filmes de celulose bacteriana para embalar queijo e observaram que, embora os filmes sem aditivos reduzissem mais a contagem bacteriana inicial, as versões ativas mantiveram a integridade estrutural e ofereceram melhor proteção contra micotoxinas, variações de pH e perda de umidade (Körde *et al.*, 2020).

As embalagens ativas e inteligentes compartilham alguns princípios, mas diferem em seus mecanismos de ação (Ongaratto; Vital; Prado, 2022). As

embalagens ativas são formuladas com compostos que interagem com o alimento, promovendo a extensão da vida útil do produto. Essa interação pode ocorrer por meio da absorção de compostos indesejáveis, responsáveis pela degradação do produto, da liberação de substâncias que auxiliam na sua preservação ou da incorporação de agentes antimicrobianos (Santos; Santos; Pereira, 2024). Já as embalagens inteligentes são projetadas para monitorar e fornecer sinais sobre o frescor e a integridade dos alimentos, sendo capazes de detectar e comunicar as alterações por meio de sensores, indicadores ou dispositivos de rastreamento (Sarantopulos *et al.*, 2012).

Entre os sensores aplicados, os indicadores colorimétricos destacam-se por sua simplicidade, baixo custo e facilidade de interpretação pelo consumidor (Teixeira *et al.*, 2021). Dentre os compostos naturais utilizados como indicadores, as antocianinas vêm ganhando notoriedade, não apenas por sua capacidade de mudança de cor conforme o pH do meio (variando do vermelho ao amarelo), mas também por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias e anticancerígenas (Bracht, 2021).

No estudo de Dirpan e Hidayat (2023), foi desenvolvida uma embalagem inteligente com indicadores de pH (azul de bromofenol e vermelho de fenol) para monitorar a qualidade de carne bovina a 10 °C. A mudança de cor — de amarelo escuro para laranja, vermelho e, por fim, roxo — apresentou forte correlação com os indicadores de deterioração, evidenciando o potencial da tecnologia. De forma semelhante, Peydayesh *et al.* (2024) criaram uma embalagem à base de nanofibrilas proteicas do soro de leite com antocianinas de rabanete vermelho, que, aplicada ao monitoramento de camarões, apresentou alterações visíveis já no primeiro dia em temperatura ambiente, indicando a perda de frescor.

Em síntese, os sistemas de embalagens ativas e inteligentes representam uma fronteira de inovação com elevado potencial de impacto na cadeia produtiva de alimentos. Tais tecnologias não apenas contribuem para a melhoria da qualidade, segurança e rastreabilidade dos produtos, como também favorecem a redução do desperdício e a menor geração de resíduos ambientais, especialmente quando associadas a materiais biodegradáveis. Consequentemente, observa-se a redução dos problemas ao longo da cadeia produtiva, a extensão da vida útil dos alimentos e o aumento da satisfação tanto dos consumidores quanto dos produtores. Esses aspectos resultam positivamente na diminuição do desperdício e na menor geração

de resíduos provenientes de embalagens não biodegradáveis (Miranda; Sousa, 2024).

4.4 Técnicas de Caracterização dos Biofilmes

A caracterização de biofilmes de CB é essencial para avaliar suas propriedades estruturais, mecânicas, térmicas, físico-químicas e funcionais, permitindo determinar sua adequação para aplicações específicas, como bioembalagens biodegradáveis ou inteligentes (Ludwicka; Kaczmarek; Białkowska, 2020).

Entre as técnicas mais empregadas, destaca-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/SEM), utilizada para obter imagens de alta resolução e informações detalhadas da superfície em nível nanométrico (Vieira *et al.*, 2021). A MEV é amplamente reconhecida pela análise da morfologia tridimensional de materiais. Seu funcionamento baseia-se em um feixe de elétrons acelerado, cujo comprimento de onda é cerca de 100.000 vezes menor que o da luz visível, permitindo ampliar a resolução da microscopia óptica (~200 nm) para aproximadamente 0,2 nm. A técnica opera mediante a incidência de elétrons de alta energia sobre a superfície da amostra, provocando emissão de elétrons secundários, que são detectados e processados para gerar imagens bidimensionais (Parisi *et al.*, 2022).

No estudo de biofilmes, a MEV constitui um recurso valioso para caracterização e análise de sua formação (Fleeman; Mikesch; Davies, 2023). Por exemplo, Chowdhury *et al.* (2023), ao investigar a aplicabilidade de um bioplástico como material de embalagem alimentar, observaram, por meio das imagens obtidas, que suas amostras apresentavam morfologia superficial semelhante, boa integridade estrutural e fase homogênea. Também identificaram microporos em quantidade significativa, que podem favorecer a biodegradação via interação com microrganismos do solo.

Outro método utilizado para caracterização é a Difração de Raios X (DRX), que permite identificar e quantificar fases cristalinas e amorfas em materiais (Pauletto; Brehm; Gomes, 2020). A técnica é valorizada por seu baixo custo de manutenção, versatilidade e durabilidade (Alam, 2024). Baseia-se na interferência construtiva entre raios X monocromáticos e a amostra cristalina, que é mantida em rotação para garantir homogeneidade e representatividade das medidas. O detector

registra a intensidade dos raios X refletidos, convertendo os sinais em uma taxa de contagem transmitida ao sistema de processamento, gerando um gráfico bidimensional — o difratograma — em que o eixo x representa o ângulo 2θ e o eixo y a intensidade dos picos (Silva, 2020).

No contexto de bioembalagens, Baral *et al.* (2025) utilizaram DRX para avaliar nanocristais de celulose, obtendo um índice de cristalinidade de 87%. Esse valor foi atribuído à remoção eficiente de componentes não celulósicos e à dissolução de regiões amorfas por hidrólise ácida controlada, aumentando a proporção de regiões cristalinas na estrutura. Esse elevado índice é relevante para aplicações em bioembalagens, conferindo maior resistência mecânica, estabilidade térmica, menor solubilidade em água e melhor barreira contra gases e vapor d'água.

Por fim, destaca-se a Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), utilizada para avaliar a composição química de uma amostra pela absorção da radiação infravermelha pelas moléculas presentes (Lilo *et al.*, 2022). A técnica fornece espectros de absorção de amostras sólidas, líquidas ou gasosas, registrando dados de alta resolução em ampla faixa espectral e quantificando a absorção de luz em diferentes frequências por meio de feixes modulados e processamento automatizado (Fadlelmoula *et al.*, 2022).

No estudo de Gómez-Espinoza *et al.* (2024), a FTIR foi aplicada para caracterizar filmes microencapsulados de suco de garmbullo com quitosana e álcool pilivinílico (PVOH). A técnica confirmou a interação entre os polímeros, evidenciando redução da cristalinidade, o que aumentou a flexibilidade do filme. As betalaínas microencapsuladas não apresentaram bandas visíveis, indicando proteção eficiente dos compostos, e a estrutura do filme permaneceu estável, com potencial para liberação controlada de bioativos em embalagens ativas.

A combinação dessas técnicas possibilita uma compreensão ampla da estrutura, composição e propriedades da celulose bacteriana, fornecendo subsídios essenciais para avaliar sua aplicabilidade em bioembalagens.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Elaboração da kombucha

Inicialmente, foi preparada uma infusão de chá verde utilizando 2 L de água mineral e 100 g de açúcar cristal, os quais foram levados à cocção em uma panela. Após a fervura, o aquecimento foi interrompido e adicionaram-se 10 g de folhas de chá verde, permanecendo em infusão por 5 minutos. Em seguida, as folhas foram removidas, a solução foi deixada em repouso até atingir a temperatura ambiente e o chá foi transferido para um recipiente de vidro previamente esterilizado, sendo inoculado com o líquido starter (150 mL) e o SCOBY (8 cm) (Probióticos Brasil®). Após homogeneização, o recipiente foi coberto com um tecido fixado com elástico, e mantido à temperatura ambiente por 30 dias (Figura 2).

Figura 2 - Recipiente contendo o Scoby e líquido *starter* para a elaboração da Kombucha.



Fonte: A autora (2025).

5.2 Purificação da celulose

Os biofilmes foram submetidos a um processo de purificação com o objetivo de remover os microrganismos remanescentes nas fibras. Foi utilizado um método adaptado de Subbiahdoss *et al.* (2022), por meio da imersão dos filmes em solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M à temperatura ambiente, até que apresentassem uma coloração esbranquiçada. Posteriormente, a solução alcalina foi substituída por água destilada e o biopolímero foi esterilizado em autoclave a 121 °C durante 20 minutos (Figura 3). O biopolímero purificado foi então pesado para

análise de peso úmido e peso seco, visando a determinação da capacidade de retenção de água.

Figura 3 - SCOBY em escala laboratorial após esterilização.



Fonte: A autora (2025).

5.3 Obtenção da celulose industrial

Foi obtido um *SCOBY* industrial pela empresa ProBio Kombucha, localizada em Recife-PE, e a Figura 4 mostra o aspecto visual do biopolímero após a etapa de esterilização. Este foi submetido à purificação, de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

Figura 4 - SCOBY em escala industrial após esterilização.



Fonte: A autora (2025).

5.4 Incorporação de glicerol ao biopolímero

Com o objetivo de estudar o efeito da adição de um agente plastificante nas propriedades do biopolímero, glicerol foi adicionado numa concentração de 25% em relação ao peso seco da celulose para ambas as amostras (celulose produzida em escala laboratorial e celulose obtida por indústria de kombucha). Foram utilizados frascos de 1 L de capacidade contendo 200 mL de água destilada (0% de glicerol, amostra controle) e 200 mL de uma solução aquosa contendo glicerol a 25% (p/v). Amostras foram colocadas em cada uma das condições citadas, em duplicata, por um período de 24 h (Figura 5).

Figura 5 - Filmes em escala laboratorial imersos em solução, com e sem glicerol.



Fonte: A autora (2025).

5.5 Determinação da capacidade de retenção de água e da umidade dos filmes

Para a análise do peso úmido, os biofilmes foram pesados em balança analítica após a remoção do excesso de água. Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 50°C até a completa evaporação da água, durante 6 h (Figura 6). Após o processo de secagem, os biofilmes foram novamente pesados. Os experimentos foram realizados em duplicata. A partir desses dados, foi possível determinar a capacidade de retenção de água (*WHC* - *Water Holding Capacity*) (Shezad *et al.*, 2010), conforme descrito na Equação 1:

$$WHC = \frac{\text{Massa de água removida durante a secagem (g)}}{\text{Peso seco da amostra de celulose (g)}} \quad (1)$$

Figura 6 - Biofilmes produzidos em escala laboratorial (A) e obtidos em escala industrial (B) durante secagem em estufa a 50°C.



Fonte: A autora (2025).

Os dados também permitiram determinar o percentual de umidade dos filmes de acordo com a Equação 2:

$$U\% = \frac{\text{Massa de água removida durante a secagem (g)}}{\text{Peso do filme úmido (g)}} \times 100 \quad (2)$$

5.6 Análise por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho dos filmes produzidos por fermentação da kombucha em laboratório, com e sem glicerol, foram determinados utilizando um Analisador de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (Jasco, modelo FT/IR-6800typeA). Os espectros foram obtidos na faixa de 4000–550 cm⁻¹ com resolução de 4,0 cm⁻¹.

5.7 Extração de antocianinas e quantificação de antocianinas totais

Foi utilizada uma farinha de uva (*Vitis vinífera*) comercial (Wenutri®), obtida a partir de cascas e sementes de uva. A extração foi realizada utilizando 30 g de farinha para 100 mL de uma solução etanol:água (1:1) (adaptado de Gasti et al., 2021). Após a adição do solvente, a amostra foi mantida em repouso em geladeira overnight, sendo em seguida filtrada em papel de filtro para posterior quantificação do teor total de antocianinas.

O teor total de antocianinas (TTA) foi determinado a partir de um método diferencial de pH (Çam, Hişıl e Durmaz, 2009). Volumes de 3,6 mL de solução de cloreto de potássio (0,025 M, pH=1) e de solução de acetato de sódio (0,4 M, pH = 4,5) foram adicionados separadamente a 0,4 mL do extrato, sendo medidos os valores de absorbância a 510 e 700 nm usando um Espectrofotômetro VIS (IL-120-BI Kasuaki), sendo o valor do branco medido usando água. O valor de TTA foi determinado em mg de cianidina-3-glicosídeo/100 mL do extrato usando as Equações 3 e 4:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH=1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5} \quad (3)$$

$$TTA = \frac{A \times M_w \times 100}{MA} \quad (4)$$

Onde A é a absorbância, M_w é o peso molecular (449,2 Da) e MA é a absortividade molar de cianidina-3-glicosídeo (26900).

5.8 Preparo do indicador e aplicação dos biofilmes como embalagem primária

Para avaliar a coloração do indicador (extrato de antocianinas) numa faixa de pH entre 3 e 8. Volumes de 5 mL do extrato foram colocados em tubos de ensaio de vidro. Em seguida, 10 gotas de soluções tampão de valores de pH 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 foram colocados em cada tubo separadamente, e a diferença de cor foi analisada visualmente.

Com o objetivo de testar a coloração adquirida pelo filme ao entrar em contato com a solução corante, foram cortados pedaços de filme em formato de triângulo de 1 cm, e estes foram imersos no extrato de antocianinas por 4 h (adaptado de Moradi et al., 2019). Esta técnica de revestimento é chamada de “*dip-coating*”, que é um

processo de revestimento no qual um objeto é mergulhado em um líquido de revestimento e, em seguida, retirado para formar uma camada contínua na superfície. Posteriormente, os filmes foram colocados sobre um papel toalha para eliminar o excesso de corante e dispostos sobre uma placa de Petri. Após secagem dos pedaços dos filmes, gotas das soluções tampão citadas anteriormente foram colocadas sobre os filmes e a coloração obtida foi capturada com uma câmera digital.

Em sequência, com a finalidade de testar o desempenho do indicador de membrana para monitoramento da deterioração de filés de tilápia em filmes de kombucha, foram cortados círculos de filmes de 4 cm de diâmetro e estes foram imersos na solução corante, conforme descrição anterior. Posteriormente, filés de tilápia ($60,7 \pm 3,9$ g) adquiridos em supermercado local (Recife-PE) em estado fresco e refrigerado foram colocados em pratos de poliestireno expandido (EPS) de 8,5 x 7,5 x 2 cm de tamanho, em duplicata, e os círculos de filme indicador foram dispostos em contato com o alimento. Por fim, as amostras foram embaladas com os filmes nas seguintes condições: controle (filme de PVC); filme de kombucha sem glicerol e filme de kombucha com glicerol. Os filés de peixe embalados foram mantidos à temperatura ambiente, visando realizar um teste de acondicionamento “acelerado”, até o início da visualização de início de deterioração.

5.9 Análise estatística

Foi realizada análise estatística dos resultados empregando-se o teste t de Student, para as comparações de dados quantitativos (*WHC* e *U%*), sendo considerados significativos para um valor de *p* menor que 5% ($p < 0.05$).

6 RESULTADOS

6.1 Obtenção dos biopolímeros purificados

Os *SCOBYS* produzidos em laboratório demandaram um período de quatro dias para atingir a completa purificação em solução de hidróxido de sódio 0,1 M, processo evidenciado na Figura 7 pela uniformidade da coloração esbranquiçada do material.

Figura 7 - Processo de purificação dos biofilmes laboratoriais de celulose de kombucha durante quatro dias.



Fonte: A autora (2025).

Já o *SCOBYS* industrial apresentou maior tempo de purificação, necessitando de nove dias para alcançar a coloração branca desejada (Figura 8).

Figura 8 - Processo de purificação do biofilme industrial de celulose de kombucha durante nove dias.



Fonte: A autora (2025).

6.2 Caracterização da celulose

6.2.1 Capacidade de retenção de água e percentual de umidade dos filmes obtidos em escala laboratorial e em escala industrial

A Tabela 1 mostra os resultados de capacidade de retenção de água (WHC) e percentual de umidade (U%) de filmes de celulose obtidos em laboratório e em

escala industrial, com e sem glicerol, e na Figura 9 pode-se observar o aspecto visual dos filmes de laboratório após o processo de secagem.

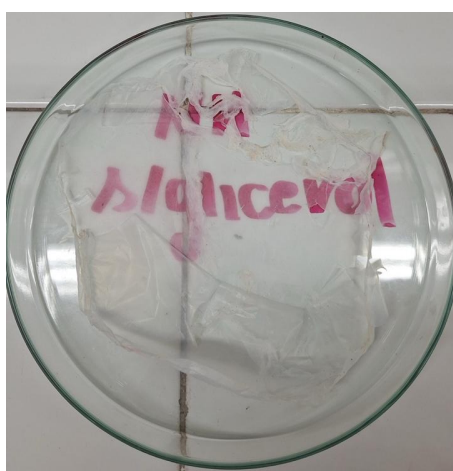
Tabela 1 – Valores de capacidade de retenção de água (WHC) e percentual de umidade (U%) de filmes de celulose obtidos em laboratório e em escala industrial, com e sem glicerol

	Filme de laboratório		Filme industrial	
	WHC	U (%)	WHC	U (%)
Filme de celulose de kombucha sem glicerol	30,67 ^{aA}	96,84 ^{aA}	20,64 ^{aB}	95,38 ^{aA}
Filme de celulose de kombucha com glicerol	32,28 ^{aA}	98,57 ^{aA}	21,80 ^{aB}	95,61 ^{aA}

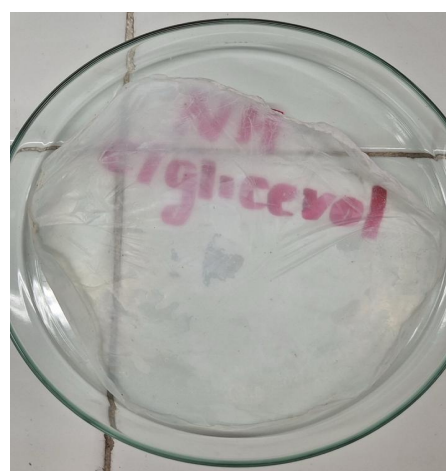
Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa pelo teste *t* de Student ($p > 0,5$)

Letras maiúsculas diferentes nas linhas, para uma mesma variável, indicam diferença estatística pelo teste *t* de Student ($p < 0,5$)

Figura 9 - Aspecto visual dos filmes obtidos em laboratório após o processo de secagem.



Fonte: A autora (2025)

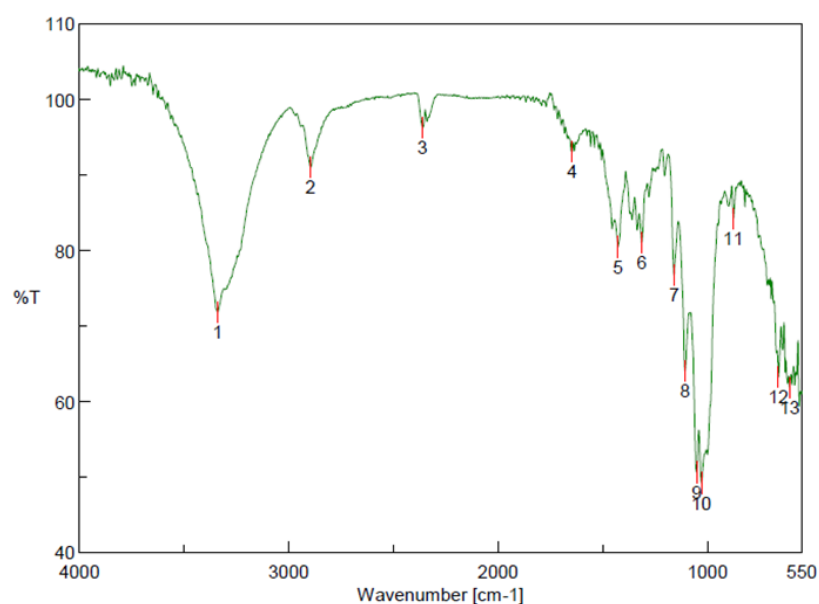


Fonte: A autora (2025)

6.2.2 Caracterização dos filmes em escala de laboratório por FTIR

A Figura 10 mostra os resultados de caracterização dos filmes de celulose obtidos em laboratório sem glicerol, e a Tabela 2 mostra a intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção.

Figura 10 - Espectro de FTIR na faixa de 4000–550 cm^{-1} para filmes de celulose sem glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório.



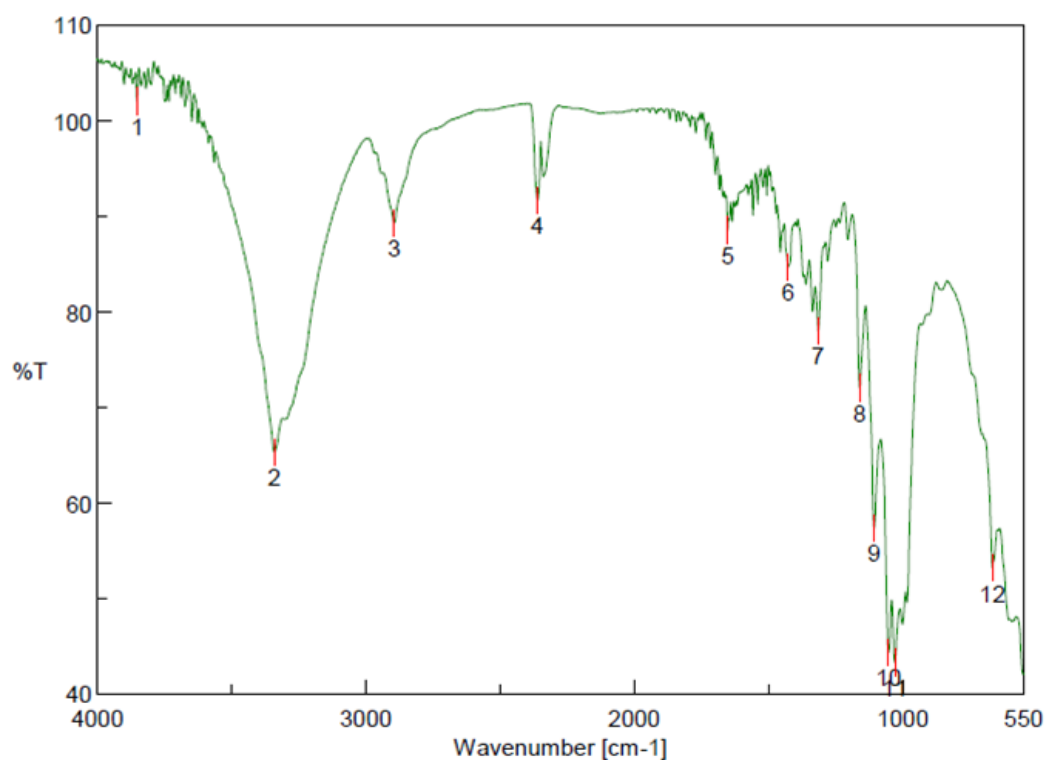
Fonte: A autora (2025).

Tabela 2 - Intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção para filmes de celulose sem glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório

Número	Posição (cm^{-1})	Intensidade
1	3339,14	71,79
2	2895,59	90,98
3	2360,44	96,22
4	1645,95	93,07
5	1427,07	80,45
6	1314,25	80,99
7	1159,97	76,68
8	1107,90	64,01
9	1051,98	50,62
10	1028,84	49,18
11	876,48	84,18
12	661,46	63,20
13	608,43	61,81

A Figura 11 mostra os resultados de caracterização dos filmes de celulose obtidos em laboratório com glicerol, e a Tabela 3 mostra a intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção.

Figura 11 - Espectro de FTIR na faixa de 4000–550 cm^{-1} para filmes de celulose com glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório.



Fonte: A autora (2025).

Tabela 3 - Intensidade dos picos de acordo com as bandas de absorção para filmes de celulose com glicerol e obtidos a partir da fermentação da kombucha em escala de laboratório

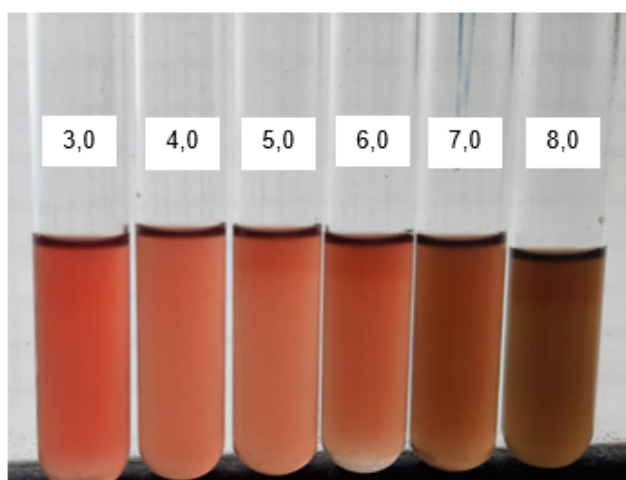
Número	Posição (cm^{-1})	Intensidade
1	3852,11	102,03
2	3341,07	65,30
3	2894,63	89,26
4	2360,44	91,63
5	1652,70	88,49
6	1427,07	84,63
7	1315,21	77,97
8	1160,94	72,00
9	1106,94	57,33
10	1052,94	44,32
11	1029,80	43,30
12	666,28	53,18

6.3 Quantificação de antocianinas totais no extrato e avaliação da coloração de biofilmes de celulose contendo o indicador

A quantificação do teor total de antocianinas resultou numa concentração de $0,23 \pm 0,00$ mg de cianidina-3-glicosídeo/100 mL de extrato de farinha de uva, o que corresponde a um teor de $0,77 \pm 0,02$ mg de cianidina-3-glicosídeo/100 g de farinha.

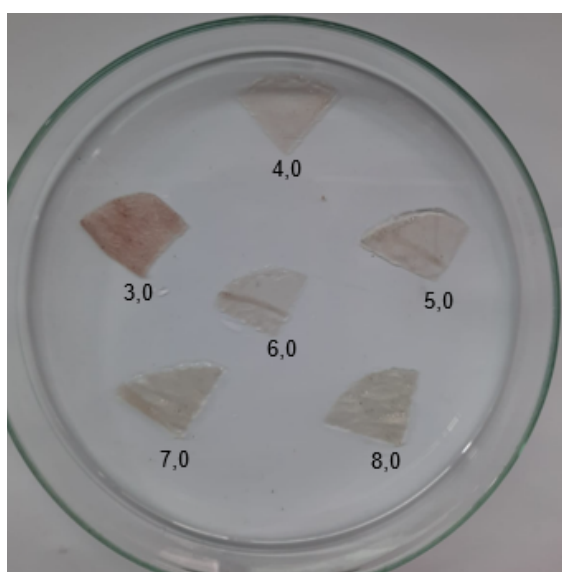
A Figura 12 mostra o aspecto visual da diferença de coloração do extrato de antocianinas quando em contato com soluções tampão de pH entre 3,0 e 8,0, e a Figura 13 ilustra a resposta de cor dos filmes de celulose contendo antocianina a diferentes valores de pH.

Figura 12 – Mudança de coloração no extrato de antocianinas a diferentes valores de pH.



Fonte: A autora (2025).

Figura 13 – Resposta de cor dos filmes de celulose contendo antocianina a diferentes valores de pH.

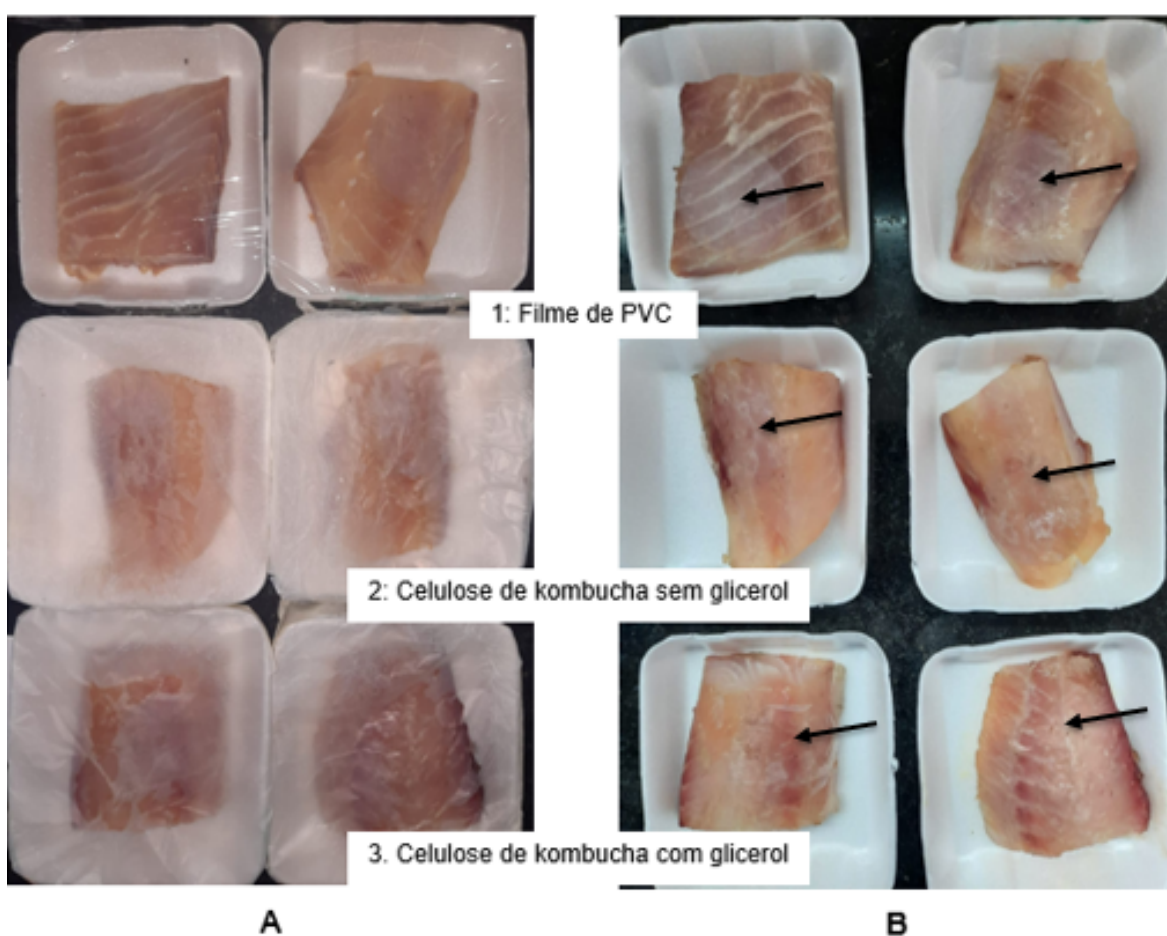


Fonte: A autora (2025).

6.4 Aplicação dos biofilmes como embalagem primária

A Figura 14 mostra os filés de tilápia embalados com filmes no início do experimento (A) e após 24 h de armazenamento à temperatura ambiente e já sem os filmes (B). As setas indicam os círculos de filmes impregnados com a solução corante.

Figura 14 – (A) Filés de tilápia embalados com filmes no início do experimento: (1) embalados com filme de PVC; (2) embalados com filme de celulose de kombucha sem glicerol; (3) embalados com filme de celulose de kombucha com glicerol. **(B)** Filés de tilápia após 24 h de armazenamento à temperatura ambiente e sem os filmes



Fonte: A autora (2025).

7 DISCUSSÃO

A primeira etapa deste trabalho foi iniciada com a fermentação de kombucha em escala laboratorial, sendo produzido um filme celulósico após 30 dias de cultivo. O biopolímero apresentou coloração amarela, adquirida devido à presença de compostos que conferem cor, como os fenólicos e flavonoides provenientes do chá, bem como pela formação de pigmentos amarelos oriundos da oxidação de componentes orgânicos durante a fermentação. Também foi possível adquirir uma celulose de kombucha produzida em escala industrial, o que possibilitou a sua aplicação como embalagem para monitoramento do frescor de filés de peixe.

Com o objetivo de empregar os filmes como invólucros para embalagens, é necessário realizar a sua purificação, que além de remover os microrganismos e impurezas, permite mudar a sua coloração até a obtenção de uma cor branca.

Em trabalho realizado por Martini (2022), a autora purificou celulose de kombucha visando realizar a hidrólise enzimática para obtenção de açúcares. As condições experimentais empregadas foram NaOH 0,1 mol/L em estufa a 50 °C, enquanto que neste trabalho foi usada esta base com mesma concentração, mas à temperatura ambiente. Os resultados obtidos de purificação foram semelhantes ao presente estudo, sendo observado que a purificação da celulose bacteriana industrial necessitou de um tratamento mais longo (9 dias) que aquele geralmente realizado para celulosas produzidas em laboratório, com duração de 2 a 5 dias. Relata-se na literatura que o tratamento alcalino com altas concentrações e tempo de contato pode resultar em celulose com maior cristalinidade após a purificação (Kashcheyeva *et al.*, 2019; Leonarski *et al.* 2021), o que gera nanocristais de celulose mais estáveis em relação à degradação do biopolímero e com dificuldades na solubilização do material.

Os resultados de capacidade de WHC e U% indicam que não há diferença significativa na ausência ou presença de glicerol para um mesmo tipo de filme. No entanto, foi observado que os filmes de laboratório apresentam maiores capacidades de retenção de água (WHC foi 30 e 32 vezes maior que seu peso seco) do que os filmes produzidos industrialmente (WHC foi de 20 e 21 vezes o seu peso seco). Estudos morfológicos realizados por Shezad *et al.* (2010) e Ougiya *et al.* (1998) mostram que as fibrilas de celulose bacteriana que possuem uma maior capacidade

de retenção de água são menores e possuem uma grande área superficial, e por isso retém mais água.

Com relação aos percentuais de umidade, todos os filmes apresentaram valores acima de 95%. Filmes com alto teor de umidade não são ideais para embalagens, pois uma elevada umidade pode facilitar o crescimento microbiano e a deterioração. Além disso, pode levar à condensação e formação de gotas dentro da embalagem, prejudicando a qualidade do alimento. Caso o alimento apresente um alto teor de umidade, podem ser usadas estratégias como selagem e vedação eficiente, controle de temperatura de armazenamento e emprego de absorvedores de umidade apropriados.

As propriedades da celulose obtida em laboratório foram caracterizadas por FTIR, em amostras com e sem glicerol. Uma análise do espectro obtido para a amostra sem glicerol permite observar uma forte banda de absorção em 3339 cm^{-1} (banda 1), relacionada a uma região de ligação de hidrogênio que contém sinais de interações inter e intramoleculares de celulose ($\text{OH}-$) e grupos hidroxila, vibrações de estiramento devido à água e carboidratos (Coma et al., 2019). A banda de absorção a 2895 cm^{-1} (banda 2) está relacionada a diferentes modos de estiramento de C-H em grupos funcionais metil (CH_3) e metileno (CH_2) associados à celulose (Martini, 2022; Cerrutti et al., 2016). A banda em 1427 cm^{-1} (banda 5) é associada à vibração de deformação simétrica dos grupamentos $-\text{CH}_2$ na celulose e a banda em 1314 cm^{-1} (banda 6) é associada à vibração de deformação angular simétrica dos grupamentos $-\text{CH}_2$ na celulose. A banda em 1028 cm^{-1} (banda 10) é associada às vibrações de estiramento dos grupamentos C-O e C-C dos anéis de glicose na celulose (Ferreira Filho et al., 2022). Esta análise de dados de bandas por FTIR é consistente com a literatura, com exceção de uma pequena banda em 2360 cm^{-1} (banda 3). Este valor é típico da ligação $\text{C}=\text{O}$, presente no CO_2 , o que pode indicar a presença deste composto adsorvido ou presença de contaminantes na amostra ou no equipamento. Comparando-se com o espectro para o filme com glicerol, podem ser observadas pequenas diferenças na forma e intensidade de algumas bandas. Contudo, os espectros obtidos são semelhantes, demonstrando que não houve interação química entre o polímero e o glicerol.

A concentração de antocianinas totais no extrato de farinha de uva ($0,23 \pm 0,00$ mg de cianidina-3-glicosídeo/100 mL) foi muito inferior aos valores relatados na

literatura para extratos deste pigmento. Moradi *et al.* (2019) utilizaram uma antocianina comercial de cenoura preta e obtiveram uma solução estoque de 6 mg/mL, enquanto que Gasti *et al.* (2021) realizaram a extração de frutos de *Phyllanthus reticulatus* (PR) utilizando uma solução de água:etanol 1:1 sob agitação à temperatura ambiente, seguida de filtração e concentração do extrato em banho-maria, sendo encontrado um teor de antocianina de $0,612 \pm 0,003$ mg/mL.

Oliveira Filho *et al.* (2024) extraíram antocianinas de berinjela e repolho roxo utilizando extração convencional, assistida por ultrassom, acelerada por solvente e liofilizados. Os autores obtiveram uma variação bem definida de cores entre o vermelho, rosa, cinza e verde para valores de pH entre 2 e 11 em extratos de berinjela, enquanto as cores do extrato de repolho roxo foram vermelha, rosa, roxa, azul e verde para a mesma faixa de pH.

Mesmo para uma baixa concentração do corante, foi possível observar a mudança de cor do extrato de antocianinas em valores de pH entre 3,0 e 8,0. Foi observada uma coloração rosa para uma faixa de pH entre 3 e 6, e uma coloração cinza para valores de pH de 7 e 8 (Figura 12).

Ao realizar a impregnação do extrato em filme de celulose de kombucha (Figura 13), foi possível observar visualmente uma distinção entre o filme a pH 3 (coloração rosa mais escuro) para o filme a pH 4,0 (coloração rosa claro). Para os valores de pH entre 5 e 8, não foi possível distinguir uma nítida diferença de cor entre os filmes, que apresentaram coloração cinza.

No ensaio com o pescado, os filmes de celulose de kombucha, quando comparado com o PVC, se apresentaram foscos, o que dificultou a observação visual da aparência do pescado. Comparando-se os filmes de celulose de kombucha, com e sem glicerol, este último se apresentou mais maleável e com mais brilho.

Após 24 h de acondicionamento dos filés de tilápia sem qualquer refrigeração, observou-se o início de deterioração do peixe, tornando-se mais opaco e com odor levemente desagradável. Os filmes de celulose de kombucha tiveram desempenho similar ao filme controle, o que demonstra que podem ser usados como embalagem primária em alimentos quando comparados a um filme amplamente utilizado em embalagens comerciais. No entanto, a característica de opacidade dos filmes de kombucha deve ser melhorada para torná-lo competitivo no mercado consumidor.

Em relação aos filmes indicadores, a sua coloração deve ser distinguível em uma faixa adequada para rastrear a deterioração de pescado. As setas da Figura 14 mostram que os filmes indicadores apresentaram uma coloração pálida, próxima ao cinza, mas pouco distinguível, provavelmente devido à baixa incorporação de antocianina no filme.

A utilização de filmes sensíveis ao pH para examinar as mudanças no frescor dos produtos do mar durante o seu armazenamento e transporte é uma aplicação promissora de filmes de celulose. A deterioração dos produtos do mar ocorre principalmente devido à degradação enzimática de proteínas, com formação de nitrogênio volátil que leva a um aumento do pH do produto dentro da embalagem (Dalgaard *et al.*, 2006). Os resultados obtidos neste trabalho são promissores, indicando que os filmes de celulose de kombucha podem ser aprimorados para se comportarem como filmes inteligentes, visando o monitoramento do frescor de alimentos perecíveis.

O presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Dentre elas, a quantidade de material obtido em laboratório foi limitado, o que restringiu a utilização como embalagem, sendo necessário adquirir um *SCOB* industrial para tal aplicação. Além disso, o método de extração em repouso das antocianinas, a partir da farinha de semente e casca de uva mostrou-se pouco eficaz, resultando em baixa concentração do pigmento. Outro fator relevante foi o tempo insuficiente de imersão dos filmes e o uso de hidróxido de sódio na purificação da celulose, podendo ter dificuldade a absorção do pigmento pelo filme, devido a maior cristalinidade.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de celulose bacteriana a partir da fermentação do chá kombucha demonstrou o potencial desse biopolímero como matéria prima para o desenvolvimento de bioembalagens. A fermentação em escala laboratorial possibilitou a produção de biofilmes com propriedades compatíveis às descritas na literatura, enquanto a utilização de celulose proveniente da kombucha industrial permitiu avaliar a viabilidade de sua aplicação em condições mais próximas da realidade produtiva.

Os filmes de celulose apresentaram alta capacidade de retenção de água e umidade, o que limita seu uso direto em alimentos muito úmidos, mas pode ser ajustado por modificações estruturais ou associação a outros materiais. A análise por FTIR confirmou as bandas típicas da celulose e indicou que o glicerol atuou apenas como plastificante físico, conferindo maior maleabilidade aos filmes.

A incorporação de antocianinas em biofilmes de celulose evidenciou a resposta visual do material a diferentes valores de pH, confirmando sua viabilidade como suporte para indicadores naturais. Apesar da baixa intensidade de coloração, observou-se potencial para o desenvolvimento de embalagens inteligentes voltadas ao monitoramento da deterioração de alimentos. A aplicação em filés de tilápia reforçou a possibilidade de uso da celulose de kombucha como embalagem primária, embora aspectos como transparência e intensidade da resposta colorimétrica ainda demandam aprimoramentos para maior competitividade.

No entanto, apesar destas limitações, a celulose bacteriana proveniente da kombucha constitui uma alternativa promissora para a área de bioembalagens, unindo características de sustentabilidade, biodegradabilidade e aplicabilidade como sistema inteligente. Estudos futuros devem priorizar a otimização das etapas de incorporação de pigmentos, a redução do teor de umidade e o aumento da transparência dos filmes, visando o avanço na aplicabilidade tecnológica e a viabilidade de escalonamento industrial.

REFERÊNCIAS

ALAM, Khan. Open air X-ray diffractometer for crystallography, compression, contraction, and structural phase transitions with variable temperature capabilities. **Methodsx**, Amsterdã, v. 12, p. 1-6, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mex.2024.102703>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11041848/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ALBUQUERQUE, Rodrigo Melo Bezerra de. **Desenvolvimento de uma blenda biodegradável à base de celulose bacteriana (CB) e polihidroxibutirato (PHB) para aplicação como embalagem ativa para alimentos**. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento em Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/1112/5/rodrigo_melo_bezerra_albuquerque_e.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

ALCANTARA, Giovana Araújo; SANTOS, Wenderson Gomes dos. KOMBUCHA: tendência de mercado e sinônimo de saúde. **Revista Real Conhecer**, Formiga - MG, p. 6-11, 8 maio 2023. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7908859>. Disponível em: <https://www.realconhecer.com.br/2023/05/kombucha-tendencia-de-mercado-e-htl>. Acesso em: 11 ago. 2025.

AL-HILIFI, Sawsan Ali; AL-ALI, Rawdah Mahmood; PETKOSKA, Anka Trajkovska. Ginger Essential Oil as an Active Addition to Composite Chitosan Films: development and characterization. **Gels**, Basel, v. 8, n. 6, p. 327, 24 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/gels8060327>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9222789/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ANANTACHOKE, N. et al. Kombucha beverages produced from fruits, vegetables, and plants: A review on their pharmacological activities and health benefits. **Foods**, Brasileira, v. 12, Article ID 12091818, 2023. DOI 10.3390/foods12091818. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12091818>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ANDRADE, Gabriela Paes Barreto de. **Avaliação microbiológica, fisicoquímica e bioativa da bebida kombucha fermentada com Scoby liofilizado**. 2024. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Agroindústria, Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/31936/1/GabrielaPaesBarreto_de_Andrade_Monogr..pdf. Acesso em: 21 jul. 2025.

BARAL, Anik *et al.* Recovery of cellulose nanocrystal from mixed office wastepaper and the development of bio-based coating matrixes with enhanced water, gas, oil, and grease resistances for packaging. **Rsc Advances**, Cambridge, v. 15, n. 17, p. 13188-13198, 2025. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d5ra01516b>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12023739/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

BARBOSA, Yasmim Vieira; GOES, Elenice Souza dos Reis. Tecnologias de embalagens ativas e inteligentes na conservação de pescados: uma revisão bibliográfica. **Avanços, Inovações e Saberes em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Vol.3**, v. 3, p. 122-136, 31 maio 2025. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/250419219>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/250419219.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2025.

BATISTA, Patrícia *et al.* Kombucha: perceptions and future prospects. **Foods**, Basel, v. 11, n. 13, p. 1-16, 4 jul. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11131977>. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9265386/#_ad93_. Acesso em: 10 jul. 2025.

BATISTA, Patrícia *et al.* Kombucha: challenges for health and mental health. **Foods**, Basel, v. 12, n. 18, p. 1-23, 8 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12183378>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10530084/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

BISHOP, Peyton *et al.* Kombucha: biochemical and microbiological impacts on the chemical and flavor profile. **Food Chemistry Advances**, Amsterdã, v. 1, p. 1-9, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2022.100025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X22000144>. Acesso em: 21 jul. 2025.

BOF, María Julieta *et al.* Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions. **Polymers**, Basel, v. 13, n. 4, p. 481, 3 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym13040481>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7913482/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

BRACHT, Bruna Boneti. **Produção e caracterização de embalagens inteligentes com indicadores naturais e sintéticos**. 2021. 57 f. TCC - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/235675/001135646.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jul. 2025.

ÇAM, Mustafa; HİŞİL, Yaşar; DURMAZ, Gökhan. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 112, n. 3, p. 721-726, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.009>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229420028_Classification_of_eight_pomegranate_juices_based_on_antioxidant_capacity_measured_by_four_methods. Acesso em: 17 ago. 2025.

CARVALHO, Luany Caroline do Nascimento *et al.* KOMBUCHA: processo fermentativo, fatores de influência na fermentação e benefícios à saúde. **Bebidas Fermentadas Probióticas: inovação e tecnologia em pesquisa**, p. 21-31, 30 maio 2025. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/250118692>. Disponível

em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/kombucha-processo-fermentativo-fatores-de-influencia-na-fermentacao-e-beneficios-a-saude>. Acesso em: 21 jul. 2025.

CERRUTTI, Patricia; ROLDÁN, Pamela; GARCÍA, Ricardo Martínez; GALVAGNO, Miguel A.; VÁZQUEZ, Analía; FORESTI, María L.. Production of bacterial nanocellulose from wine industry residues: importance of fermentation time on pellicle characteristics. **Journal Of Applied Polymer Science**, Hoboken, v. 133, n. 14, p. 1-9, 21 dez. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.43109>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287807869_Production_of_bacterial_nanocellulose_from_wine_industry_residues_Importance_of_fermentation_time_on_pellicle_characteristics. Acesso em: 15 ago. 2025.

CHAROENRAK, Sonthirat *et al.* Nanobacterial Cellulose from Kombucha Fermentation as a Potential Protective Carrier of *Lactobacillus plantarum* under Simulated Gastrointestinal Tract Conditions. **Polymers**, Basel, v. 15, n. 6, p. 1-15, 8 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15061356>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/6/1356>. Acesso em: 21 jul. 2025.

CHOWDHURY, Mohammad Asaduzzaman *et al.* Development and characterization of natural sourced bioplastic for food packaging applications. **Heliyon**, Amsterdã, v. 9, n. 2, p. 1-12, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13538>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9950840/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

COMA, M. Eugenia *et al.* Water kefir grains as an innovative source of materials: study of plasticiser content on film properties. **European Polymer Journal**, Amsterdã, v. 120, p. 109234, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109234>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335628948_Water_kefir_grains_as_an_innovative_source_of_materials_Study_of_plasticiser_content_on_film_properties. Acesso em: 14 ago. 2025.

COTON, Monika *et al.* Unraveling microbial ecology of industrial-scale Kombucha fermentations by metabarcoding and culture-based methods. **Fems Microbiology Ecology**, Oxford, v. 93, n. 5, p. 1-16, 18 abr. 2017. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/femsec/fix048>. Disponível em: <https://academic.oup.com/femsec/article/93/5/fix048/3738478?login=false>. Acesso em: 14 ago. 2025.

COVARRUBIAS, Lesly Adamari Cueto *et al.* Characterization of Moringa oleifera Seed Oil for the Development of a Biopackage Applied to Maintain the Quality of Turkey Ham. **Polymers**, Basel, v.16,n.1,p.1-14,30 dez.2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym16010132>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10780569/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

CUBAS, Anelise Leal Vieira *et al.* Advances in the Production of Biomaterials through Kombucha Using Food Waste: concepts, challenges, and potential. **Polymers**, Basel, v. 15, n. 7, p. 1-21, 29 mar. 2023. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/polym15071701>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/7/1701>. Acesso em: 11 jul. 2025.

DADA, Ana Paula *et al.* Caracterização de kombucha elaborado a partir de chá verde. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 15, p. 1-7, 3 dez. 2021. Research, Society and Development.
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22992>. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22992/20592>. Acesso em: 21 jul. 2025.

DALGAARD, P. *et al.* Biogenic amine formation and microbial spoilage in chilled garfish (*Belone belone belone*) - effect of modified atmosphere packaging and previous frozen storage. **Journal Of Applied Microbiology**, Hoboken, v. 101, n. 1, p. 80-95, jul. 2006. Oxford University Press (OUP).
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02905.x>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16834594/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

DEBEAUFORT, Frédéric. Active biopackaging produced from by-products and waste from food and marine industries. **Febs Open Bio**, Hoboken, v. 11, n. 4, p. 984-998, abr. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/2211-5463.13121>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8016118/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

DIRPAN, Andi; HIDAYAT, Serli Hatul. Quality and Shelf-Life Evaluation of Fresh Beef Stored in Smart Packaging. **Foods**, Basel, v. 12, n. 2, p. 396, 13 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12020396>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9857838/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

DOĞAN, Nurcan. Native bacterial cellulose films based on kombucha pellicle as a potential active food packaging. **Journal Of Food Science And Technology**, Chicago, v. 60, n. 11, p. 2893-2904, 25 ago. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-023-05808-x>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10497472/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

FADLELMOULA, Ahmed *et al.* Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: a review towards lab-on-a-chip devices. **Micromachines**, Basel, v. 13, n. 2, p. 187, 26 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/mi13020187>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8879834/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

FERREIRA FILHO, M.; BARROS, G. M.; ALMEIDA, M. A.; MENEZES, L. R.; FINOTELLI, P. V. Avaliação da aplicabilidade do SCOBY de kombucha para regeneração da pele. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, 35., 2022, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2022.

FLEEMAN, Renee M.; MIKESH, Michelle; DAVIES, Bryan W.. Investigating *Klebsiella pneumoniae* biofilm preservation for scanning electron microscopy. **Access Microbiology**, London, v. 5, n. 2, p. 1-17, 3 fev. 2023. Microbiology Society. <http://dx.doi.org/10.1099/acmi.0.000470.v3>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9996182/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

GASTI, Tilak *et al.* Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing *Phyllanthus reticulatus* anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet. **International Journal Of Biological Macromolecules**, Amsterdã, v. 187, p. 451-461, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.128>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813021015798?via%3Di> hub. Acesso em: 17 ago. 2025.

GOH *et al.* Fermentation of black tea broth (Kombucha): I. Effects of sucrose concentration and fermentation time on the yield of microbial cellulose. **International Food Research Journal**, Penang, n. 19, p. 109-117, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286302669_Fermentation_of_black_tea_broth_Kombucha_I_Effects_of_sucrose_concentration_and_fermentation_time_on_the_yield_of_microbial_cellulose. Acesso em: 14 ago. 2025.

GÓMEZ-ESPINOZA, Daniela *et al.* Microencapsulation of Betalains Extracted from *Garambullo (Myrtillocactus geometrizans)* to Produce Active Chitosan–Polyvinyl Alcohol Films with Delayed Release of Bioactive Compounds. **Antioxidants**, Basel, v. 13, n. 9, p. 1031, 25 ago. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox13091031>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11428693/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

GONSALES, Gabriela; ASSARICE, Julia Felipe; LIMA, Leila Alves de. **Bioteccido: Uma nova forma de utilizar o kombucha**. 2023. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Meio Ambiente, Etec.Cel. Fernando Febeliano, Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/17693>. Acesso em: 14 ago. 2025.

HARRISON, K., CURTIN, C. Microbial composition of SCOBY starter cultures used by commercial Kombucha brewers in North America. **Microorganisms**, Basel, v. 9, Article ID 1060, 2021. DOI 10.3390/microorganisms9051060. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051060>. Acesso em: 13 jul. 2025.

KASHCHEYEVA, Ekaterina I. *et al.* A study of properties and enzymatic hydrolysis of bacterial cellulose. **Cellulose**, Cham, v. 26, n. 4, p. 2255-2265, 3 jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-018-02242-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-018-02242-7#citeas>. Acesso em: 17 ago. 2025.

KIM, Juyoung; ADHIKARI, Koushik. Current Trends in Kombucha: marketing perspectives and the need for improved sensory research. **Beverages**, Griffin, v. 6, n. 1, p. 1-19, 2 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/beverages6010015>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5710/6/1/15>. Acesso em: 10 jul. 2025.

KÖRGE, Kristi *et al.* Reduction in Spoilage Microbiota and Cyclopiazonic Acid Mycotoxin with Chestnut Extract Enriched Chitosan Packaging: stability of

inoculated gouda cheese. **Foods**, Basel, v. 9, n. 11, p. 1645, 11 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9111645>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33187311/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

LAAVANYA, D.; SHIRKOLE, Shivanand; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 295, p. 126454, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621006740>. Acesso em: 10 ago. 2025.

LEONARSKI, Eduardo *et al.* Typical kombucha fermentation: kinetic evaluation of beverage and morphological characterization of bacterial cellulose. **Journal Of Food Processing And Preservation**, Hoboken, v. 45, n. 12, p. 1-9, 31 out. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.16100>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16100>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LILO, Taha *et al.* Revising Fourier-transform infrared (FT-IR) and Raman spectroscopy towards brain cancer detection. **Photodiagnosis And Photodynamic Therapy**, Amsterdã, v.38, p. 102785, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102785>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572100022000746>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LIMA, Andrielly Rosa de. **Avaliação dos grãos de soja brs 232 de diferentes safras**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia dos Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29474/1/avaliacaosojadiferentessafras.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2025.

LUDWICKA, Karolina; KACZMAREK, Monika; BIAŁKOWSKA, Aneta. Bacterial Nanocellulose—A Biobased Polymer for Active and Intelligent Food Packaging Applications: recent advances and developments. **Polymers**, Basel, v. 12, n. 10, p. 2209, 26 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12102209>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7601427/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

MACHADO, Rafaela Assis; SANTOS, Emília Maricato Pedro dos. Inovações tecnológicas em embalagens de produtos de origem animal: embalagens inteligentes e ativas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 1, p. 370-377, 1 ago. 2023. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v1i1.10527>. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10527>. Acesso em: 11 jul. 2025.

MAIA, Yara Lúcia Marques *et al.* Kombucha: Características e aspectos biológicos. **Referências em Saúde da Faculdade Estácio de Sá de Goiás- Rrs-Fesgo**, Goiás, v. 3, p.1-10, 2020. Disponível em: <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/rrsfesgo/article/view/208/199>. Acesso em: 11 ago. 2025.

MARTINAZZO, Janine *et al.* Embalagens ativas: uma tecnologia promissora na conservação de alimentos. **Brazilian Journal of Food Research**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 171-194, 1 jan. 2020. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/rebrapa.v11n2.10672>. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/10672>. Acesso em: 08 ago. 2025.

MARTINI, Giulia Valar. **Perspectivas de reaproveitamento de celulose bacteriana de kombucha por hidrólise enzimática para obtenção de açúcares**. 2022. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/234045/TCC_Giulia_Martini.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 17 ago. 2025.

MARSH, Alan J. *et al.* Fermented beverages with health-promoting potential: past and future perspectives. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdã, v. 38, n. 2, p. 113-124, ago. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.05.002>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262454624_Fermented_beverages_with_health-promoting_potential_Past_and_future_perspectives. Acesso em: 14 ago. 2025.

MIRANDA, Jeniffer Ferreira de *et al.* Kombucha: a review of substrates, regulations, composition, and biological properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 87, n. 2, p. 503-527, 14 jan. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16029>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.16029>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MIRANDA, M. L. D.; SOUSA, J. L. O.. A importância das embalagens ativas e inteligentes para um planeta sustentável. **Engenharia de Alimentos: tópicos físicos, químicos e biológicos - Volume 1**, Guarujá, v. 1, p. 10-20, 2024. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/240315940>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/240315940.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MOCCIA, Tobías *et al.* First Characterization of Kombucha Beverages Brewed in Argentina: flavors, off :flavors, and chemical profiles. **International Journal Of Food Science**, Chicago, v. 2024, n. 1, p. 1-9, jan. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1155/2024/8677090>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11832255/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

MORADI, Mehran *et al.* A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 222, p. 115030, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115030>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31320095/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

MORAIS, Marcos Garcia Costa *et al.* Potencial nutricional e biotecnológico do SCOBY produzido na fermentação de chá verde. **Research, Society And Development**, Itabira, v. 11, n. 11, p. 1-15, 3 set. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.34064>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/34064/28739>. Acesso em: 08 ago. 2025.

MORAIS, Sinthya Kelly Queiroz. **Elaboração, caracterização e aplicabilidade do sistema de embalagem inteligente e ativa utilizando extrato de bagaço de uva e gelatina de tilápia**. 2024. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/jspui/bitstream/riufcg/37811/1/SINTHYA%20KELLY%20QUEIROZ%20MORAIS%20%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20%28PPGEAl%29%202024.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MOURA NETO, Luis Gomes de *et al.* Kombucha na ciência de alimentos: compostos bioativos, atividades biológicas e potencial probiótico. **Transição Energética e Bioenergia: O Papel da Agroindústria**, p. 1-17, 2025. Instituto internacional Despertando Vocações. <http://dx.doi.org/10.31692/viciagro.0181>. Disponível em: <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro2025/uploads/429.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

OJO, Abidemi Oluranti; SMIDT, Olga de. Microbial Composition, Bioactive Compounds, Potential Benefits and Risks Associated with Kombucha: a concise review. **Fermentation**, Basel, v. 9, n. 5, p. 1-13, 13 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fermentation9050472>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/5/472>. Acesso em: 11 ago. 2025.

OLIVEIRA FILHO, Josemar Gonçalves de *et al.* Fast and sustainable production of smart nanofiber mats by solution blow spinning for food quality monitoring: potential of polycaprolactone and agri-food residue-derived anthocyanins. **Food Chemistry**, Oxford, v.457, p.140057, nov. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140057>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38908248/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ONGARATTO, Gabriela Cavalca; VITAL, Ana Carolina Pelaes; PRADO, Ivanor Nunes do. Embalagens ativas e inteligentes para proteção da carne e seus derivados: revisão. **Pubvet**, Londrina, v. 16, n. 4, p. 1-11, abr. 2022. Editora MV Valero. <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v16n04a1091.1-11>. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/gwzdhskhdrdctkajisgeveicrq/access/wayback/http://www.pubvet.com.br/uploads/7c2773d4545271bbd12cbc0d9b8f309c.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ONSUN, Begum; TOPRAK, Kadriye; SANLIER, Nevin. Kombucha Tea: a functional beverage and all its aspects. **Current Nutrition Reports**, Ancara, v. 14, n. 1, p. 1-12, 24 maio 2025. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13668-025-00658-9>. Disponível em: <https://rdcu.be/evJ0r>. Acesso em: 10 jul. 2025.

OUGIYA, Hiroshi *et al.* Relationship between Suspension Properties and Fibril Structure of Disintegrated Bacterial Cellulose. **Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry**, Tóquio, v. 62, n. 9, p. 1714-1719, jan. 1998. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.62.1714>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27392683/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PACHECO, Guilherme *et al.* Bacterial cellulose skin masks—Properties and sensory tests. **Journal of Cosmetic Dermatology**, Hoboken, v. 17, n. 5, p. 840-847, 29 set. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocd.12441#>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PANG, Mujuan *et al.* Application of bacterial cellulose in skin and bone tissue engineering. **European Polymer Journal**, Amsterdã, v. 122, p. 109365, jan. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014305719314582?via%3Dihub>. Acesso em: 11 ago. 2025.

PARISI, Ludovica *et al.* Preparation of hybrid samples for scanning electron microscopy (SEM) coupled to focused ion beam (FIB) analysis: a new way to study cell adhesion to titanium implant surfaces. **Plos One**, San Francisco, v. 17, n. 8, p. 1-7, 2 ago. 2022. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0272486>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9345346/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PAULETTO, Amanda Ramos; BREHM, Feliciane Andrade; GOMES, Lucas Bonan. Análise do uso da técnica de difração de raios x em estudos sobre materiais cimentícios suplementares: uma revisão de literatura. **Anais do 11º Forum Internacional de Resíduos Sólidos**, v. 11, n. 11, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/138/114>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PEYDAYESH, Mohammad *et al.* Sustainable Smart Packaging from Protein Nanofibrils. **Advanced Materials**, Weinheim, v. 37, n. 22, p. 1-11, 20 nov. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/adma.202414658>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39568233/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

PORTA, Raffaele; SABBAH, Mohammed; PIERRO, Prospero di. Bio-Based Materials for Packaging. **International Journal Of Molecular Sciences**, Basel, v. 23, n. 7, p. 3611, 25 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms23073611>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8998251/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

RILLIG, Matthias C.; KIM, Shin Woong; ZHU, Yong-Guan. The soil plastisphere. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 22, n. 2, p. 64-74, 11 set. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-023-00967-2>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7615554/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ROOS, Jonas de; VUYST, Luc de. Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. **Current Opinion In Biotechnology**, Amsterdã, v. 49, p. 115-119, fev.

2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166917300873?via%3Di> hub. Acesso em: 14 ago. 2025.

SANTOS, Cristielle Terezinha dos; SANTOS, Grazielle Aparecida dos; PEREIRA, Aline Massia. EMBALAGENS ATIVAS ANTIMICROBIANAS: perspectivas e desafios de avaliação da eficácia. **Avanços, Inovações e Saberes em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 2**, Guarujá, v. 2, p. 41-60, 2024. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/241017902>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/241017902.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SANWAL, Nikita *et al.* Kombucha fermentation: recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity management, and potential applications. **Food Chemistry Advances**, Oxford, v. 3, p. 100421, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2023.100421>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23002423>. Acesso em: 14 ago. 2025.

SARANTOPULOS, Claire I.G.L *et al.* As tendências de embalagem. **Brasil Pack Trends**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 1-10, 2012. Disponível em: https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v24n3/v24n2_artigo1.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

SHEZAD, Omer *et al.* Physicochemical and mechanical characterization of bacterial cellulose produced with an excellent productivity in static conditions using a simple fed- batch cultivation strategy. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 82, n. 1, p. 173-180, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.052>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/220031645_Physicochemical_and_mechanical_characterization_of_bacterial_cellulose_produced_with_an_excellent_productivity_in_static_conditions_using_a_simple_fed-batch_cultivation_strategy. Acesso em: 13 jul. 2025.

SILVA, Daniella Pereira da *et al.* KOMBUCHÁ: do "chá da imortalidade" a produção de celulose bacteriana. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 4**, Guarujá, p. 74-87, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/210303499>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210303499.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SILVA JÚNIOR, Jayme César da *et al.* Kombucha: formulation, chemical composition, and therapeutic potentialities. **Current Research In Food Science**, Amsterdã, v. 5, p. 360-365, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665927122000235?via%3Di> hub. Acesso em: 10 jul. 2025.

SILVA, Paula Juliana *et al.* CELULOSE BACTERIANA DE CULTURA SIMBIÓTICA DE BACTÉRIAS E LEVEDURAS (SCOBY). **Ciência e Tecnologia de Alimentos: o avanço da ciência no Brasil** - Volume 4, Guarujá, v. 4, p. 64-75, jul. 2023. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/230613504>. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/celulose-bacteriana-de-cultura-simbiotica-de-bacterias-e-leveduras-scoy>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SILVA, Renato F. da. A Difração de Raios X: uma técnica de investigação da estrutura cristalina de materiais. **Revista Processos Químicos**, Goiânia, v. 14, n. 27, p. 73-82, 22 set. 2020. *Revistas Processos Químicos*. <http://dx.doi.org/10.19142/rpq.v14i27.577>. Disponível em: https://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/577. Acesso em: 14 ago. 2025.

SOUZA, Felipe Ravelly Alves de *et al.* BIOPOLIMEROS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos** - Volume 4, Guarujá, p. 370-388, 01 abr. 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/210303531>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210303531.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SUBBIAHDOSS, Guruprakash; OSMEN, Sarah; REIMHULT, Erik. Cellulosic biofilm formation of *Komagataeibacter* in kombucha at oil-water interfaces. **Biofilm**, Amsterdã, v. 4, p. 100071, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biofilm.2022.100071>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8904243/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

TAPIAS, Yuly A. Ramírez *et al.* Bacterial cellulose films production by Kombucha symbiotic community cultured on different herbal infusions. **Food Chemistry**, Buenos Aires, v.372, p. 131346, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131346>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621023529?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 10 jul. 2025.

TAPIAS, Yuly A. Ramírez *et al.* Kombucha fermentation in yerba mate: cellulose production, films formulation and its characterisation. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, Amsterdã, v. 5, p. 1-13, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100310>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893923000312>. Acesso em: 11 ago. 2025.

TEIXEIRA, Samiris Côcco; SOARES, Nilda de Fátima Ferreira; STRINGHETA, Paulo César. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 24, p. 1-11, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.03321>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/wfx6cTwKwNMHn9KW8YPhsVP/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

TREVIÑO-GARZA, Mayra *et al.* Production of Microbial Cellulose Films from Green Tea (*Camellia Sinensis*) Kombucha with Various Carbon Sources. **Coatings**, Basel, v. 10, n.11, p.1-14, 22 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings10111132>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/11/1132>. Acesso em: 21 jul. 2025.

VIEIRA, Maria Eduarda Martins *et al.* Espectroscopia de energia dispersiva de raios- X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV): fundamentos e aplicações em produtos lácteos. **Research, Society And Development**, Itabira, v. 10, n. 10, p. 1-13, 10 ago. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18622>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/18622/16805/232349>. Acesso em: 11 ago. 2025.

WANDERLEY, B. R. S. M. *et al.* KOMBUCHA: matérias-primas, composição química e atividades biológicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisas e avanços**, Campinas, v. 4, p. 193-202, 29 abr. 2023. Agron Food Academy. <http://dx.doi.org/10.53934/9786585062060-18>. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/kombucha-materias-primas-composicao-quimica-e-atividades-biologicas/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

WANG, Boying *et al.* Kombucha: production and microbiological research. **Foods**, Auckland, v.11, n.21, p.1-18,31 out.2022.MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11213456>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3456>. Acesso em: 10 jul. 2025.