

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**JOSÉ VITOR SCARCELLA ASSUNÇÃO**

**VALORIZAÇÃO DO OKARÁ PARA OBTENÇÃO DE FIBRAS DIETÉTICAS E SEU  
USO EM FILMES COMESTÍVEIS PARA EMBALAGENS ALIMENTARES**

**POÇOS DE CALDAS/MG**

**2024**

**JOSÉ VITOR SCARCELLA ASSUNÇÃO**

**VALORIZAÇÃO DO OKARÁ PARA OBTENÇÃO DE FIBRAS DIETÉTICAS E SEU  
USO EM FILMES COMESTÍVEIS PARA EMBALAGENS ALIMENTARES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Química pela Universidade Federal de Alfenas.  
Área de concentração: Filmes comestíveis.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Grazielle Santos Silva  
Andrade  
Coorientador: Prof. Dr. Eric Keven Silva

**POÇOS DE CALDAS/MG**

**2024**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca do Campus de Poços de Caldas.

Assunção, José Vitor Scarcella.

Valorização do okará para obtenção de fibras dietéticas e seu uso em filmes comestíveis para embalagens alimentares / José Vitor Scarcella Assunção. - Poços de Caldas, MG, 2024.

90 f. : il. -

Orientador(a): Grazielle Santos Silva Andrade.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. Fibras dietéticas solúveis. 2. Prebiótico. 3. Probiótico. 4. Casting. I. Andrade, Grazielle Santos Silva , orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com os dados fornecidos pelo autor.

**JOSÉ VITOR SCARCELLA ASSUNÇÃO**

**VALORIZAÇÃO DO OKARÁ PARA OBTENÇÃO DE FIBRAS DIETÉTICAS E SEU USO EM FILMES  
COMESTÍVEIS PARA EMBALAGENS ALIMENTARES**

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Aprovada em: 30 de julho de 2024.

Profa. Dra. Grazielle Santos Silva Andrade  
Presidente da Banca Examinadora  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Melina Savioli Lopes  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Ana Letícia Rodrigues Costa Lelis  
Instituição: Universidade Federal de Viçosa



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Santos Silva Andrade, Professor do Magistério Superior**, em 12/08/2024, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1311604** e o código CRC **38AE1D90**.

## **AGRADECIMENTOS**

Nesta jornada com inúmeras dificuldades venho por meio deste agradecer primeiramente a Deus, por me dar forças todos os dias para lutar pela minha educação. Agradeço à minha família: minha mãe, Marileni Scarcella, meu pai, José Anardo Assunção, minha irmã, Marília Gabriela Scarcella Assunção, e minha esposa, Elisa Othero Scarcella Nahás.

Agradeço a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Grazielle Santos Silva Andrade pelo apoio e aconselhamento, assim como meu coorientador Prof. Dr. Eric Keven Silva, que fizeram com que todo este trabalho fosse possível por meio de esforços, atenção e orientação constantes.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Além da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## RESUMO

Em resposta às crescentes preocupações ambientais e à busca por inovações sustentáveis, este estudo explora o potencial dos resíduos agroindustriais como matérias-primas alternativas para a fabricação de filmes comestíveis. Neste sentido foi investigado o potencial uso de okará, subproduto do processamento de soja, como fonte de fibra dietética para o enriquecimento de filmes comestíveis de carboximetilcelulose (CMC), visando à redução de resíduos e ao desenvolvimento de embalagens renováveis através da técnica de *casting*. Comparou-se o desempenho do filme de CMC enriquecido com fibra de okará com filmes contendo fibras dietéticas convencionais e emergentes, como pectina, inulina e  $\beta$ -glucana. Além disso, as matrizes de inulina,  $\beta$ -glucana e okará foram avaliadas quanto à capacidade de carrear *Lactobacillus Casei*, com o objetivo de produzir filmes com propriedades probióticas, que são conhecidos por promoverem inúmeros benefícios à saúde humana, além de estender a vida útil de alimentos. A fibra de okará foi extraída por hidrólise ácida a 121°C, resultando em um rendimento de 5,31% em relação ao peso seco inicial. A incorporação de *Lactobacillus Casei* nas matrizes não afetou as propriedades dos filmes, exceto pela viabilidade do probiótico, de 50% para inulina e  $\beta$ -glucana, contrastando com os 2% observados para a fibra de okará. A análise de difração de raios X (DRX) dos filmes produzidos indicou uma cristalinidade máxima de 5%, para todos os filmes produzidos, evidenciando uma estrutura predominantemente amorfa. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) confirmou a uniformidade e ausência de defeitos nas amostras. O filme enriquecido com fibra de okará apresentou características essenciais para a preservação de alimentos: espessura, permeabilidade a vapor de água (PVA) e estabilidade térmica, comparáveis às das outras fibras dietéticas testadas. As propriedades ópticas deste novo material indicaram a capacidade de bloquear até 70% da luz UV, oferecendo uma proteção adicional para itens sensíveis à luz. Os testes de solubilidade revelaram que os filmes de okará e  $\beta$ -glucana apresentaram maior solubilidade, enquanto os testes mecânicos indicaram que os filmes de  $\beta$ -glucana superaram os demais em resistência à tração, atingindo uma tensão de 27,5 MPa. Este trabalho contribui para o avanço na utilização de resíduos agroindustriais com potencial aplicação na indústria de alimentos e embalagens.

Palavras-chave: fibras dietéticas solúveis; prebiótico; probiótico; *casting*.

## ABSTRACT

In response to growing environmental concerns and the pursuit of sustainable innovations, this study explores the potential of agro-industrial waste as alternative raw materials for the production of edible films. In this context, the potential use of okara, a by-product of soybean processing, was investigated as a source of dietary fiber for enriching carboxymethylcellulose (CMC) edible films, aiming at waste reduction and the development of renewable packaging through casting techniques. The performance of CMC films enriched with okara fiber was compared with films containing conventional and emerging dietary fibers such as pectin, inulin, and  $\beta$ -glucan. Additionally, the inulin,  $\beta$ -glucan, and okara matrices were evaluated for their capacity to carry *Lactobacillus Casei*, with the aim of producing films with probiotic properties, which are known to promote numerous health benefits and extend the shelf life of foods. Okara fiber was extracted by acid hydrolysis at 121°C, resulting in a yield of 5.31% relative to the initial dry weight. The incorporation of *Lactobacillus Casei* into the matrices did not affect the properties of the films, except for the probiotic viability, which was 50% for inulin and  $\beta$ -glucan, contrasting with 2% observed for okara fiber. X-ray diffraction (XRD) analysis of the produced films indicated a maximum crystallinity of 5% for all films produced, evidencing a predominantly amorphous structure. Scanning electron microscopy (SEM) confirmed the uniformity and absence of defects in the samples. The film enriched with okara fiber presented essential characteristics for food preservation: thickness, water vapor permeability, and thermal stability comparable to those of the other tested dietary fibers. The optical properties of this new material indicated the capability to block up to 70% of UV light, offering additional protection for light-sensitive items. Solubility tests revealed that okara and  $\beta$ -glucan films demonstrated higher solubility, while mechanical tests indicated that  $\beta$ -glucan films outperformed others in tensile strength, reaching a stress of 27.5 MPa. This work contributes to advances in the utilization of agro-industrial waste with potential applications in the food and packaging industries.

Keywords: soluble dietary fiber; prebiotic; probiotic; casting.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes ligações do monômero $\beta$ -D-glicose .....	25
Figura 2 – Ensaio de rendimento e caracterização das fibras .....	40
Figura 3 – Perfil de estabilidade térmica.....	43
Figura 4 – Caldo MRS Broth após o período de incubação.....	45
Figura 5 – Pellets de probiótico e solução de inóculo final .....	45
Figura 6 – Filmes resultantes do <i>casting</i> .....	46
Figura 7 – Viabilidade dos filmes com probiótico .....	47
Figura 8 – Espessura das diferentes formulações dos filmes .....	49
Figura 9 – MEV para superfície e seção transversal dos filmes.....	50
Figura 10 – Perfis de luz e opacidade para os filmes .....	53
Figura 11 – Ensaio de DRX e FTIR.....	56
Figura 12 – TGA para os diversos filmes.....	58
Figura 13 – Solubilidade em água e permeabilidade de vapor d'água .....	62
Figura 14 – Propriedades mecânicas para os diferentes filmes.....	65



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Prebióticos e sua influência na microbiota humana .....	21
Tabela 2 – Nomenclaturas e respectivas formulações realizadas .....	33
Tabela 3 – Parâmetros de cor obtidos para os filmes produzidos a partir de PC, IN, $\beta$ G e FO.....	51
Tabela 4 – Teste de Tukey para rendimento .....	86
Tabela 5 – Teste de Tukey para viabilidade.....	86
Tabela 6 – Teste de Tukey para espessura .....	86
Tabela 7 – Teste de Tukey para opacidade .....	87
Tabela 8 – Teste de Tukey para coloração.....	87
Tabela 9 – Teste de Tukey para solubilidade .....	89
Tabela 10 – Teste de Tukey para PVA .....	89
Tabela 11 – Teste de Tukey para propriedades mecânicas.....	90

## ABREVIACOES E SIGLAS

AGCC	cidos graxos de cadeia curta
CMC	Carboximetilcelulose
DRX	Difraco de raios-x
FDA	Food and Drug Administration
FOS	Fruto-oligossacarídeos
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
LAC	Laboratório de apoio central
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
N/A <sup>a</sup>	Sem mudança
PPGEQ	Programa de Pós-graduao em Engenharia Química
PVA	Permeabilidade a vapor d'gua
TGA	Análise termogravimétrica

## LISTA DE SÍMBOLOS

↑	Aumento
↓	Redução

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1	VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO DE SOJA (OKARÁ)	16
2.1.1	<b>Fibra dietética solúvel de okará .....</b>	<b>17</b>
2.2	FILMES COMESTÍVEIS	18
2.3	PREBIÓTICOS	20
2.3.1	<b>Inulina .....</b>	<b>23</b>
2.3.2	<b>Pectina.....</b>	<b>24</b>
2.3.3	<b><math>\beta</math>-Glucana.....</b>	<b>25</b>
2.4	PROBIÓTICOS	27
2.5	CARACTERIZAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1	MATERIAIS	30
3.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	30
3.2.1	<b>Extração, purificação e determinação do rendimento da fibra de okará .....</b>	<b>30</b>
3.2.2	<b>Caracterização das fibras .....</b>	<b>31</b>
3.2.2.1	Difração de raios-X (DRX) .....	31
3.2.2.2	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	32
3.2.2.3	Análise termogravimétrica (TGA) .....	32
3.2.3	<b>Preparação dos filmes pelo método Casting .....</b>	<b>32</b>
3.2.4	<b>Preparação do inóculo da cultura de Lactobacillus Casei .....</b>	<b>33</b>
3.2.5	<b>Teste de viabilidade celular nos filmes.....</b>	<b>34</b>
3.3	METODOLOGIA ANALÍTICA	35
3.3.1	<b>Espessura .....</b>	<b>35</b>
3.3.2	<b>Morfologia.....</b>	<b>35</b>
3.3.3	<b>Coloração .....</b>	<b>36</b>
3.3.4	<b>Propriedades ópticas.....</b>	<b>37</b>
3.3.5	<b>Difração de raios-X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA).....</b>	<b>37</b>

<b>3.3.6</b>	<b>Solubilidade em água .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.7</b>	<b>PVA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.8</b>	<b>Propriedades mecânicas.....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>40</b>
4.1	EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DIETÉTICA SOLÚVEL DE OKARÁ.....	40
4.2	PREPARAÇÃO DO INÓCULO	44
4.4	VIABILIDADE	46
4.5	ESPESSURA	48
4.6	MORFOLOGIA	49
4.7	COLORAÇÃO	51
4.8	PROPRIEDADES ÓPTICAS	52
4.9	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX), FTIR E TGA PARA OS FILMES PRODUZIDOS .....	55
4.10	SOLUBILIDADE EM ÁGUA E PVA	61
4.11	PROPRIEDADES MECÂNICAS	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE A - Testes de Tukey.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial desempenha um papel crucial no cenário global, garantindo o sustento a uma população que ultrapassa os 8 bilhões de habitantes. A expansão anual do setor é imperativa para atender à crescente demanda por alimentos, com projeções apontando para um aumento de 60% até 2050, visando suprir as necessidades de uma população estimada em 9,3 bilhões de pessoas (Georganas *et al.*, 2023; Nile *et al.*, 2021). No entanto, o setor está associado a grande parcela dos impactos ambientais, incluindo a perda de cerca de 30% de todos os produtos comestíveis ao longo da cadeia de produção, contribuindo com 20-50% dos impactos ambientais totais (Astudillo *et al.* 2023; Colimoro *et al.*, 2023).

A soja, que representa aproximadamente 53% da produção mundial de oleaginosas, gera o okará como subproduto durante a produção de tofu e leite de soja. Este subproduto é rico em nutrientes, apresentando proteínas (9,91-32,8%), gorduras (6,22-21,98%), fibras (4,1-23,4%) e propriedades antioxidantes (aproximadamente 3,33 gramas de equivalente de ácido gálico por grama de okará) (Colimoro *et al.*, 2023; Ginting *et al.*, 2024). Apesar de seu valor nutricional, 98% do okará é utilizado na alimentação animal, indicando um potencial subutilizado (Toomer *et al.*, 2023). Visando explorar o valor nutricional do okará, algumas indústrias têm desenvolvido novos produtos, como biocombustíveis, filmes, farinha, cookies e snacks (Fadhila *et al.*, 2024; Fu *et al.*, 2024; Triditanakiat; Hernández-Estrada; Rayas-Duarte, 2023). Essa estratégia economiza insumos, gera receitas adicionais, reduz custos com tratamento de efluentes e mitiga impactos ambientais.

Os filmes comestíveis são uma alternativa promissora aos plásticos convencionais, não renováveis e potencialmente tóxicos quando ingeridos ou queimados. Eles retardam a deterioração de alimentos, inibem o crescimento de microrganismos, protegem contra a exposição ambiental e aumentam a vida útil de produtos, especialmente frutas e vegetais. Além disso, oferecem uma opção sustentável que reduz o impacto sobre os recursos naturais (Brito *et al.*, 2019). A formulação desses filmes geralmente inclui um agente estruturante, um plasticizante e pode incorporar fibras dietéticas, óleos essenciais, prebióticos e até mesmo probióticos, fornecendo benefícios diretos ao consumidor e proteção aos alimentos (Majeed *et al.*, 2023). O agente estruturante é a maior parcela da composição de filmes comestíveis, sendo o principal responsável pela sua maleabilidade e características plásticas, sendo os mais utilizados: amido, CMC, quitosana e pullulano.

A CMC, um polissacarídeo aniônico derivado da celulose, é biodegradável e

amplamente utilizado na indústria de filmes devido às suas propriedades vantajosas, incluindo solubilidade em água, formação de filme, e qualidades de barreira contra oxigênio e lipídios, além de estabilidade térmica e química. Adicionalmente, a CMC apresenta força mecânica moderada, flexibilidade adequada e uma relação custo-efetividade ótima. A solubilidade da CMC depende principalmente do seu grau de substituição, que é regulado pela interação entre grupos hidroxila e carboxila ao longo de sua cadeia polimérica (Kong; Rosnan; Enomae, 2024; Pourmadadi *et al.*, 2023; Ramakrishnan *et al.*, 2024; Yildirim-Yalcin; Tornuk; Toker, 2022).

Dada a alta densidade de grupos carboxila na CMC e a presença de grupos amino nos isolados de proteína de soja, uma reação de amidização entre esses grupos parece viável e pode, teoricamente, aumentar as interações intermoleculares. Essa reação potencial poderia levar a um aumento nas propriedades mecânicas do material composto devido a forças intermoleculares mais fortes. Além disso, o entrelaçamento natural desses biopolímeros poderia aumentar o número de sítios reativos disponíveis, facilitando assim a formação de ligações de hidrogênio adicionais e potencialmente melhorando as propriedades gerais do material (Wang, Q. *et al.*, 2024). No entanto, os filmes comestíveis ainda enfrentam desafios, como propriedades mecânicas inferiores aos plásticos convencionais e a rápida perda de viabilidade de células probióticas, que podem declinar em até 90% após 21 dias de armazenamento. Isso requer maiores estudos focados em novos materiais que possam melhorar as propriedades mecânicas e prebióticas que possam estender a viabilidade dos probióticos (Espitia *et al.*, 2014; Orozco-Parra; Mejía; Villa, 2020).

O okará, rico em fibras dietéticas com propriedades prebióticas, emerge como um candidato atraente para o desenvolvimento de filmes comestíveis simbióticos. A produção de filmes de okará não apenas agregaria valor a este subproduto, aproveitando suas propriedades nutricionais, como também poderia resultar em um filme com características mecânicas, de barreira e antioxidantes únicas, além de propriedades prebióticas, abrindo caminho para diversas aplicações.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis a base de CMC de mesma formulação incorporados com diferentes prebióticos: fibra dietética solúvel de okará, pectina,

inulina e  $\beta$ -glucana.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Definir a metodologia de extração e purificação de fibra de okará solúvel;
- b) Caracterizar a fibra quanto as propriedades químicas e óticas;
- c) Definir o agente estruturante a ser utilizado: amido ou CMC;
- d) Determinar as condições ideais de aplicação do prebiótico fibra de okará na formulação do filme por meio do processo *casting*;
- e) Replicar a mesma formulação para os demais prebióticos comerciais (pectina, inulina ou  $\beta$ -glucana);
- f) Inocular, definir as unidades formadoras de colônia da cultura probiótica e viabilidade nos filmes de inulina,  $\beta$ -glucana e fibra de okará;
- g) Caracterizar físico-quimicamente todos os filmes obtidos.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO DE SOJA (OKARÁ)

O okará, também conhecido como tofukasu no Japão, douzha na China e biji na Coreia, é um subproduto gerado durante a produção de leite de soja e tofu. A cada quilograma de leite de soja ou tofu produzido, aproximadamente 1,2 kg de okará são gerados (Tuly; Ma, 2024). Estima-se que milhões de toneladas de okará sejam produzidas anualmente em todo o mundo, sendo destinadas principalmente a alimentação animal, cerca de 98% (Feng *et al.*, 2021). Neste sentido existe um subaproveitamento deste resíduo visto que a soja é reconhecida como uma excelente fonte de proteína, e seus subprodutos também exibem propriedades físicas e nutricionais excepcionais (Nile *et al.*, 2021).

O okará é composto principalmente por fibras dietéticas insolúveis (40-50% na matéria seca), fibras dietéticas solúveis (4-15%), proteínas (15-30%), lipídios, vitaminas, minerais e compostos fenólicos, como isoflavonas (Vong; Liu, 2016). Os componentes do okará são conhecidos por seus benefícios à saúde humana contendo, por exemplo, isoflavonas responsáveis pela redução do risco de doenças cardiovasculares, câncer de mama e próstata, e alívio de sintomas da menopausa. Outros componentes como a fibra dietética são reconhecidos por seu potencial prebiótico, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos probióticos na microbiota intestinal, enquanto as proteínas possuem alto valor nutricional e impactos positivos sobre o eixo metabólico humano (Ricarte *et al.*, 2024).

Neste cenário a valorização do okará é um grande desafio para a indústria moderna, não somente sob a ótica da economia circular como por seu valor nutricional. Desta maneira vários estudos tem reunido esforços para valorização deste importante insumo destacando seu potencial como matéria-prima para a produção de alimentos funcionais e ingredientes bioativos.

O estudo de Vital *et al.* (2018) estudou o uso de resíduo de okará como fonte de antioxidantes, protegendo lipídios em leite enriquecido com ômega-3 e, melhorando a biodisponibilidade destes compostos bioativos após digestão gastrointestinal *in vitro* (Quintana *et al.*, 2023).

A fermentação microbiana do okará também foi explorada como uma estratégia para converter este resíduo em produtos de valor agregado, aumentando o teor de fibras solúveis e monômeros prebióticos presentes no okará. A hidrólise enzimática também é uma estratégia promissora para reduzir o teor de fibras insolúveis do okará. Kasai *et al.* (2004) e Yoshida *et. al*

(2020) exploraram a hidrólise enzimática como um método mais sustentável e de menor tempo de reação em comparação com a fermentação (Ricarte *et al.*, 2024).

Outros estudos focaram em investigar a influência dos métodos de processamento de okará no seu teor nutricional, como foi o caso de Privatti *et al.* (2024) que investigou o perfil e o conteúdo de isoflavonas em soja e okará submetidos a diferentes métodos de secagem (Privatti *et al.*, 2024).

Há também estudos como o de Ferreira *et al.* (2022) que focaram na extração do óleo residual de soja para a produção de biocombustíveis, como uma estratégia focada na economia circular e sustentabilidade da nova geração de biocombustíveis (Privatti *et al.*, 2024).

A valorização do okará também se estende à produção de alimentos, como biscoitos sem glúten, feitos de misturas de farinha de okará e sementes de jaqueira (Goh; Mamat; Aziz, 2024).

### **2.1.1 Fibra dietética solúvel de okará**

O okará, é rico em fibras dietéticas solúveis, que apresentam inúmeros benefícios para a saúde humana, incluindo a redução do colesterol e do índice glicêmico, bem como a promoção do crescimento de bactérias benéficas no intestino (Ricarte *et al.*, 2024). Neste sentido, os métodos de extração destes componentes têm focado em aumentar o rendimento das fibras solúveis através de técnicas que maximizem sua extração, além de métodos que induzem a quebra das cadeias de fibra insolúvel em monômeros menores, aumentando o teor de fibra solúvel. Os principais métodos de extração da fibra dietética solúvel de okará incluem a hidrólise ácida, extração em alta pressão, fermentação sólida, tratamento com ultrassom e a combinação desses métodos (Tian *et al.*, 2023; Vong; Hua; Liu, 2018; Yoshii *et al.*, 1996).

O método de fermentação aumenta o conteúdo de fibra solúvel e melhora suas propriedades antioxidantes e inibitórias de enzimas digestivas. No entanto, a fermentação pode levar a mudanças no perfil de isoflavonas e ácido linoleico conjugado, que são importantes para as propriedades funcionais do okará (Gupta; Lee; Chen, 2018).

A hidrólise enzimática, por sua vez consiste em uma mistura de enzimas, como cellulase e xylanase, também é um método utilizado para modificar a fibra do okará. Este processo resulta em uma estrutura porosa e enrugada, que melhora a estabilidade térmica e as capacidades de retenção de água e óleo. Contudo, a hidrólise enzimática pode ser limitada pela transferência de massa, especialmente em altas concentrações de sólidos, o que pode reduzir a eficiência do processo (Tian *et al.*, 2024).

O tratamento com ultrassom é um método físico que pode aumentar o conteúdo de oligossacarídeos na fibra do okará através da quebra de ligações de hidrogênio. Este método também pode melhorar as capacidades de retenção de água e óleo (Xie *et al.*, 2024).

A cavitação a jato combinada com a hidrólise enzimática é um método recente que demonstra ser eficaz na modificação da fibra de okará. Este processo resulta em uma estrutura porosa, que melhora as propriedades de adsorção de compostos como nitrito, glicose e colesterol, além de melhorar a atividade probiótica *in vitro* e a taxa de anti-digestão. No entanto, a aplicação deste método em larga escala pode ser desafiadora devido à necessidade de equipamentos específicos e altos custos de operação (Tian *et al.*, 2023).

A aplicação potencial da fibra dietética solúvel de okará em filmes comestíveis é particularmente interessante devido às suas propriedades de gelatinização, capacidade de formar géis e estabilizar emulsões, além de reter água e óleo, o que torna a fibra dietética solúvel de okará um candidato promissor para a formulação de filmes comestíveis com funções prebióticas (Xie *et al.*, 2024).

## 2.2 FILMES COMESTÍVEIS

Os filmes comestíveis são obtidos através de matrizes poliméricas encontradas na natureza. Dentre as principais macromoléculas se destacam os polissacarídeos, proteínas e lipídeos. A mistura de diferentes biopolímeros também é utilizada para desenvolvê-los, e são conhecidos como filmes compósitos.

Estes filmes possuem aplicação em revestimento de alimentos e podem servir como carreadores de probióticos, sendo muito utilizados para preservação de frutas e vegetais, tornando-os alimentos funcionais. Tais propriedades são fruto do isolamento da superfície a qual são aplicados, bem como pelas propriedades bactericidas dos probióticos associados à matriz (Suhag *et al.*, 2020).

A resistência do filme é afetada diretamente pela coesão da matriz de origem, aditivos, agentes plastificantes e cristalização, e suas propriedades estão intimamente ligadas à sua finalidade, podendo ser incolores, insípidos, para, por exemplo, revestir uma fruta, ou possuir determinado sabor ou cor para higiene bucal, por exemplo. Desta maneira para correta elaboração do filme é importante levar em conta os fatores físico-químicos bem como sua finalidade (Viana *et al.*, 2018).

A produção dos filmes comestíveis pode ser realizada pelo método casting, que consiste

em três principais etapas: solubilização do biopolímero, fundição e secagem (Rhim *et al.*, 2006). Para realizar este procedimento é necessário selecionar os biopolímeros de interesse para sua dispersão e solubilização. Geralmente amidos e similares são dispersos em água através do processo denominado de gelatinização, que consiste em dissolvê-lo em água através do aumento da temperatura e agitação constantes. Também é comum a adição de agentes plastificantes, tais como glicerol ou sorbitol, para aumentar a flexibilidade do filme após a secagem. Outros solventes também são utilizados, tal como etanol, para dispersão de proteína de soja, por exemplo (Suhag *et al.*, 2020).

A etapa seguinte consiste em verter o polímero e aditivos no molde, seguida pela secagem. Esta etapa gera uma maior continuidade do filme e estabilização das interações intramoleculares, contudo pode gerar aprisionamento de solventes tóxicos (Cha *et al.*, 2003).

O método casting apresenta desempenho superior em relação às propriedades ópticas e uniformidade da matriz, contudo a forma do filme é restrita ao molde. Ademais diferenças na secagem, temperatura e solubilização dificultam propriedades filmogênicas constantes, o que representa um desafio para ampliação em larga escala (Yang; Yu; Huang, 2011).

Os prebióticos e probióticos têm ganhado destaque no desenvolvimento de filmes comestíveis devido aos seus potenciais benefícios para a saúde e a segurança alimentar. Prebióticos, como inulina e frutanos, servem como substratos para o crescimento de probióticos, que são microrganismos benéficos para a saúde intestinal. Quando incorporados a filmes comestíveis, esses compostos podem melhorar a viabilidade dos probióticos durante o armazenamento e o consumo, além de potencializar os efeitos benéficos dos probióticos no organismo (Sáez-Orviz; Rendueles; Díaz, 2023).

A incorporação de probióticos em filmes comestíveis pode conferir propriedades antimicrobianas ao filme, protegendo os alimentos contra microrganismos patogênicos e de deterioração. No entanto, é crucial que os probióticos mantenham sua viabilidade durante todo o processo de produção e armazenamento do filme, bem como durante o trânsito pelo trato gastrointestinal, para que possam exercer seus efeitos benéficos (Sogut; Filiz; Seydim, 2022).

A fim alcançar um filme comestível ideal com base em prebióticos e probióticos, é necessário considerar a formulação do filme. Isso inclui a escolha de materiais de base adequados, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, que possam suportar as condições de processamento e armazenamento e garantir a viabilidade dos probióticos. A adição de agentes plasticizantes, como glicerol, pode melhorar a flexibilidade do filme e facilitar a liberação dos probióticos no intestino, além disso a concentração de cada prebiótico deve ser avaliada para

manter a viabilidade dos probiótico e as propriedades de barreira, visuais e mecânicas (Espitia *et al.*, 2016).

### 2.3 PREBIÓTICOS

Prebióticos são ingredientes alimentares funcionais que, embora não sejam digeríveis pelo organismo, são seletivamente utilizados por microrganismos benéficos no trato gastrointestinal, conferindo benefícios à saúde do hospedeiro. Eles são compostos principalmente por carboidratos oligossacarídeos, mas também podem incluir polifenóis e ácidos graxos poli-insaturados, frequentemente derivados de frutas ou resíduos de seus processamentos (Marques *et al.*, 2020).

A função primária dos prebióticos como substratos para a fermentação por microrganismos intestinais específicos é bem estabelecida. Eles influenciam a composição da microbiota intestinal, promovendo sua diversidade e permitindo que bactérias benéficas como *Bifidobacteria* e *Lactobacilli proliferare*, enquanto inibem o crescimento de patógenos potenciais (Ji *et al.*, 2023). A fermentação microbiana de prebióticos resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como acetato, propionato e butirato, que desempenham papéis cruciais na manutenção da saúde intestinal, regulando o pH intestinal e favorecendo o crescimento de micróbios benéficos (Marques *et al.*, 2020).

A seletividade na utilização de prebióticos por diferentes microrganismos é influenciada pela capacidade metabólica desses micróbios e pela estrutura dos carboidratos prebióticos. Cadeias de carboidratos maiores, como a inulina, tendem a ser mais seletivas e mais difíceis de fermentar, enquanto cadeias menores são mais propícias à fermentação por uma variedade de microrganismos. A alimentação cruzada, onde um microrganismo metaboliza um substrato produzindo um metabolito que é usado por outra espécie, também pode influenciar a seletividade (Davani-Davari *et al.*, 2019).

Os principais prebióticos incluem frutanos do tipo inulina, galacto-oligossacarídeos (GOS), amido resistente, polidextrose e pectina (Marques *et al.*, 2020). Estes substratos são resistentes à digestão ácida e à absorção no cólon, e sua quebra é realizada pela fermentação pela microbiota intestinal ou em conjunto com probióticos. A fermentação dos prebióticos leva à produção de AGCC, que reduz o pH intestinal e é eficaz contra patógenos (Ji *et al.*, 2023).

Além de servir como substrato para o crescimento da microbiota intestinal, os prebióticos também podem ser incorporados em filmes biopoliméricos para o carreamento de

probióticos. Devido à sua resistência à digestão gástrica, eles podem aumentar a viabilidade dos probióticos carregados, agindo como substrato e protegendo-os durante a passagem pelo trato gastrointestinal (Marques *et al.*, 2020).

A compreensão dos mecanismos de ação dos prebióticos é essencial para o desenvolvimento de estratégias nutricionais e terapêuticas eficazes. Estudos *in vitro* e *in vivo* são realizados para avaliar a não digestibilidade e a fermentabilidade dos prebióticos, bem como para confirmar seus benefícios para a saúde (Zeng; Van Pijkeren; Pan, 2023). A identificação dos principais AGCC metabolizados, como butirato, acetato e propionato, e a compreensão de suas diferentes taxas de metabolização são fundamentais para o entendimento do impacto dos prebióticos na saúde intestinal (Wang *et al.*, 2019). A Tabela 1 dispõe os principais tipos de prebióticos utilizados e as mudanças que acarretam na microbiota intestinal.

Tabela 1 – Prebióticos e sua influência na microbiota humana

(continua)

<b>Fibra dietética</b>	<b>Razão de fermentação</b>	<b>AGCC razão molar</b>	<b>Mudanças na composição da microbiota</b>
amido resistente tipo 2 (grânulos de amido nativo)	Lento	acetato↑ butirato↑	<i>Bifidobacteria</i> ↑, <i>Blautia</i> ↓, <i>Dorea</i> ↓, <i>Bacteroides</i> ↓
amido resistente tipo 3 (amidos retrogradados)	Lento	acetato↑ butirato↑	<i>Bifidobacteria</i> ↑
amido resistente tipo 4 (amidos modificados quimicamente)	Lento	acetato↑ butirato↑	<i>Bifidobacteria</i> ↑
Arabinosilano	Rápido	acetato↑ butirato↑	<i>Bacteroides</i> ↑, <i>Coprococcus</i> ↑, <i>Faecalibacterium</i> ↑
Xiloglucana	Rápido	propionato↑ butirato↑	<i>Lachnospiraceae</i> ↑, <i>Bacteroides</i> ↑
Inulina	Rápido	acetato↑ butirato↑	<i>Bacteroides</i> ↓, <i>Bifidobacteria</i> ↑, <i>Catenibacterium</i> ↑, <i>Collinsella</i> ↑, <i>Dorea</i> ↓

Tabela 1 – Prebióticos e sua influência na microbiota humana

(conclusão)

Fibra dietética	Razão de fermentação	AGCC razão molar	Mudanças na composição da microbiota
Pectina	Rápido	acetato↑ propionato↓ butirato↑	<i>Bacteroides</i> ↓, <i>Bifidobacteria</i> ↑, <i>Dorea</i> ↓, <i>Parabacteroides</i> ↓
guar gum	Rápido	acetato↑ propionato↑ butirato↓	<i>Lachnospira</i> ↑, <i>Clostridium</i> ↑, <i>Sutterella</i> ↑, <i>Roseburia</i> ↑
Glucomanano	Lento	acetato↑ propionato↑ butirato↓	N/A <sup>a</sup>
β-glucana	Rápido	acetato↑ butirato↑	<i>Coprobacillus</i> ↑, <i>Dorea</i> ↓, <i>Lactobacillus</i> ↑, <i>Enterococcus</i> ↑
galacto-oligosacarídeos	Rápido	propionato↑ butirato↑	<i>Bifidobacteria</i> ↑

Fonte: Adaptada de Wang *et al.* (2019, p. 3)

Legenda: ↑ - Aumento;

↓ - Redução;

N/A<sup>a</sup> - Sem mudança;

AGCC - Ácidos graxos de cadeia curta.

A partir da Tabela 1 é possível identificar os principais AGCC metabolizados, são estes: butirato, acetato e propionato, ademais os diferentes tipos de substratos possuem diferentes velocidades de metabolização, o que é esperado devido as diferenças estruturais e de tamanho das cadeias poliméricas. Os compostos metabolizados atuam reduzindo o pH intestinal, o que tem se demonstrado uma medida eficaz contra patógenos (Wang *et al.*, 2019).

Em resumo, os prebióticos são componentes dietéticos importantes que modulam a microbiota intestinal, promovem a saúde do hospedeiro e são essenciais para o crescimento de microrganismos benéficos, além de desempenhar um papel no desenvolvimento de novas tecnologias de carreamento de probióticos. A pesquisa contínua sobre prebióticos é fundamental para revelar novos benefícios e aplicações desses compostos na nutrição e na medicina.

### 2.3.1 Inulina

A inulina é um carboidrato solúvel em água que pertence à família dos frutanos, especificamente aqueles com ligações  $\beta$  (2-1). É encontrado naturalmente em várias plantas, como chicória, alho-poró, cebola, e outras, e é reconhecido como um prebiótico devido à sua capacidade de promover o crescimento de bactérias benéficas no intestino, como *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, enquanto inibe o crescimento de bactérias patogênicas. Além disso, a fermentação da inulina pelo microbioma intestinal produz ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), particularmente butirato, que são essenciais para a saúde intestinal e o bem-estar geral (Coimbra *et al.*, 2023; Jangid *et al.*, 2024).

Nos filmes comestíveis, a inulina desempenha um papel fundamental como componente da matriz polimérica. Ela é incorporada em filmes comestíveis para produzir filmes simbióticos, que combinam tanto prebióticos quanto probióticos. A inulina, quando adicionada a esses filmes, não apenas oferece os benefícios prebióticos mencionados, mas também melhora as propriedades do filme. Por exemplo, ela age como um plasticizante, aumentando a alongação do filme na ruptura e reduzindo sua resistência à tração. Além disso, a alta solubilidade da inulina em água aumenta a permeabilidade do filme ao vapor de água. Em alguns trabalhos uma concentração de 0,5% de inulina foi suficiente para inclusão e manutenção da viabilidade de bactérias probióticas (Orozco-Parra; Mejía; Villa, 2020).

Em estudos específicos, como o realizado por Orozco-Parra, Mejía e Villa (2020), foi investigado o efeito da inulina na viabilidade de *Lactobacillus casei* incorporado em filmes de amido de mandioca. Os resultados mostraram que a inulina tem um efeito protetor sobre o probiótico, diminuindo a perda de viabilidade, especialmente em baixas temperaturas e em condições gástricas simuladas. No entanto, em outro estudo, Coimbra *et al.* (2023) observou que a adição de inulina a filmes contendo resíduos agroindustriais não melhorou a viabilidade do probiótico *Lactobacillus rhamnosus*, como esperado, e em alguns casos resultou em uma diminuição extrema da viabilidade, ressaltando a importância do estudo da concentração deste prebiótico no filme.

A inulina também é valorizada por suas propriedades de biodegradabilidade, não-reatividade, e não-toxicidade, tornando-a um ingrediente funcional seguro para uso em alimentos e filmes comestíveis. Além disso, a inulina pode ser usada como um adoçante de baixa caloria, substituto de gordura em laticínios, fibra não digestível, e prebiótico na indústria alimentícia (Akram *et al.*, 2024; Jangid *et al.*, 2024).



A partir disto é possível inferir que a inulina é uma molécula multifuncional com um amplo espectro de aplicações, desde sua função como prebiótico e seu papel na saúde intestinal até seu uso em filmes comestíveis sinbióticos. Sua capacidade de melhorar as propriedades dos filmes e oferecer benefícios para a saúde torna a inulina um componente valioso para a indústria de alimentos funcionais e embalagens ativas.

### 2.3.2 Pectina

A pectina é um biopolímero vegetal com uma estrutura complexa, composta por diferentes tipos de cadeias de açúcares, como homogalacturonan, rhamnogalacturonan I e II, e xylogalacturonan (Basak; Annapure, 2022). A publicação de artigos científicos sobre pectina tem crescido significativamente nos últimos anos, especialmente entre 2019 e 2023. Este aumento reflete o interesse crescente na investigação das propriedades de emulsificação da pectina e no desenvolvimento de novas aplicações para este biopolímero (Jia *et al.*, 2024).

As propriedades de emulsificação da pectina têm sido objeto de estudo detalhado, com uma análise multiescala que abrange desde o nível macroscópico até o molecular. Essa abordagem permite uma compreensão mais profunda dos mecanismos por trás das capacidades emulsificantes da pectina e dos fatores que as influenciam. As pesquisas também têm se concentrado em métodos de modificação da pectina para melhorar suas propriedades funcionais, como a estabilidade emulsificante (Jia *et al.*, 2024).

A pectina é extraída de várias fontes, incluindo a beterraba açucareira, e sua estrutura e propriedades podem variar de acordo com a fonte e o método de extração. A modificação da pectina pode envolver a alteração do grau de metilação ou acetilação, que afeta suas propriedades reológicas e de emulsificação (Jia *et al.*, 2024).

Além de suas aplicações em alimentos, a pectina também tem sido investigada para uso em formulações farmacêuticas, como microcápsulas de tributirina, devido às suas propriedades de liberação controlada e comportamento durante a digestão gastrointestinal (Cao *et al.*, 2024).

No contexto da embalagem de alimentos, a pectina tem sido combinada com outros biopolímeros, como o isolado de proteína de soja, para produzir filmes comestíveis com aditivos antimicrobianos e antioxidantes, como a punicalagina, visando à preservação de alimentos frescos, como morangos (Guo *et al.*, 2024).

Recentemente, a pectina também em um estudo em combinação com goma xantana para a produção de filmes carregados com óleo essencial de toranja, mostrou melhorias nas

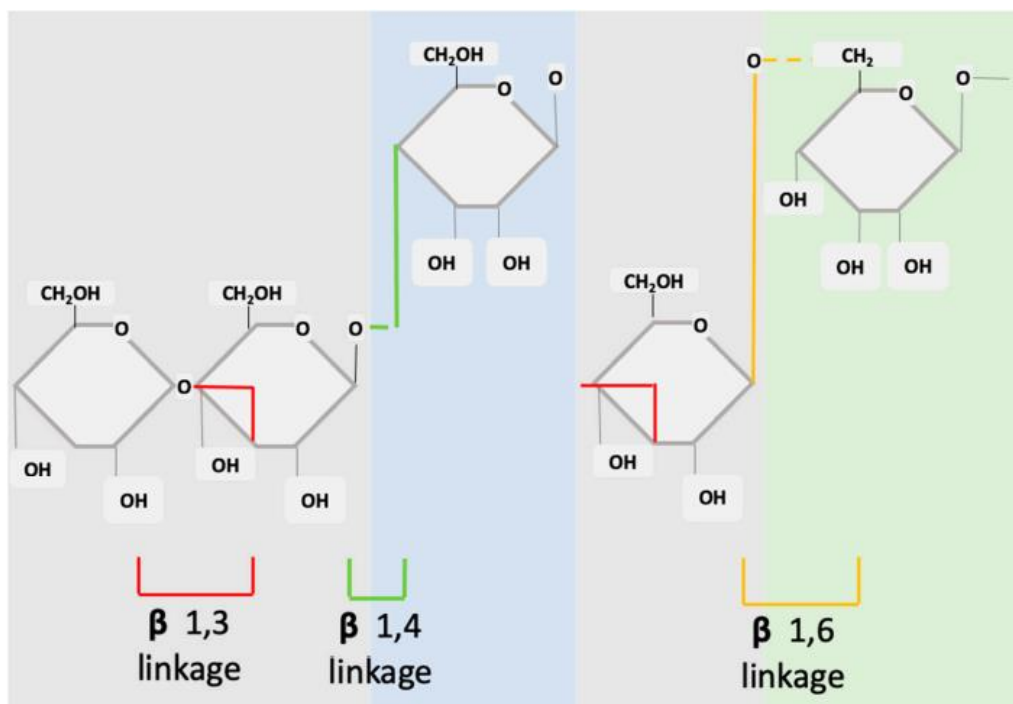
propriedades mecânicas e antioxidantes do filme, tornando-os mais adequados para aplicações de embalagem de alimentos, o que reforça que a combinação de pectina com outros bioativos podem gerar características plásticas melhoradas (Tristante *et al.*, 2024).

Desta forma a pectina demonstra ser um componente versátil com um amplo espectro de aplicações, desde a emulsificação de alimentos até a produção de filmes comestíveis para embalagem. As pesquisas contínuas visam explorar e aprimorar as propriedades da pectina, oferecendo soluções sustentáveis e inovadoras para várias indústrias.

### 2.3.3 $\beta$ -Glucana

A  $\beta$ -glucana é um polissacarídeo obtido de diferentes fontes vegetais, estruturalmente é formado através de ligações entre moléculas de  $\beta$ -D-glicose podendo ter diferentes graus de ramificações, além de variações na posição da ligação (1,3); (1,4) ou (1,6) (Razzaq *et al.*, 2016). A Figura 1 representa as possíveis ligações entre as moléculas de glicose.

Figura 1 – Diferentes ligações do monômero  $\beta$ -D-glicose



Fonte: Murphy *et al.* (2020, p. 3).

Legenda: linkage - ligação

As diferentes ligações proporcionam que a classe dos  $\beta$ -glucanos possuam vários compostos com diferentes pesos moleculares, ramificações, grau de insaturação e solubilidade,

o que também acarreta que diferentes fontes de  $\beta$ -glucana possivelmente apresentam diferentes compostos. Esta flexibilização estrutural permite diversas aplicações, visto que até mínimas alterações na conformação estrutural podem alterar significativamente as propriedades do composto tais como propriedades mecânicas e de solubilidade (Bae *et al.*, 2013). Biologicamente, estas alterações na cadeia permitem que o composto possua uma maior informação biológica, atuando em diferentes vias celulares, atividades e processos de sinalização (Murphy *et al.*, 2020).

As fontes de  $\beta$ -glucana são divididas em dois grupos: cereais e não cereais, o primeiro apresenta geralmente ligações do tipo 1,3 e 1,4 sem ligações 1,6 e grandes ramificações sendo materiais fibrosos armazenados como grânulos presentes em células de sementes dos endósporos tais como: aveia, cevada, trigo e arroz. O segundo tipo, não cereal, é encontrado em alguns tipos de fungos, leveduras, bactérias e algas, da mesma forma que nos cereais diferentes fontes apresentam variações no grau de ramificação, peso molecular e grau de insaturação, no entanto neste tipo há a presença de ligações 1,6 o que as difere do outro grupo (Borchani *et al.*, 2015).

As vias de atuação destes compostos são diversas, no entanto é possível subdividi-las em dois grupos abrangentes: os que apresentam atividade em vias metabólicas e os que são imunomoduladores, geralmente estas vias estão diretamente relacionadas com a fonte de obtenção, sendo a primeira relacionada aos cereais e a segunda aos não cereais (Murphy *et al.*, 2020).

No contexto dos filmes comestíveis, a beta-glucana tem sido investigada como um componente que pode melhorar as propriedades dos filmes, tornando-os mais flexíveis e funcionalmente ativos. Um estudo publicado no *International Journal of Biological Macromolecules* investigou as propriedades físico-mecânicas e estruturais de filmes comestíveis compostos de beta-glucana e pullulana. Os resultados mostraram que a adição de beta-glucana aumentou significativamente a alongação na quebra, a resistência à tração e o tempo de dissolução em água dos filmes. A beta-glucana também foi capaz de melhorar as propriedades de barreira a oxigênio em alguns dos filmes compostos testados, o que é crucial para a conservação de alimentos (Chang *et al.*, 2019).

Outro estudo, publicado no *Journal of the Science of Food and Agriculture*, descreveu a preparação de filmes comestíveis simbióticos à base de konjac glucomannan, que incluíam *Lactobacillus Casei*. Este tipo de filme pode ser aplicado como revestimento em pães e outros alimentos, proporcionando uma fonte de probióticos e prebióticos que podem sobreviver às

condições adversas do trato gastrointestinal (Razzaq *et al.*, 2016).

A beta-glucana é uma substância bioativa com múltiplas aplicações na produção de filmes comestíveis. Sua capacidade de melhorar as propriedades físico-mecânicas dos filmes e sua atividade biológica tornam-na um ingrediente valioso para o desenvolvimento de embalagens comestíveis com funcionalidades adicionais, como a manutenção da qualidade dos alimentos e a promoção da saúde.

## 2.4 PROBIÓTICOS

Os probióticos são definidos como microrganismos que atuam sobre o hospedeiro trazendo benefícios a saúde. A funcionalidade associada a ação dos probióticos possui diversos mecanismos, contudo, a literatura descreve principalmente a atuação destes sobre a regulação da microbiota através da produção de AGCC, que resulta na redução do pH no cólon, ajudando a inibir o crescimento de patógenos.

Os AGCC são gerados pela fermentação de prebióticos, que tem suas cadeias quebradas, levando a produção de diversos compostos dentre os quais se destaca o butirato. Este ácido serve de combustível para rota metabólica celular intestinal humana. Ademais diferentes prebióticos favorecem culturas distintas, a depender de sua estrutura e tamanho, podendo ser metabolizados em tempos diferentes, sendo que, após sua metabolização, ocorre alimentação cruzada, ajudando na manutenção das demais culturas, em simbiose (Orozco-Parra; Mejía; Villa, 2020; Plaza-Diaz *et al.*, 2019; Zólkiewicz *et al.*, 2020).

A utilização de probióticos para tratamento de síndrome do intestino irritável, desordens intestinais e regulação da microbiota tem ganhado relevância com o passar do tempo. Os princípios por trás destes benefícios envolvem diferentes mecanismos como a competição por nutrientes, produção de bacteriocinas e regulação da homeostase intestinal. A competição por nutrientes ocorre quando os probióticos, a fim de manter o metabolismo, utilizam os recursos disponíveis no trato intestinal, inibindo, conseqüentemente, que patógenos se proliferem. Além disso, ao metabolizarem os nutrientes muitas vezes, produzem substâncias que atuam reduzindo o desenvolvimento das demais colônias, conhecidas como bacteriocinas (Plaza-Diaz *et al.*, 2019).

O desempenho dos probióticos está intimamente ligado ao número de colônias sobreviventes. Desta forma, o carreamento deve proporcionar resistência a digestão gástrica, bem como liberação do princípio ativo no trato intestinal. Os principais microrganismos

utilizados são pertencentes a classe dos *Lactobacillus*, entretanto algumas outras classes como *Bifidobacteria*, *Streptococcus* e *Saccharomyces* também são utilizadas (Plaza-Diaz *et al.*, 2019).

Apesar de elencar vários benefícios à saúde, medicamentos à base deste princípio precisam de ensaios rigorosos para sua aprovação, devendo passar por agências de regulamentação específicas, como o FDA (Food and Drug Administration), principalmente por serem produtos destinados ao consumo humano. No entanto alguns alimentos como iogurtes, laticínios e derivados já atuam na microbiota intestinal e possuem diversos benefícios descritos na literatura, tais alimentos são conhecidos pelo termo “alimentos funcionais”, por conta da rica fauna microbiológica (Zólkiewicz *et al.*, 2020).

A adição de probióticos em filmes comestíveis pode afetar várias propriedades do filme, incluindo sua resistência à tração, módulo de Young, permeabilidade ao vapor de água (PVA), opacidade, espessura e solubilidade. Os estudos revisados apresentam uma variedade de resultados, dependendo dos probióticos utilizados, da matriz biopolimérica e das condições de fabricação e armazenamento (Sáez-Orviz; Rendueles; Díaz, 2023).

Em alguns trabalhos resultados indicam que a adição de probióticos pode levar a um aumento nos valores de PVA, uma diminuição significativa nos valores de resistência à tração e uma redução nos valores do módulo de Young. Por exemplo, Todhanakasem *et al.* (2022) relataram uma redução no módulo de Young e uma melhora na transmissão de luz em filmes à base de alginato de sódio e glicerol incorporados com *L. plantarum* (Todhanakasem *et al.*, 2022). Outros estudos, como o de Semwal, Ambatipudi e Navani (2022), observaram um ligeiro aumento na opacidade dos filmes e um aumento nos valores de PVA com a incorporação de bactérias probióticas (Semwal; Ambatipudi; Navani, 2022).

Sogut, Filiz e Seydim (2022) estudou filmes contendo uma cultura mista apresentavam maiores valores de espessura, enquanto Wardana *et al.* (2022) relatou uma redução na solubilidade dos filmes com a adição de probióticos. Além disso, Karimi *et al.* (2020) atribuíram a boa viabilidade do probiótico *L. plantarum* dentro da matriz à presença de nutrientes e agentes de sequestro de radicais livres, bem como à interação entre a polidextrose e os fosfolipídios da membrana bacteriana.

Shahrampour *et al.* (2020) desenvolveu filmes de alginato/pectina contendo *L. plantarum* e concluíram que a compatibilidade entre o microorganismo probiótico e os biopolímeros da matriz é um fator chave. Eles observaram que as células probióticas não modificaram a microestrutura dos filmes e que a adição de células probióticas melhorou parcialmente as propriedades mecânicas e a PVA.

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DE FILMES COMESTÍVEIS

A caracterização de filmes comestíveis é uma etapa essencial para avaliar sua adequação para aplicação em produtos alimentícios. Existem vários métodos analíticos que juntos desempenham um papel fundamental na obtenção de informações e características sobre esses materiais, garantindo sua eficácia e segurança.

A MEV vai além das limitações do microscópico convencional ao utilizar feixes de elétrons, possibilitando um aumento de até 300.000 vezes e obtendo informações detalhadas sobre a morfologia e estrutura dos filmes (Dedavid; Gomes; Machado, 2007). Isso é primordial para avaliar sua uniformidade e identificar potenciais imperfeições.

A difração de raios-X (DRX) é uma técnica que fornece as informações de estrutura cristalina, tamanho do cristal e espaçamento atômico nos filmes, possibilitando a análise de sua composição e grau de cristalinidade (Khan *et al.*, 2020). Esta análise permite estudar a composição química dos filmes e, dependendo do grau de cristalinidade, pode-se avaliar indiretamente características relacionadas as propriedades mecânicas do filme.

As propriedades ópticas, a espessura, a PVA, a solubilidade em água e a capacidade de barreira de oxigênio são parâmetros essenciais para determinar a adequação de filmes comestíveis em aplicações alimentícias (Brito *et al.*, 2019; Maran *et al.*, 2013; Orozco-Parra; Mejía; Villa, 2020). Esses parâmetros influenciam diretamente na conservação e vida útil dos alimentos, tornando essas análises essenciais.

A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) permite a identificação de grupos funcionais e compostos químicos presentes nos filmes, contribuindo para a compreensão de sua composição química e interações entre os componentes (Berthomieu; Hienerwadel, 2009). Isso é fundamental para a otimização dos materiais.

Por fim, a análise termogravimétrica (TGA) é utilizada para quantificar a perda de massa em função da temperatura, o que possibilita detectar transições de fase, transformações polimórficas e reações nos filmes (Saadatkahh *et al.*, 2019). Essa técnica contribui para a compreensão das propriedades termomecânicas dos materiais.

As análises citadas desempenham um papel fundamental na avaliação quantitativa e qualitativa de filmes comestíveis, fornecendo informações abrangentes sobre sua estrutura, composição e desempenho. Estas análises possibilitam o entendimento das mudanças na composição e como isto afeta as mais variadas propriedades do filme, bem como facilitando a comparação entre os mesmos e com os filmes convencionais.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

O desenvolvimento dos filmes comestíveis utilizou quatro prebióticos: fibra extraída e purificada do resíduo okará, obtido no Mercado Municipal de Poços de Caldas, pectina (Adicel), inulina (SweetMix) e  $\beta$ -glucana (Nutramax). Os agentes gelificantes foram amido (Synth) e CMC (Sigma) e o agente plastificante utilizado foi o glicerol (Anidrol). O micro-organismo selecionado como probiótico foi o *Lactobacillus Casei* (Rhodia) e seu crescimento foi realizado em caldo MRS (Millipore). Água Peptonada (Millipore) foi utilizada para purificação dos pellets e a contagem de colônias foi feita em ágar MRS (Millipore). Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas são de grau analítico.

#### 3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

##### 3.2.1 Extração, purificação e determinação do rendimento da fibra de okará

Inicialmente, a okará úmido foi seco em estufa a 105 °C por 24 horas. Após a secagem, o material foi macerado e peneirado usando uma peneira de 60 mesh. Para a extração das fibras solúveis e insolúveis, 25 g de okará seco foram dispersos em 500 mL de água destilada. O pH da suspensão foi ajustado para 4,5 utilizando uma solução de ácido clorídrico 0,1 N (Yoshii *et al.*, 1996). A suspensão foi aquecida a 80 °C sob agitação constante por 50 minutos e depois autoclavada por 20 minutos a 121 °C para aumentar a solubilidade das fibras. Após o aquecimento e autoclavagem, a fibra insolúvel contida na suspensão foi separada por filtração a vácuo e reservada.

A fase aquosa resultante da filtração foi levada a estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse período, o sólido resultante da secagem foi redissolvido em 200 mL de água destilada e o pH ajustado para 8,5, usando uma solução de NaOH 0,5 M (Yoshii *et al.*, 1996). A solução ajustada foi agitada à 80 °C por 30 minutos. Decorrido esse tempo, etanol 96% foi adicionado na proporção de 1:4 (solução/etanol) (v/v) para a precipitação da fibra solúvel, sob temperatura de 60 °C por 1 hora (Li *et al.*, 2023; Liang *et al.*, 2023). Após a precipitação a mistura foi centrifugada a 3000 rpm por 15 minutos e o precipitado foi lavado com etanol a 96%, em um béquer e centrifugado novamente. O sobrenadante aquoso foi submetido novamente ao

processo de secagem e precipitação, totalizando ao final do processo três precipitações.

O rendimento de fibra de okará foi obtido usando a mesma metodologia com algumas modificações. Um total de cinco extrações foram realizadas, cada uma com duração distinta do tempo de aquecimento. Para cada extração 5 g de okará seco e moído foram pesados e dispersos em 100 mL de água destilada. Em todas as extrações o pH foi ajustado para 4,5 usando ácido clorídrico 0,1 N e as suspensões foram aquecidas a 80 °C e mantidas sob agitação por períodos variando de 10 a 50 minutos, com um incremento de 10 minutos para cada extração subsequente, ou seja, a primeira extração teve um aquecimento de dez minutos, a segunda de 20 minutos e assim sucessivamente, totalizando 5 extrações, cada uma com um tempo de aquecimento distinto. Apenas a última extração foi, depois de finalizada a etapa de aquecimento, submetida ao processo de autoclavagem. Após as etapas de aquecimento e autoclavagem as suspensões foram resfriadas, filtradas a vácuo e o pH da fase líquida corrigido para 8,5 usando uma solução de NaOH 0,5 M (Yoshii *et al.*, 1996). Imediatamente após o ajuste de pH a fibra foi precipitada aquecendo-se e adicionando-se etanol, 96%, na proporção de 1:4 (v/v). A mistura foi agitada e a temperatura foi mantida a 60 °C por 1 hora. A solução foi então centrifugada a 3000 rpm por 15 minutos e a fibra resultante foi separada e lavada com etanol 96% (Li *et al.*, 2023; Liang *et al.*, 2023; Yoshii *et al.*, 1996). A fibra obtida foi seca em uma estufa com recirculação de ar a 105 °C por 24 horas. Para garantir uma purificação mais eficaz, o processo de solubilização e precipitação foi repetido duas vezes adicionais. As massas inicial e final de okará seco e a fibra resultante foram medidas para calcular o rendimento, conforme a equação 1.

$$R = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

Onde R é o rendimento,  $M_1$  é a massa seca inicial de okará, e  $M_2$  é a massa de fibra extraída.

### 3.2.2 Caracterização das fibras

#### 3.2.2.1 Difração de raios-X (DRX)

A análise por difração de raios-X foi realizada utilizando o instrumento Rigaku DMAX (Rigaku Corporation, Tóquio, Japão), alocado no Laboratório Multiusuários (Lamult) da



Unicamp, para a amostra de fibra de okará. Uma alíquota foi alocada no tubo especializado do instrumento, que foi calibrado para operar a uma tensão de tubo de 30 kV. A configuração foi projetada para cobrir uma faixa de varredura de 5° a 90°, garantindo uma investigação completa da estrutura cristalina da amostra (Dehankar; Mali; Kumar, 2023). A resolução da medição foi ajustada para um tamanho de passo de 0,01°, acoplada a um alvo fixo, para capturar padrões de difração detalhados (Vasile *et al.*, 2014). Para quantificar a cristalinidade da fibra dietética, empregou-se o software OriginPro 2024, que permitiu calcular o grau de cristalinidade comparando a integral da região cristalina com a área integral total sobre a faixa angular de 10-60° (Wu *et al.*, 2020).

### 3.2.2.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A análise por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi realizada utilizando o Espectrômetro Agilent Cary 630 FTIR (Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA) alocado no laboratório de materiais (LABMAT) da Unifal, campus Poços de Caldas. Os espectros de cada amostra foram obtidos inserindo-as no compartimento de exposição ao infravermelho e configurando o equipamento para realizar uma varredura de 600 cm<sup>-1</sup> a 4000 cm<sup>-1</sup>, à temperatura ambiente, com uma resolução de 1 cm<sup>-1</sup> (Yasmeen *et al.*, 2023).

### 3.2.2.3 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica foi realizada utilizando o Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb, Alemanha) alocado no laboratório de materiais (LABMAT) da Unifal campus Poços de Caldas. A amostra em pó foi colocada em um cadinho e inserida em um forno de aquecimento inicialmente ajustado para 28 °C, sendo posteriormente aquecida até 600 °C, à taxa de 10  $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$  (Alshehri *et al.*, 2024).

## 3.2.3 Preparação dos filmes pelo método *Casting*

A primeira etapa consistiu em preparar a matriz, composta por uma solução aquosa contendo o prebiótico (inulina,  $\beta$ -glucana, pectina ou fibra de okará), seguido pelo acréscimo de agente gelificante, CMC ou amido, e de glicerol. A matriz foi submetida ao aquecimento a

uma temperatura de 90°C sob agitação constante de 500 rpm por 60 min, para que ocorresse a gelatinização (Tabari, 2018). A seguir resfriou-se a matriz a temperatura ambiente (25°C) e corrigiu-se o pH para 6,0 utilizando ácido cítrico, 1 M, ou hidróxido de sódio, 0,5 M. A matriz foi autoclavada (121°C, 15 min), e posteriormente resfriada, durante 12 h para a temperatura ambiente (Singh *et al.*, 2019). Após esse período, a matriz foi inoculada com 5 ml do probiótico sob agitação em condições assépticas. Após a homogeneização, 25 g da matriz foram transferidas em placas de Petri estéreis. Por fim, as placas foram inseridas abertas em uma estufa de circulação forçada a 40 °C durante 24 horas para secagem e obtenção do filme.

As formulações foram aplicadas inicialmente à fibra de okará e, posteriormente, replicadas aos demais prebióticos.

A Tabela 2 apresenta as formulações realizadas com e sem o probiótico e suas respectivas nomenclaturas.

Tabela 2 – Nomenclaturas e respectivas formulações realizadas

<b>Filme</b>	<b>CMC (g)</b>	<b>Pectina (g)</b>	<b>Inulina (g)</b>	<b>β-glucana (g)</b>	<b>Fibra de okará (g)</b>	<b>Glicerol (g)</b>	<b>Probiótico</b>
FP	2,4	0,6	-	-	-	1,2	Não
FI.1	2,4	-	0,6	-	-	1,2	Não
FI.2	2,4	-	0,6	-	-	1,2	Sim
FB.1	2,4	-	-	0,6	-	1,2	Não
FB.2	2,4	-	-	0,6	-	1,2	Sim
FO.1	2,4	-	-	-	0,6	1,2	Não
FO.2	2,4	-	-	-	0,6	1,2	Sim

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FI.1– Filme de inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de β-glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de okará sem probiótico;

FI.2– Filme de inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de β-glucana com probiótico;

FO.2 – Filme de okará com probiótico.

### 3.2.4 Preparação do inóculo da cultura de *Lactobacillus Casei*

A preparação do inóculo contendo o probiótico deve anteceder o processo de *casting*, visto que demanda 48 horas de preparação. A fim de avaliar a viabilidade no produto (filme), o procedimento de inoculação foi realizado em condições assépticas, com todo o material

esterilizado previamente (121 °C, 15 min). O primeiro passo consistiu na preparação de 400 ml caldo MRS para inoculação, seguindo as instruções do fabricante, sendo 20,88 g do meio de cultura foram dispersos em 400 ml de água Milli-Q. O próximo passo consistiu em inocular a cultura do probiótico *Lactobacillus casei* no caldo MRS com auxílio de uma espátula uma alíquota do probiótico liofilizado foi transferida assepticamente para o caldo. O inóculo foi incubado em estufa a 37 °C por 48 h para o crescimento dos pellets de probiótico. Decorrido 48 h, o caldo foi centrifugado a 6000 rpm por 15 min, em uma centrífuga de solo refrigerada (Beckman Coulter Avanti J-26 XPI), com controle de temperatura a 20°C para evitar morte celular por aquecimento (Adzuan *et al.*, 2022). Os pellets foram lavados com uma solução de água peptonada 0,1%, m/m e centrifugados novamente nas mesmas condições (6000 rpm, 15 min). Os pellets obtidos foram ressuspensos em 200 ml de água peptonada 0,1% e armazenados a 4°C em geladeira por 24 h (Hernández-Carranza *et al.*, 2024).

### 3.2.5 Teste de viabilidade celular nos filmes

Após o processo de moldagem e secagem, os filmes foram desmoldados e imediatamente submetidos à análise de viabilidade em condições assépticas. O primeiro passo envolveu a realização de diluições seriadas do inóculo inicial, utilizando água peptonada 0,1% (p/v) como diluente. Diluições de  $10^{-6}$  a  $10^{-10}$  foram realizadas, em triplicata, e plaqueadas em placas de Petri contendo 20 ml de ágar MRS, empregando a técnica de sobrecamada, para assegurar a contagem inicial de unidades formadoras de colônias (UFC) (Coimbra *et al.*, 2023; Kusnadi *et al.*, 2022). As placas foram então incubadas em posição invertida a 37 °C por 48 horas, após o que foi realizada a contagem de colônias. Simultaneamente, a contagem de UFC para cada filme foi determinada. O filme desmoldado foi dissolvido em 10 ml de água peptonada 0,1% (p/v) e submetido a agitação magnética por uma hora à temperatura ambiente. Diluições seriadas subsequentes foram preparadas, e diluições de  $10^{-4}$  a  $10^{-7}$  foram realizadas, em triplicata, e plaqueadas em placas de Petri contendo 20 ml de ágar MRS, usando a técnica de sobrecamada. As placas foram então incubadas invertidas a 37 °C por 48 horas antes da contagem de colônias, que forneceu a contagem de UFC por filme (Huang *et al.*, 2024). As unidades formadoras de colônias (UFC) teóricas presentes no filme, com base no inóculo inicial, podem ser determinadas pela equação 2.

$$UFC_{in} = \frac{UFC_1 \times v_1}{v_s} \quad (2)$$

Onde  $UFC_{in}$  representa a quantidade de unidades formadoras de colônia inicial com base na contagem de colônias do inóculo,  $UFC_I$  é a quantidade de unidades formadoras de colônia por mL de inóculo,  $v_I$  é o volume de inoculação e  $v_s$  é o volume de solução na qual o filme foi disperso. A partir da  $UFC_{in}$  e da contagem média real de colônias dos filmes, é possível calcular a viabilidade pela equação 3.

$$V_f(\%) = \frac{UFC_r}{UFC_t} \times 100 \quad (3)$$

Onde  $V_f(\%)$  é a viabilidade em porcentagem  $UFC_r$  é a contagem de unidades formadoras de colônia real e  $UFC_t$  é a contagem de unidades formadoras de colônias teórica inicial.

### 3.3 METODOLOGIA ANALÍTICA

#### 3.3.1 Espessura

A determinação da espessura foi realizada usando um paquímetro MTX 150, no laboratório de apoio central (LAC) da Unicamp. Foram registradas cinco medições separadas em locais distintos ao longo do filme, e a média foi calculada para estabelecer a espessura do filme (Gumilar; Andiaty; Wulandari, 2024).

#### 3.3.2 Morfologia

A MEV foi realizada utilizando o modelo Leo 440i da LEO Electron Microscopy (LEO Electron Microscopy Inc., agora parte da Carl Zeiss NTS GmbH, Oberkochen, Alemanha), presente no laboratório LRAC da Unicamp. As amostras de filme foram cortadas de acordo com o modelo do equipamento e, em seguida, revestidas por pulverização com uma mistura de ouro/paládio por 45 segundos a uma corrente de 20 mA para análise superficial. Para análise de seção transversal, os filmes foram expostos a temperaturas criogênicas por imersão em nitrogênio líquido, fraturados e revestidos por pulverização com uma mistura de ouro/paládio por 45 segundos, a uma corrente de 20 mA, a seguir os filmes foram inseridos no modelo do equipamento. A análise foi realizada no microscópio com ampliações entre 50 e 1.000 vezes,

utilizando uma tensão de 10 kV (Karim; Musa; Lazim, 2023).

### 3.3.3 Coloração

A medição de cor de cada filme foi obtida usando um colorímetro Konica Minolta, modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) no laboratório de apoio central (LAC) na Unicamp. Os filmes não moldados foram submetidos diretamente à análise, utilizando papel branco como referência. Quatro medições foram realizadas em diferentes pontos do filme, e a média para cada parâmetro foi calculada e usada como representativa da cor de cada filme (Guadalupe *et al.*, 2023). O colorímetro utilizado fornece valores na escala Lab. A luminosidade é representada pela escala  $L^*$ , onde 0 corresponde a preto e 100 a branco. Os valores atribuídos ao componente  $a^*$  indicam a variação entre azul-esverdeado quando negativo e vermelho-arroxeadado quando positivo. Por sua vez, os valores  $b^*$  determinam a variação entre azulado e amarelado, com valores negativos para tons mais azulados e valores positivos para tons mais amarelados. Os valores dos parâmetros Lab foram convertidos para uma escala cilíndrica usando as equações 4 e 5, que utilizam os valores LCh, com L representando a luminosidade,  $C^*$  o parâmetro croma e  $h$  o ângulo de matiz.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

Onde  $C^*$  é o parâmetro croma da escala LCh,  $a^*$  e  $b^*$  são os parâmetros relacionados aos eixos vermelho-verde e azul-amarelo na escala Lab, e  $h$  é o ângulo de matiz.

Os parâmetros obtidos podem ser utilizados para calcular diferenças de cor. Embora existam várias equações disponíveis para esse fim, destacam-se duas escalas principais: o índice de amarelamento (YI), equação 6, e o índice de marrom (BI), equações 6 e 7 (Pathare; Opara; Al-Said, 2012).

$$YI = \frac{142.86 \times C^* \times \sin(h)}{L^*} \quad (6)$$

$$BI = 100 \times \left( \frac{X - 0.31}{0.17} \right) \quad (7)$$

Onde:

$$X = \frac{(C^* \times \cos(h) + 1.75 \times L^*)}{(5.645 \times L + C^* \times \cos(h) - 3.012 \times C^* \times \sin(h))} \quad (8)$$

Onde  $C^*$  é o parâmetro croma,  $h$  é o ângulo de matiz,  $L^*$  é a luminância, todos da escala LCh, enquanto YI é o índice de amarelamento e BI é o índice de marrom.

### 3.3.4 Propriedades ópticas

As análises de transmitância e absorvância de luz foram realizadas no Espectrofotômetro marca Beckman Coulter, modelo DU730 alocado no Laboratório de apoio central (LAC) da Unicamp. As amostras foram preparadas cortando-se o filme, já seco e solidificado, em seções de 40 mm x 10 mm e inserindo-as em uma cubeta, voltadas para a face em que o feixe de luz do equipamento é disparado. A cubeta foi inserida no espectrofotômetro, regulado previamente para realizar uma varredura de 200 a 900 nm, no qual foi possível obter os valores de transmitância e absorvância. Os perfis de transmitância revelam o comportamento dos filmes quando submetidos aos comprimentos de onda do ultravioleta, visível e infravermelho, enquanto a absorvância mede indiretamente a opacidade dos filmes, através da equação 9 (Shanbhag *et al.*, 2023).

$$Op = \frac{Abs_{550}}{e} \quad (9)$$

Onde  $Op$  é a opacidade,  $Abs_{550}$  é a absorvância da amostra a 550 nm e  $e$  é a espessura da amostra.

### 3.3.5 Difração de raios-X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA)

Para determinar a cristalinidade dos filmes, os grupos funcionais e a estabilidade térmica, foram empregadas três técnicas: XRD, FTIR e TGA. As análises de difração de raios-X (DRX) foram realizadas usando o instrumento Rigaku DMAX (Rigaku Corporation, Tóquio, Japão). Amostras de filmes comestíveis foram colocadas no tubo especializado do instrumento, operando a uma tensão do tubo de 30 kV. A faixa de varredura cobriu de 5° a 90°, com uma resolução de medição de 0,01° de tamanho de passo e um alvo fixo (Dehankar; Mali; Kumar,

2023; Vasile *et al.*, 2014). Para quantificar a cristalinidade dos filmes, o grau de cristalinidade foi calculado usando o software OriginPro 2024, comparando a integral da região cristalina com a área integral total no intervalo angular de 10-60° (Wu *et al.*, 2020). A Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi realizada usando o Espectrômetro FTIR Agilent Cary 630 (Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia, EUA). Os espectros de cada amostra foram obtidos inserindo-as no compartimento de exposição ao infravermelho, varredura de 600 cm<sup>-1</sup> a 4000 cm<sup>-1</sup> a temperatura ambiente, com uma resolução de 1 cm<sup>-1</sup> (Maciel; Yoshida; Franco, 2015). A análise termogravimétrica (TGA) foi conduzida usando o modelo Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb, Alemanha). Amostras de filmes, cortadas em pedaços de 20 mm x 20 mm, foram colocadas em uma cápsula e aquecidas em um forno de 28 °C a 600 °C a uma taxa de 10  $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$  (Abedi; Sayadi; Oliyaei, 2024)

### 3.3.6 Solubilidade em água

A solubilidade em água (S%) foi determinada secando o filme, com dimensões de 20 mm × 20 mm, em um forno pré-aquecido a 105 °C até que a massa permanecesse constante (Ratna *et al.*, 2023). Após a etapa de secagem, o filme foi imerso em 50 mL de água destilada à temperatura ambiente por 1 hora, com agitação constante. Após esse tempo, os filmes foram secos novamente sob as mesmas condições iniciais e pesados. A solubilidade pode ser obtida usando a equação 10.

$$S (\%) = 100 \times \frac{M_2}{M_1} \quad (10)$$

Onde  $M_1$  é a massa inicial seca de filme e  $M_2$  é a massa final seca do filme.

### 3.3.7 PVA

O experimento de PVA teve início adicionando-se cloreto de cálcio anidro (0% de umidade relativa) a um frasco *vial* de 40 ml com tampa de rosca seccionada, ou seja, contendo um furo, que foi coberto com diferentes filmes (Ekrami; Emam-Djomeh, 2013). Os recipientes foram armazenados em um dessecador contendo água (100% de umidade relativa) a 25 °C por 24 h. A massa do frasco foi medida antes de inseri-lo no dessecador (massa inicial), e medições periódicas foram realizadas com um intervalo de 1 hora entre cada medição, durante as primeiras 6 h, e então uma medição final foi realizada após 24 h. A taxa de transmissão de vapor

de água (RTVA) foi obtida a partir da inclinação da linha de regressão linear do gráfico da diferença de massa (g) ao longo do tempo (s), dividida pela área exposta do filme (m<sup>2</sup>). A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi então calculada a partir da equação 11.

$$PVA = \frac{RTVA \times e}{\Delta P} \quad (11)$$

Onde PVA é a permeabilidade a vapor d'água  $\left(\frac{g \times m}{m^2 \times s \times Pa}\right)$ , RTVA é a razão de transmissão de vapor d'água em  $\frac{g}{m^2 \times s}$ , e é a espessura em metros e  $\Delta P$  é a diferença de pressão entre a parte interna e externa do filme, de 2642 Pa (Sobral *et al.*, 2001).

### 3.3.8 Propriedades mecânicas

As formulações dos filmes passaram por um processo padrão de acondicionamento a 50% de umidade relativa e uma temperatura ambiente de 25°C durante um período de 48 h. As amostras foram preparadas com dimensões precisas de 21 mm de largura por 100 mm de comprimento. Após essa fase de acondicionamento, as amostras foram submetidas a um teste de resistência à tração para avaliar seu comportamento mecânico, especificamente medindo a relação entre tensão de tração e alongamento. Esta avaliação foi realizada em um Texturômetro, modelo TAXTplus (TA Instruments, New Castle, EUA), no laboratório de ensaios mecânicos (LEM) presente na Unicamp. O dispositivo foi equipado com grips de tração e o teste foi realizado a uma taxa de extensão de 1 mm/s, utilizando uma configuração de comprimento de escala de 50 mm (Mir; Riar; Singh, 2023).

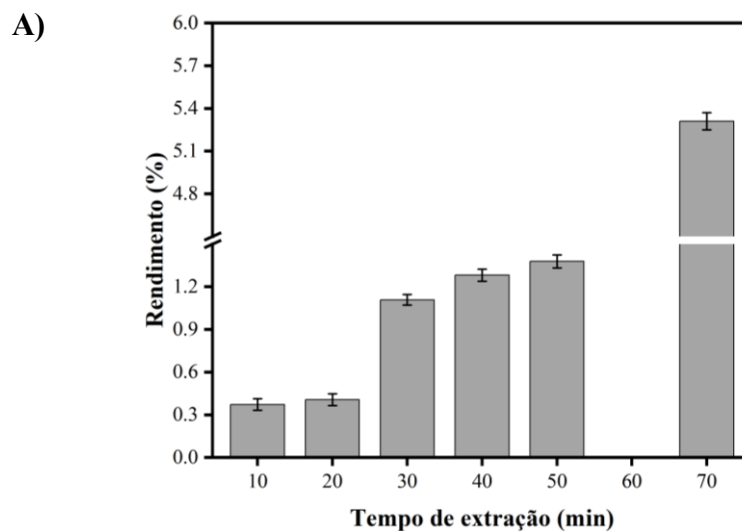


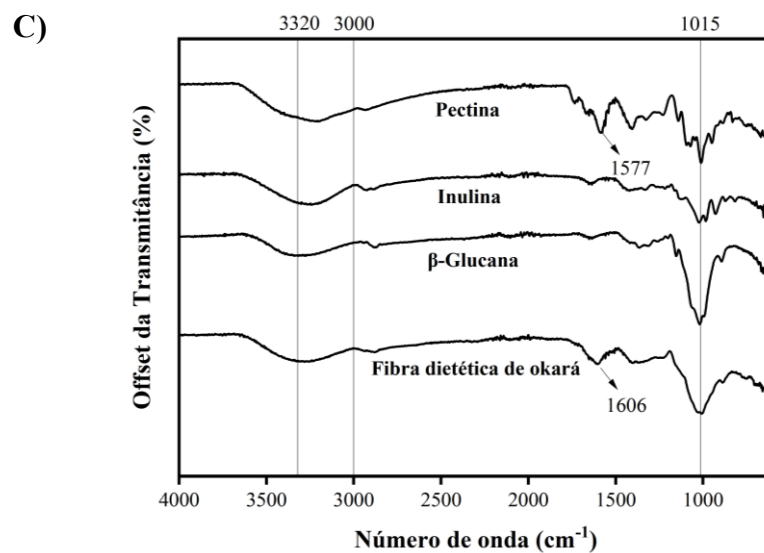
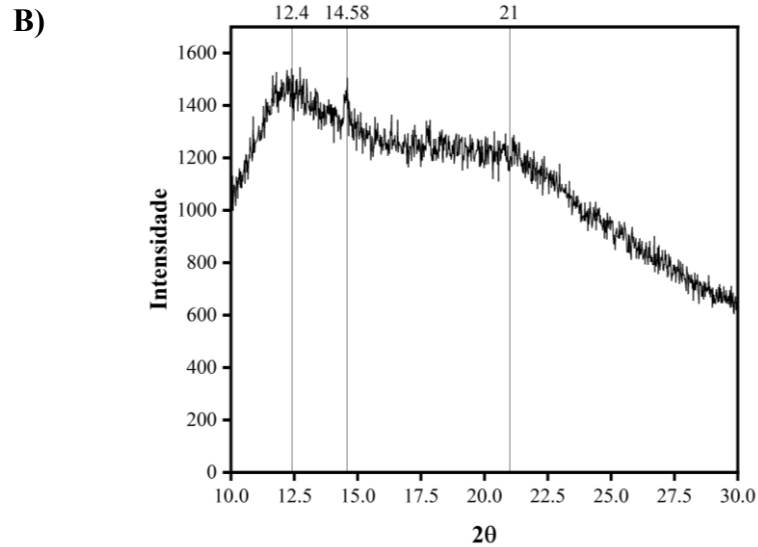
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DIETÉTICA SOLÚVEL DE OKARÁ

O rendimento da fibra de okará (FO) é ilustrado na Figura 2A, que demonstra a relação entre o tempo de extração e o rendimento, expresso como a massa de fibra recuperada por massa de okará seco. A Figura 2A mostra que o processo de autoclavagem aumentou significativamente o rendimento, alcançando um aumento de três vezes em comparação com outros tempos de extração, com um rendimento de 5,31%. Este aumento é atribuído à transformação de fibras insolúveis em solúveis e ao aumento da solubilidade das fibras sob condições de temperatura e pressão mais elevadas, juntamente com a intensificação da hidrólise ácida (Asghar *et al.*, 2023). O teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) indicou uma diferença significativa, estatisticamente, entre o tratamento incluindo o processo de autoclavagem se comparado aos demais, justificando o uso da autoclavagem para a extração de fibras.

Figura 2 – Ensaios de rendimento e caracterização das fibras





Fonte: Autor (2024).

Legenda: A) Rendimento da extração da fibra dietética solúvel por tempo;

B) Perfil de DRX obtido para FO;

C) FTIR para pectina, inulina, β-glucana e FO.

Resultados similares foram relatados no processo de extração da fibra com tratamento enzimático, que alcançou um rendimento de 5,13%, em contraste com a combinação dos métodos de cavitação em conjunto com tratamento enzimático, que obtiveram rendimento de 18,21% (Tian *et al.*, 2023). Outros estudos empregaram técnicas de explosão a vapor, alcançando altos rendimentos devido à conversão de fibras insolúveis em solúveis, chegando a um rendimento de 21,74%, enquanto o conteúdo inicial de fibras solúveis era de apenas 3,38%, apesar da alta conversão este procedimento ocasionou o escurecimento da fibra de okará (Li *et al.*, 2023). Embora o método de hidrólise ácida com autoclavagem apresente rendimentos inferiores aos estudos citados, que possuem métodos mais elaborados, sua simplicidade e

eficácia fornecem um rendimento satisfatório em comparação com extrações sem nenhum tratamento.

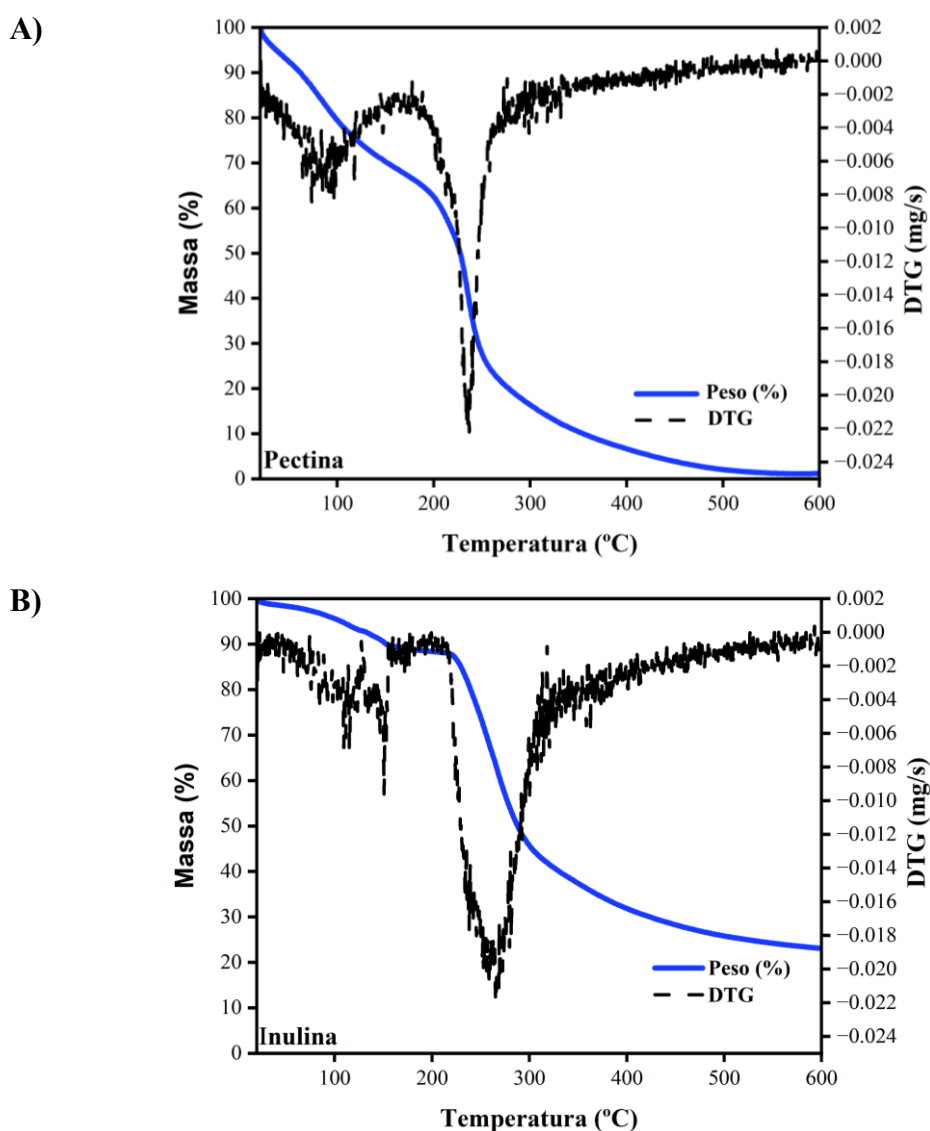
A partir da análise de difração de raios X (XRD), mostrada na Figura 3B, foi possível calcular o grau de cristalinidade e analisar a estrutura das fibras. O nível de cristalinidade calculado para a FO foi de 35,29%, o que é consistente com os achados previamente relatados na literatura (Wu *et al.*, 2020). Os picos a 12,4° e 14,58° indicam algum grau de cristalinidade, enquanto o pico a 21° está associado à estrutura amorfa da fibra (Amjadi *et al.*, 2023).

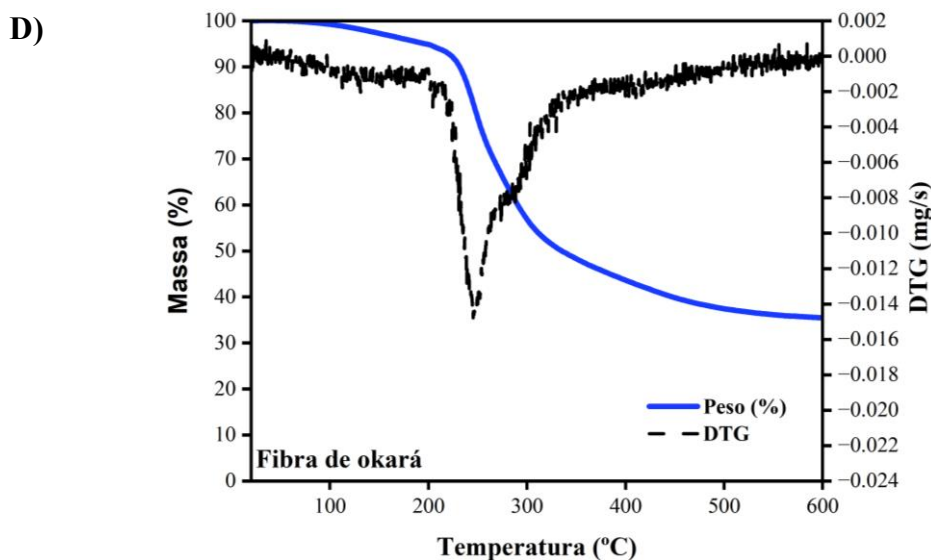
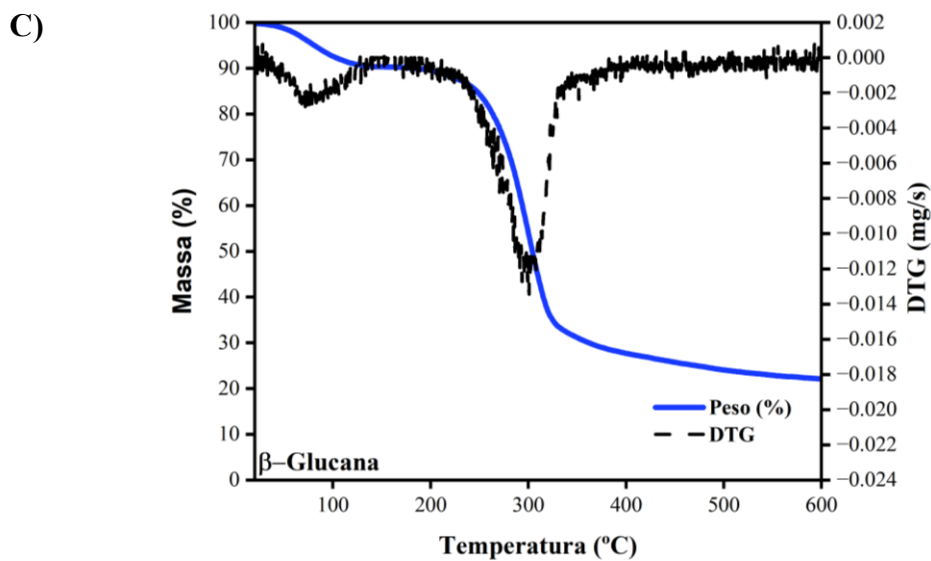
A análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) demonstrou os principais grupos funcionais de cada fibra. Os picos observados nos espectros (Figura 3C) correspondem a grupos funcionais característicos de polissacarídeos, confirmando a presença dessas estruturas em todas as amostras de fibras analisadas. Os picos iniciais na faixa de 3000 a 3500  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídos às vibrações das ligações -OH presentes nos polissacarídeos, enquanto as bandas de 2900-3000  $\text{cm}^{-1}$  correspondem à absorção das ligações C-H (Yasmeen *et al.*, 2023). Bandas ao redor de 1600  $\text{cm}^{-1}$  estão relacionadas ao grau de esterificação, especificamente, o pico próximo a 1594  $\text{cm}^{-1}$  está associado à assimetria do grupo -COO<sup>-</sup> (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). A banda ao redor de 1415  $\text{cm}^{-1}$  está ligada aos grupos metil -CH<sub>2</sub>, e os picos em 1330 e 1236  $\text{cm}^{-1}$  indicam o estiramento dos grupos -OH e -CH<sub>3</sub>CO, respectivamente (Jong; Abdullah; Muhammad, 2023). Bandas abaixo de 1200  $\text{cm}^{-1}$  são intrínsecas a cada tipo de polissacarídeo e podem levar a interpretações variadas devido ao seu número e sobreposição. Os picos entre 1140 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  estão associados a monossacarídeos como arabinose, xilose e galactose presentes em cada tipo de fibra (Jong; Abdullah; Muhammad, 2023). Um aumento na banda ao redor de 1022  $\text{cm}^{-1}$  é observado para a fibra  $\beta$ -glucana devido à abundância de ligações C-O-C conectando as cadeias e suas ramificações, segundo Sadiq e Mousa (2024), o que não ocorre tão intensamente nas cadeias de pectina e inulina. No entanto, no okará, esse pico também é proeminente devido à presença de anéis de açúcar em sua composição (Li *et al.*, 2023). Em suma, os picos identificados são típicos de polissacarídeos, e o padrão observado para a fibra de okará demonstra que o método de extração, embora simples, foi eficaz em manter a pureza da fibra.

Os perfis de TGA exibem duas principais etapas de perda de água. A primeira etapa está relacionada à perda de umidade da água livre e cristalina, ocorrendo entre temperaturas de 35 °C e 90 °C, com perdas de massa de 18%, 4%, 6% e 0,5% para pectina (Figura 3A), inulina (Figura 3B),  $\beta$ -glucana (Figura 3C) e FO (Figura 3D), respectivamente (Bhatia *et al.*, 2023). A segunda etapa, que ocorre entre 90°C e 150°, refere-se à perda de água ligada, com perdas de

massa de 12%, 6%, 4% e 3% (Perinelli *et al.*, 2023). Há uma diferença no teor de umidade entre as fibras devido às suas propriedades higroscópicas, o que leva a graus variados de absorção de água e, portanto, altera o perfil de degradação térmica para cada uma. A próxima etapa do perfil está relacionada com degradação térmica das fibras, que ocorre a 240 °C para pectina, 220°C para inulina, 247°C para  $\beta$ -glucana e 246°C para FO, respectivamente. Esses achados estão consistentes com aqueles relatados na literatura científica (Leone *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2023; Wani; Uppaluri, 2023; Zhao *et al.*, 2020).

Figura 3 – Perfil de estabilidade térmica





Fonte: Autor (2024).

Legenda: A) Pectina;

B) Inulina;

C) β-glicana;

D) FO.

## 4.2 PREPARAÇÃO DO INÓCULO

A inoculação e crescimento do probiótico *Lactobacillus Casei* esta ilustrada na Figura 4, que demonstra o caldo MRS Broth após o período de incubação. É possível notar o depósito de probiótico no fundo do frasco o que indica que a etapa de crescimento do inóculo ocorreu com sucesso.

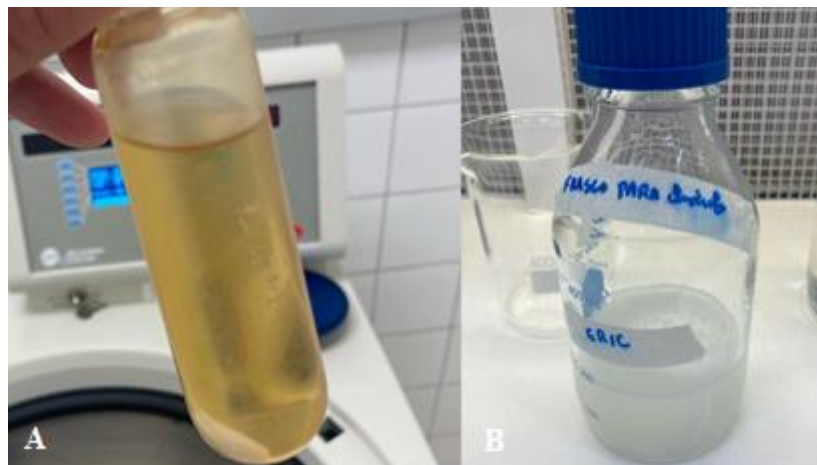
Figura 4 – Caldo MRS Broth após o período de incubação



Fonte: Autor (2024).

Após a agitação e centrifugação foram obtidos os pellets de probiótico, conforme demonstra a Figura 5A. Os pellets foram suspensos em uma solução de água peptonada 0,1 % (Figura 5B), finalizando a etapa de preparo do inóculo.

Figura 5 – Pellets de probiótico e solução de inóculo final



Fonte: Autor (2024).

Legenda: A – Pellet de probiótico centrifugado;

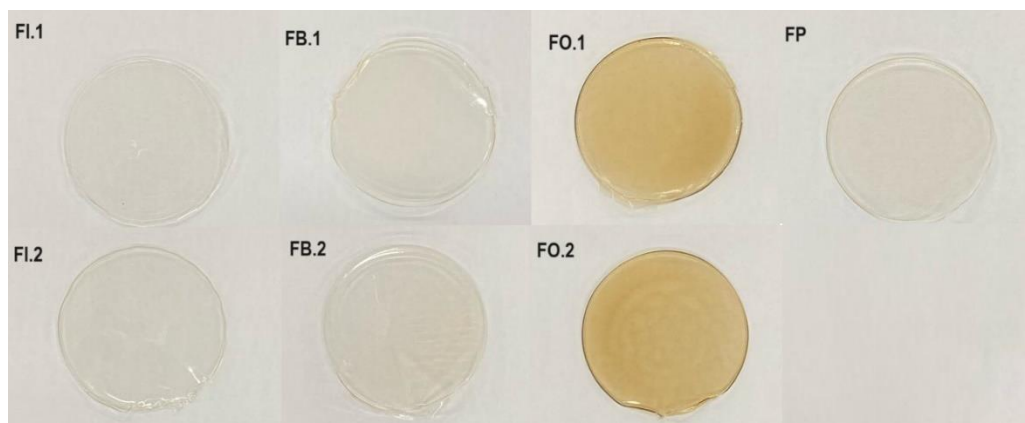
B – Solução de probiótico em suspensão de água peptonada.

A suspensão foi armazenada a 4°C durante 24 h e depois inoculada nos filmes, apresentando uma concentração inicial de  $3,13 \times 10^{10} \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$  e  $5,10 \times 10^8 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$ . Esta diferença é considerável e provavelmente ocorreu devido a diminuição de substrato para o crescimento do microrganismo, no entanto a viabilidade não é afetada uma vez que considera somente a taxa de sobrevivência em comparação com o inóculo inicial.

### 4.3 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE *CASTING*

A técnica de *casting* aplicada com os reagentes nas proporções descritas na seção 3.2.2, para todas as fibras, resultou em um bom desmolde, sem características vítreas (como fissuras ou craquelamento) e exibiu boa homogeneidade, conforme demonstrado na Figura 6. Estas são características fundamentais e desejadas em filmes comestíveis (Wang, S. *et al.*, 2024). A Figura 6 ilustra distintamente o amarelamento do filme contendo FO, atribuível aos compostos da reação de Maillard presentes na fibra. Esse fenômeno de amarelamento surge porque o amido presente no okará não sofreu hidrólise enzimática, levando à sua precipitação com a fibra (Liang *et al.*, 2023). Adicionalmente, parte da fibra de okará insolúvel provavelmente tornou-se solúvel, contribuindo para o escurecimento da fibra (Li *et al.*, 2023). Apesar da descoloração, o filme demonstra boa homogeneidade, flexibilidade e facilidade de desmolde, comparável aos outros filmes.

Figura 6 – Filmes resultantes do *casting*



Fonte: Autor (2024).

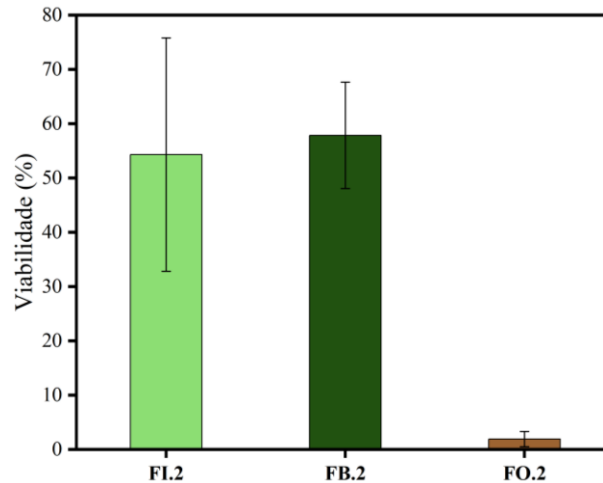
Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1– Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2– Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico;  
 FO.2 – Filme de okará com probiótico.

### 4.4 VIABILIDADE

Os filmes de inulina,  $\beta$ -glucana e okará foram inoculados, sendo a pectina excluída deste ensaio devido a baixa viabilidade em estudos envolvendo probióticos. Os testes foram realizados em quadruplicata, sendo a primeira duplicata inoculada com 5 ml de solução mãe,

contendo  $3,13 \times 10^{10} \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$  e a segunda duplicata com 6 ml de solução mãe, contendo  $5,10 \times 10^8 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$ . Os valores contendo a viabilidade estão devidamente dispostos na Figura 7.

Figura 7 – Viabilidade dos filmes com probiótico



Fonte: Autor (2024).

Legenda: FI.2– Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico;  
 FO.2 – Filme de okará com probiótico.

Os ensaios realizados foram feitos em quadruplicada pois o primeiro inóculo, que foi utilizado para inocular a primeira duplicata, forneceu uma viabilidade consistente com a encontrada na literatura somente para uma amostra, a FI.2, permanecendo com valores menores que 15% para os demais filmes, desta maneira fez-se necessário repetir o processo de inoculação mais de uma vez, para obter valores de viabilidade consistentes para os demais filmes (Orozco-Parra; Mejía; Villa, 2020). Isto pode ter ocorrido devido a diversos fatores dos quais se destacam: injúria da cultura, quando está enfraquecida devido ao tempo de armazenamento, variações nas temperaturas da estufa, podendo ter pontos quentes que enfraqueceram as colônias, e má solubilização do filme, antes que a alíquota fosse retirada para inocular o MRS Ágar. Desta forma a segunda duplicata foi realizada e forneceu valores consistentes para  $\beta$ -glucana, sendo que as demais permaneceram com uma viabilidade inferior a 2% (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). A hipótese mais provável é de que um dos fatores já mencionados propiciou a inibição do crescimento adequado das culturas.

Estatisticamente, através do teste de Tukey, presente na Tabela 4, APÊNDICE A, não se pode concluir de forma significativa entre a  $\beta$ -glucana e inulina, para  $p < 0,05$ , qual fibra teve um desempenho superior quanto a viabilidade. Entretanto todos os valores de viabilidade para



a fibra de okará foram menores se comparados aos valores obtidos para as outras fibras, o que sugere fortemente que a fibra de okará obtida possua compostos inibidores, podendo ser fruto da reação de Maillard (Trang *et al.*, 2013). Como o filme de fibra de okará com probiótico não apresentou viabilidade significativa este foi excluído dos demais ensaios, por não servir à proposta inicial da pesquisa, não sendo caracterizado físico-quimicamente.

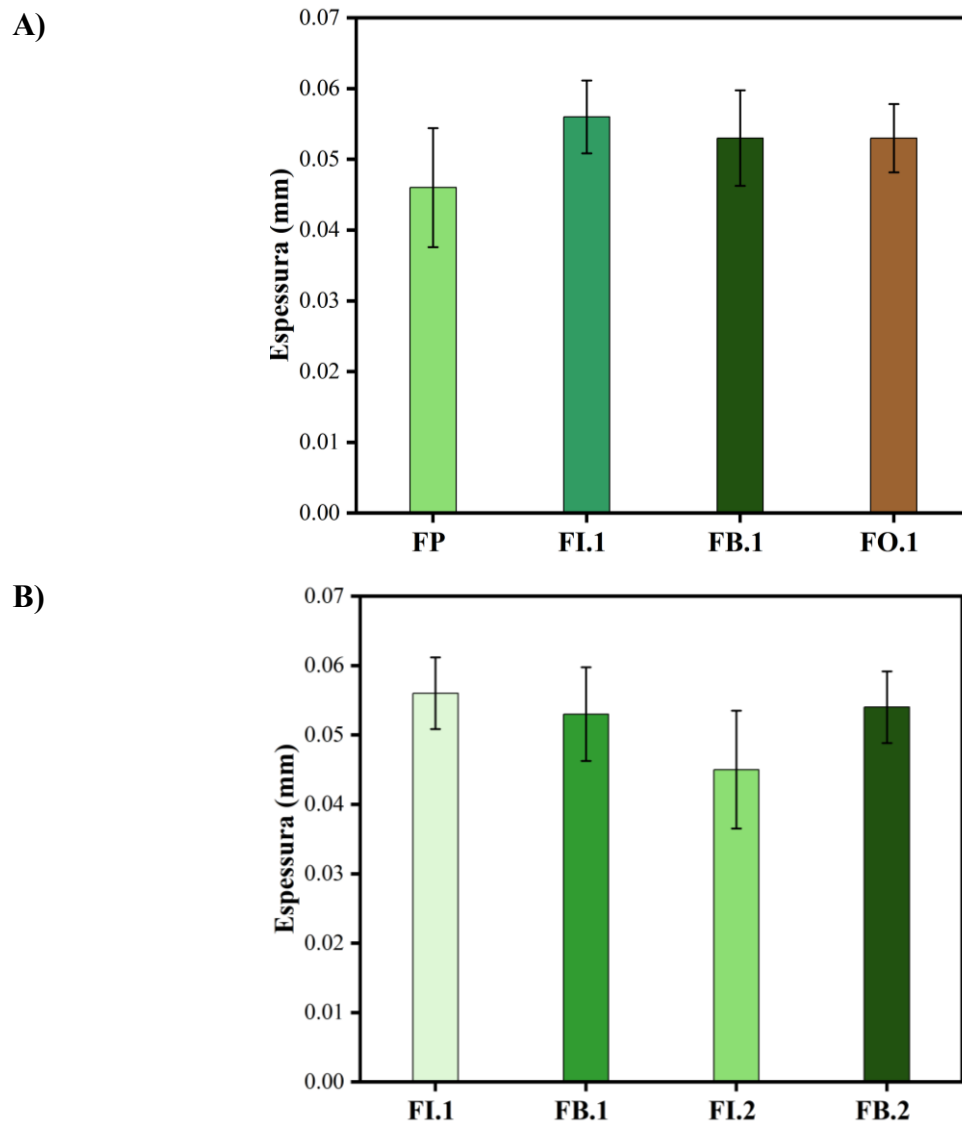
#### 4.5 ESPESSURA

As espessuras encontradas para os filmes foram de  $0,046 \pm 0,006$  mm,  $0,056 \pm 0,0005$  mm,  $0,053 \pm 0,003$  mm,  $0,053 \pm 0,003$  mm,  $0,045 \pm 0,009$  mm e  $0,054 \pm 0,005$  mm para os filmes de pectina, inulina,  $\beta$ -glucana, FO, inulina inoculada e  $\beta$ -glucana inoculada, respectivamente. Não foram detectadas diferenças significativas entre as espessuras dos filmes ( $p < 0,05$ ). A espessura média de todos os filmes foi de  $0,051 \pm 0,005$  mm, que é menor do que as espessuras relatadas na maioria dos estudos sobre filmes comestíveis, isto está relacionado principalmente a ausência de componentes apolares no filme, como óleos, o que diminui consideravelmente a espessura do filme, cerca de 30 % (Kweon; Han, 2023; Linares-Castañeda *et al.*, 2023; Putri *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2021).

No entanto, em trabalhos que não utilizam componentes apolares, como em Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2023), que desenvolveu filmes de  $\beta$ -glucana e inulina para carregamento de *Lactobacillus acidophilus*, a média de espessura dos filmes foi de 0,05 mm, muito próxima da descrita neste trabalho. Em outro trabalho foram desenvolvidos filmes simbióticos com alginato e whey protein, foram utilizadas soluções contendo concentrações de gelificante e prebiótico de 6% (m/v) e 10 % (m/v), o que é o dobro da concentração utilizada neste trabalho, logo a espessura média deste trabalho foi o dobro, 0,12 mm, mostrando que a concentração de agente gelificante e prebióticos estão intimamente ligados com a espessura final dos filmes (Pereira *et al.*, 2019).

Os dados de espessura média dos filmes estão devidamente dispostos na Figura 8A, para os filmes sem inoculação e Figura 8B, para os filmes inoculados. A análise de variância ANOVA com única variável, de repetição e  $p < 0,05$ , foi aplicada juntamente com o teste de Tukey, presente na Tabela 5, APÊNDICE A, e nenhuma diferença significativa foi observada.

Figura 8 – Espessura das diferentes formulações dos filmes



Fonte: Autor (2024).

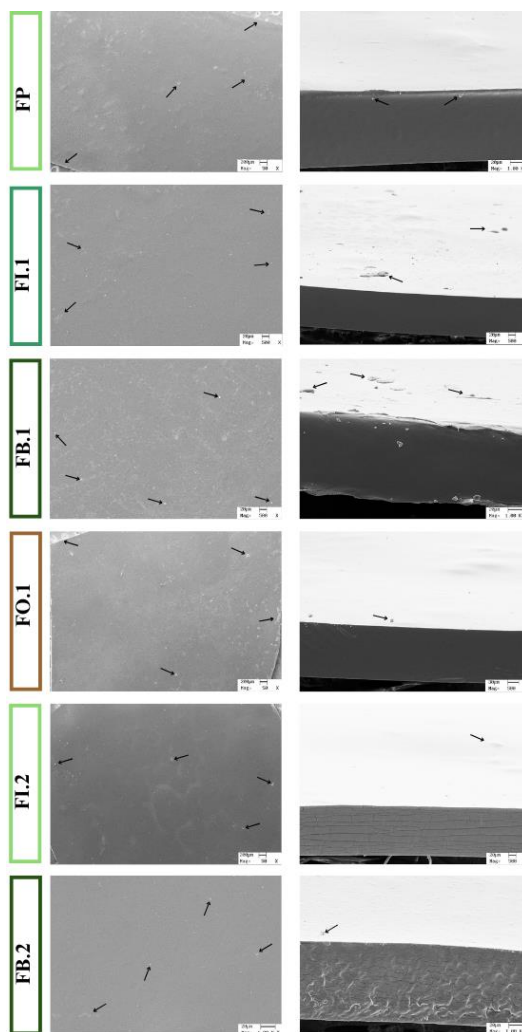
Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1 – Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2 – Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

#### 4.6 MORFOLOGIA

A análise realizada utilizando MEV, conforme ilustrado na Figura 9, revelou que a superfície dos filmes exibiu alta homogeneidade, caracterizada por uma rugosidade mínima e a ausência de estruturas cristalinas ou bolhas. A análise em corte na transversal demonstrou um

filme intacto sem bolhas, fissuras ou presença de cristais. Além disso, a amostra apresenta baixa rugosidade e alta homogeneidade, confirmando a eficiência da técnica de *casting* empregada. A presença de *L. casei* não alterou a microestrutura dos filmes na concentração que foi empregada.

Figura 9 - MEV para superfície e seção transversal dos filmes



Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1 – Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2 – Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Estudos correlatos, como o de Sadeghi-Varkani, Emam-Djomeh e Askari (2018), também observaram uma superfície lisa em filmes de mucilagem de sementes de Balangu devido à distribuição homogênea dos componentes formadores do filme. Além disso, a incorporação de bactérias, como *L. fermentum* e *L. brevis*, em filmes de caseinato de sódio,

pode levar a uma superfície menos uniforme devido à interrupção das interações intermoleculares (Piermaria *et al.*, 2015; Soukoulis *et al.*, 2017; Ye *et al.*, 2018). No entanto, em nos filmes contendo probiótico deste estudo, a presença de *L. casei* não parece influenciar a uniformidade da superfície.

#### 4.7 COLORAÇÃO

A Tabela 3 apresenta os parâmetros da escala L\*C\*h para todos os filmes estudados. A incorporação de diferentes fibras alimentares na formulação do filme de CMC alterou os parâmetros C\*, h, YI e BI ( $p < 0,05$ ) dos filmes comestíveis.

O parâmetro L\* indicou diferenças entre todos os filmes, exceto na comparação entre os filmes de inulina e  $\beta$ -glucana. Embora tenham ocorrido variações de cor em todos os filmes, o filme de fibra de okará destacou-se significativamente, mostrando uma diferença cromática cinco vezes maior e valores de BI e YI dez vezes mais altos. Portanto, pode-se concluir que este filme exibe características de amarelamento e escurecimento marcadamente distintas em comparação com os outros, provavelmente devido aos compostos resultantes da reação de Maillard.

A partir do teste de Tukey e análise ANOVA com repetições,  $p < 0,05$ , foi possível constatar que não houve nenhuma mudança significativa no parâmetro L\* entre os filmes, permanecendo com uma luminosidade acima de 85, próxima do branco.

O parâmetro de coloração croma, sofreu uma ligeira mudança permanecendo significativamente distinto entre os filmes sem probiótico e com probiótico. De forma análoga o YI e BI também sofreram mudanças com a adição do *L. casei* o que era esperado, uma vez que o parâmetro C demonstrou variações significativas e, o índice de amarelamento e de marrom são calculados com base neste parâmetro. Desta forma pode-se inferir que a inoculação de *L. casei* apresentou mudanças cromáticas significativas, neste caso, tornando os filmes ligeiramente mais marrons e amarelos.

Tabela 3 - Parâmetros de cor obtidos para os filmes produzidos a partir de PC, IN,  $\beta$ G e FO

(continua)

Filme	L*	C*	H	BI	YI
FP	87,4±0,22	3,56±0,18	49,10±3,87	4,90±0,27	4,39±0,47
FI.1	91,20±0,21	2,84±0,12	307,82±1,62	0,99±0,14	-3,52±0,22

Tabela 3 - Parâmetros de cor obtidos para os filmes produzidos a partir de PC, IN,  $\beta$ G e FO  
(conclusão)

Filme	L*	C*	H	BI	YI
FB.1	90,51±0,53	1,58±0,10	1,03±8,34	1,26±0,16	0,03±0,36
FO.1	77,52±0,13	25,69±0,16	78,02±0,06	42,98±0,42	46,31±0,36
FI.2	90,48±0,09	1,86±0,12	334,38±5,02	-1,27±0,18	0,31±0,31
FB.2	89,27±0,02	2,60±0,02	53,73±0,72	3,35±0,03	0,06±0,06

Fonte: Autor (2024).

Legenda: L – Parâmetro de luminosidade;

C – Parâmetro croma;

h – Ângulo matiz;

BI – Índice de marrom

YI – Índice de amarelamento para os filmes

FP – Filme de pectina sem probiótico;

FI.1 – Filme de Inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;

FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

O filme de inulina nesta investigação exibiu estabilidade de cor com um grau de amarelamento permanecendo abaixo de 6, semelhante aos resultados descritos por Shen *et al.* (2021) para filmes de pectina, que apresentaram índices de amarelamento inferiores a 7,1, conforme relatado no trabalho de Baghi *et al.* (2024). Enquanto isso, os filmes de  $\beta$ -glucana tiveram um índice de amarelamento abaixo de 6, de acordo com a literatura existente (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). Esses achados destacam que os filmes desenvolvidos, com exceção do filme de fibra de okará, estão alinhados com os resultados reportados na literatura e podem ser efetivamente utilizados para embalagem de alimentos para consumo (Kong *et al.*, 2023).

Por outro lado, o filme de fibra de okará exibiu um índice de amarelamento de 46,31, o que poderia interferir na visibilidade do produto. Apesar disso, sua aplicação industrial ainda pode ser apropriada, particularmente durante o transporte e conservação de itens alimentares onde a transparência visual não é a principal preocupação (Ezati *et al.*, 2023).

#### 4.8 PROPRIEDADES ÓPTICAS

A adição de diferentes fibras alimentares às soluções formadoras de filme alterou a opacidade dos filmes comestíveis, conforme medido pela absorvância a 550 nm ( $p < 0.05$ ).

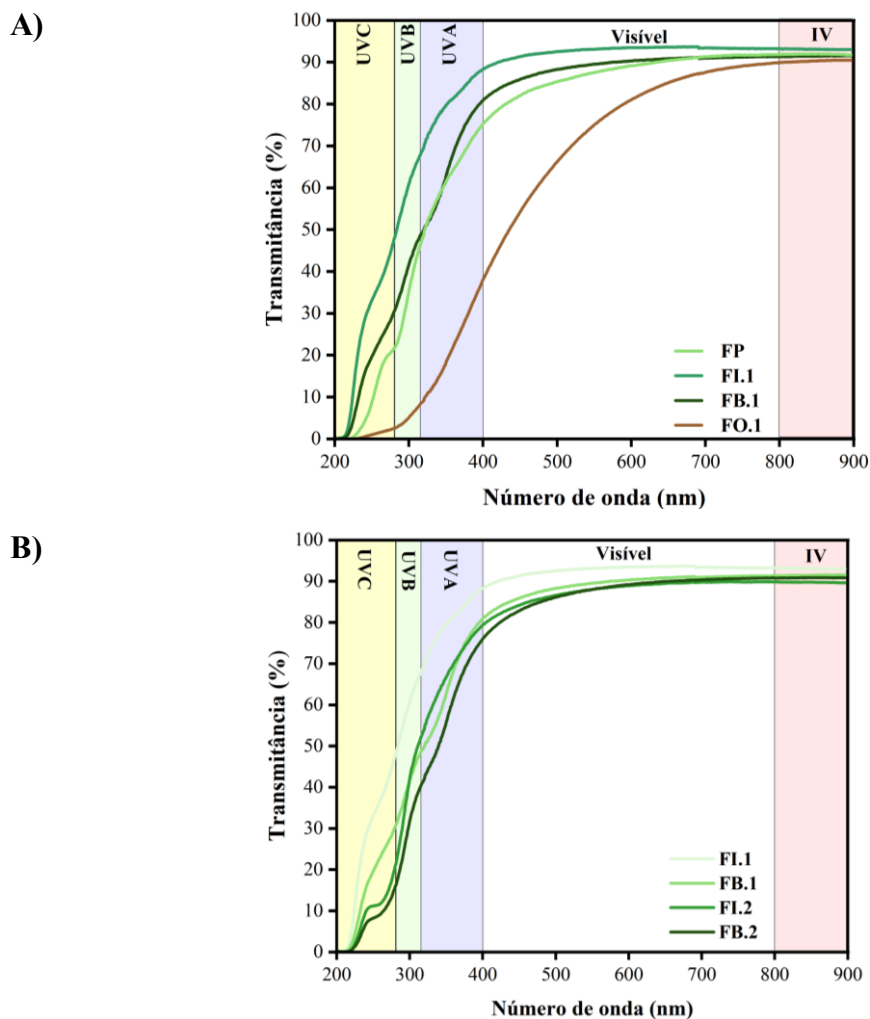
O filme FO demonstrou uma opacidade significativamente maior em comparação com

os outros, exibindo aproximadamente o dobro da opacidade, conforme ilustrado na Figura 10C. Os perfis de transmitância obtidos são mostrados na Figura 10A e 10B, não apresentando variações entre os filmes sem inóculo, seguindo o mesmo padrão de opacidade, sendo o perfil de transmitância do filme FO a única exceção. Quando acrescentado o probiótico, a diferença causada na opacidade do filme só pôde ser observada através do teste de Tukey, presente na Tabela 6, APÊNDICE A.

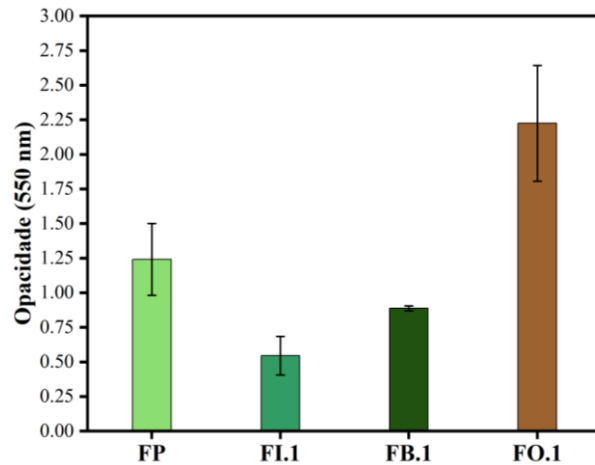
A transmitância dos filmes com e sem *L. casei* não apresentou diferença nos perfis, indicando que a quantidade de inóculo no filme não foi capaz de alterar significativamente esta propriedade óptica.

Após realizar o teste de única variável ANOVA, com  $p < 0,05$ , com repetição é possível afirmar que não há diferença significativa na opacidade dos filmes antes e após a incorporação de *L. casei*.

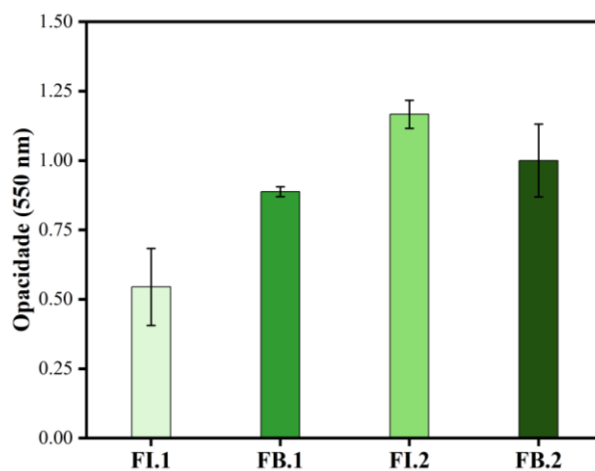
Figura 10 – Perfis de luz e opacidade para os filmes



C)



D)



Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1– Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2– Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Conforme observado na Figura 10A, na região visível, todos os filmes — com exceção do filme FO — demonstraram uma transmitância superior a 80%, indicando seu grande potencial para uso como revestimentos em produtos alimentícios. Isso se deve ao fato de não comprometerem a visibilidade do produto, mantendo seu apelo visual, que é um fator chave na avaliação do consumidor (Dedavid; Gomes; Machado, 2007).

Por outro lado, o filme de okará mostrou uma transmitância abaixo de 40% em certos comprimentos de onda visíveis, sugerindo que sua aplicação deve ser distinta dos outros. Em contrapartida o filme de FO absorveu mais de 70% dos raios UV, tornando-o benéfico para produtos sensíveis à radiação UV (Borchani *et al.*, 2015). Portanto, ele poderia ser aplicado para a preservação e transporte de alimentos sensíveis a UV, principalmente no setor industrial, como uma alternativa a garrafas âmbar, por exemplo.

A propriedade de barreira UV observada pode estar relacionada aos compostos formados durante a reação de Maillard, como estudado por Ke e Li (2023), onde compostos como triptofano e tirosina criados nesta reação têm alta absorção de UV. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Nayak *et al.* (2024), que comparou filmes de amido e goma de moringa com filmes contendo extrato de pinha; eles observaram uma transmitância superior a 70% para os filmes de amido e moringa na região visível, enquanto o filme com extrato de pinha mostrou uma transmitância superior a 20% (Nayak *et al.*, 2024).

#### 4.9 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX), FTIR E TGA PARA OS FILMES PRODUZIDOS

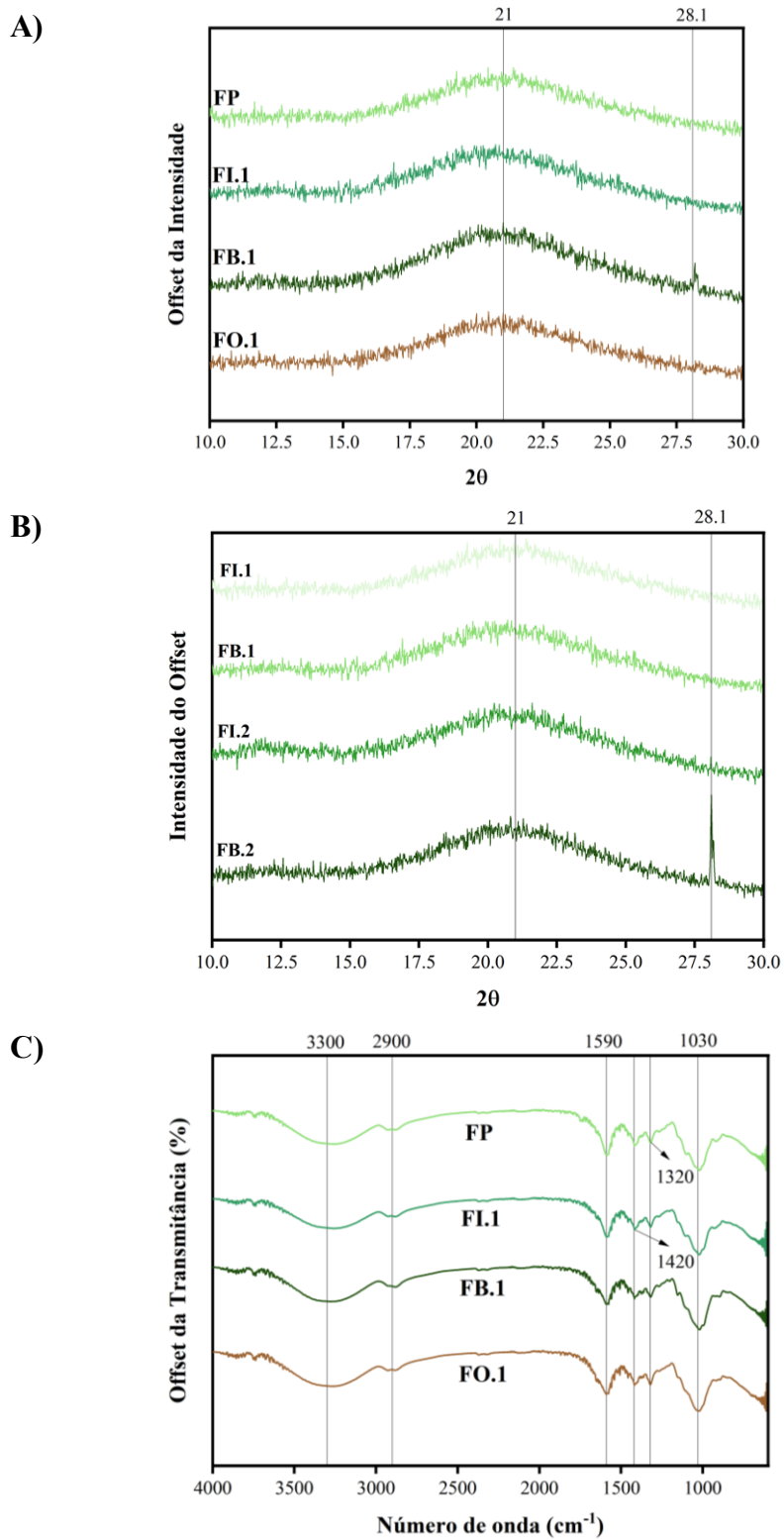
A Figura 11A exibe os perfis de DRX obtidos para os filmes produzidos sem a presença de probióticos, e a Figura 11B apresenta os perfis de DRX para os filmes com probióticos.

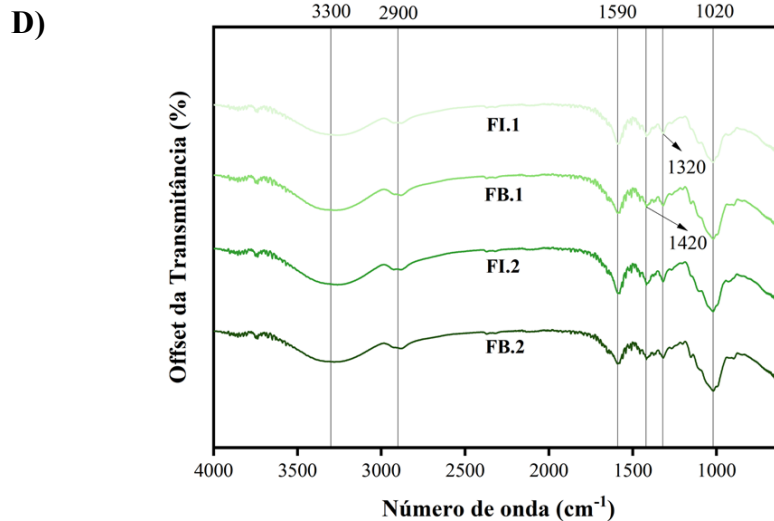
Observa-se que os picos cristalinos desapareceram no filme de fibra de okará, sendo o único filme que exibe leve cristalinidade foi o de  $\beta$ -glucana, embora com um valor de apenas 5,12% (Kang *et al.*, 2023). A adição de ácido cítrico para ajustar o pH pode ter promovido essa menor cristalinidade através de reticulação (Nongnual *et al.*, 2024). No entanto, a Figura 11 demonstra sucesso na incorporação de componentes e na formação de filme, resultando em características altamente amorfas, que são desejáveis em filmes plásticos.

A inserção de probióticos não demonstrou surtir nenhum efeito na composição contendo inulina, porém, para  $\beta$ -glucana, os probióticos intensificaram o pico de 27° indicando que houve uma pequena cristalização do filme contendo probióticos (Chang *et al.*, 2019). No entanto a estrutura como um todo ainda apresenta a mesma intensidade de pico à 21° o que sugere fortemente que a fase amorfa ainda prevalece, o que é esperado para um filme comestível, uma vez que a característica amorfa está relacionada com características plásticas.



Figura 11 – Ensaio de DRX e FTIR





Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1 – Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2 – Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

O FTIR (Figura 11C e 11D) foi empregado para identificar os grupos funcionais primários das fibras em estudo. Os espectros obtidos revelaram a presença de bandas características de polissacarídeos, confirmando a natureza dessas moléculas em todas as amostras de fibras.

A região de 3000 a 3500  $\text{cm}^{-1}$  apresentou picos atribuídos às vibrações de ligações -OH, segundo Yasmeen *et al.* (2023), enquanto a faixa de 2900 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  indicou a absorção de ligações C-H. A banda próxima a 1600  $\text{cm}^{-1}$  foi associada ao grau de esterificação, com o pico em torno de 1594  $\text{cm}^{-1}$  refletindo a assimetria do grupo  $-\text{COO}^-$  (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023).

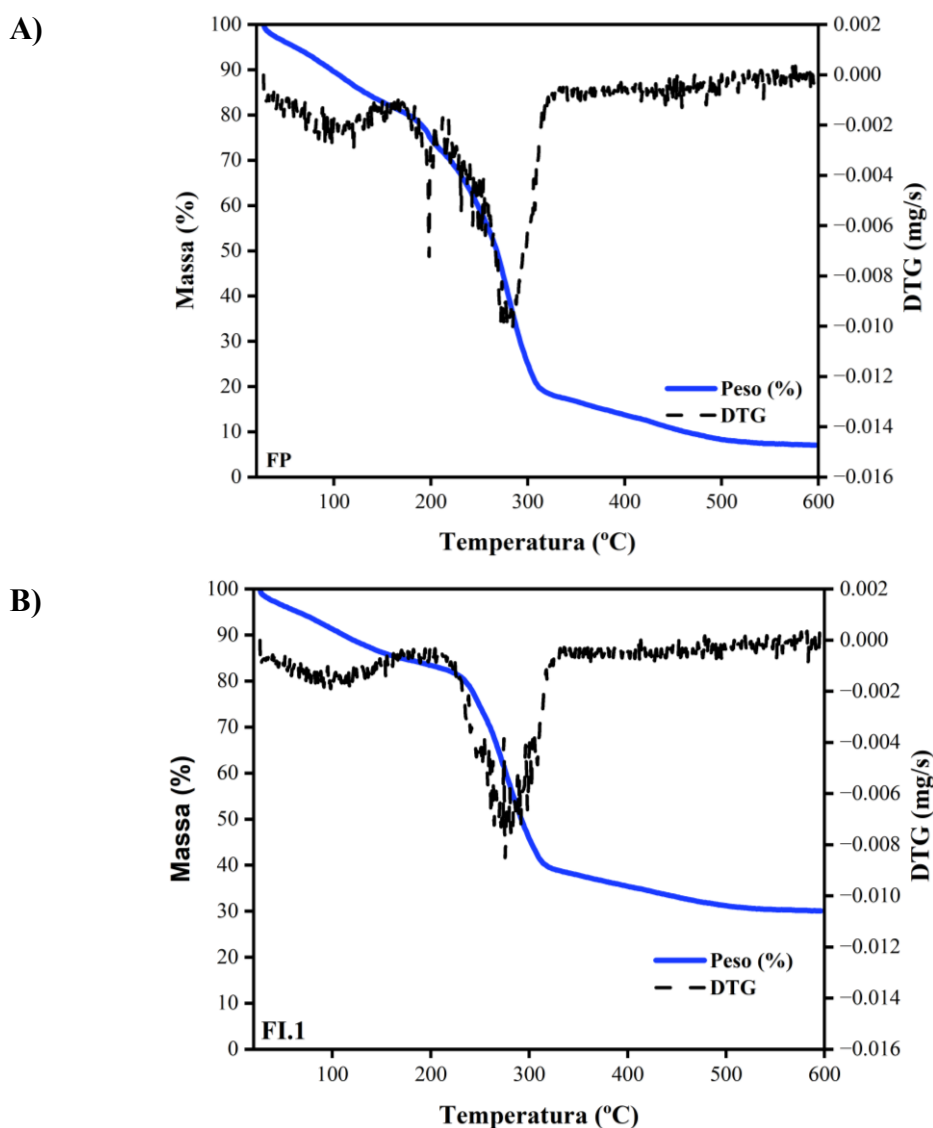
A região de 1415  $\text{cm}^{-1}$  foi relacionada a grupos metila  $-\text{CH}_2$ , e os picos a 1330 e 1236  $\text{cm}^{-1}$  corresponderam ao alongamento dos grupos  $-\text{OH}$  e  $-\text{CH}_3\text{CO}$ , respectivamente (Jong; Abdullah; Muhammad, 2023). Abaixo de 1200  $\text{cm}^{-1}$  as bandas específicas de cada tipo de polissacarídeo foram observadas, com picos entre 1140 e 1000  $\text{cm}^{-1}$  indicando a presença de monossacarídeos como arabinose, xilose e galactose (Jong; Abdullah; Muhammad, 2023). O pico em torno de 1022  $\text{cm}^{-1}$  foi mais intenso no  $\beta$ -glucana, devido à presença de múltiplas ligações C-O-C, segundo Sadiq e Mousa (2024), e também foi proeminente no okará, sugerindo a preservação de anéis de açúcar durante a extração (Li *et al.*, 2023).

Ainda, todos os filmes demonstraram uma intensificação do pico em 3300  $\text{cm}^{-1}$ , que está relacionada à incorporação de glicerol, levando ao aumento da vibração dos grupos -OH (Jaderi

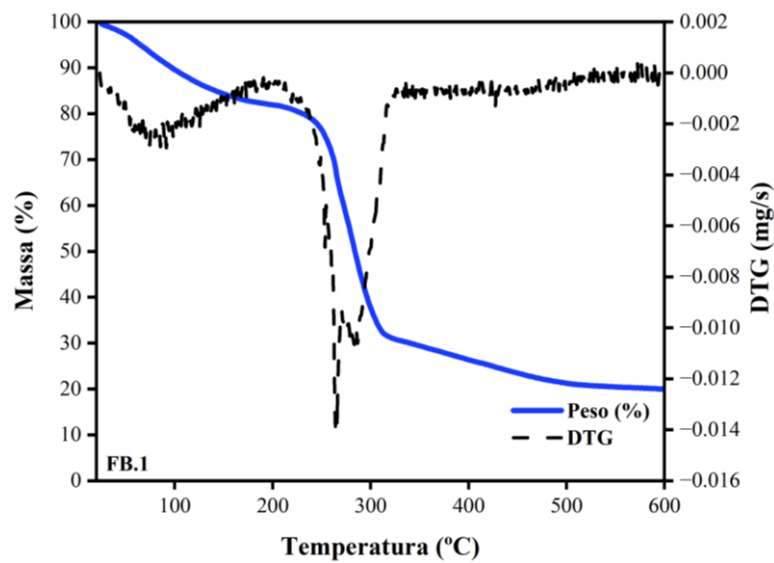
*et al.*, 2022). Além disso, o surgimento do pico em  $1590\text{ cm}^{-1}$ , juntamente com o reforço do pico em  $1030\text{ cm}^{-1}$ , indica a formação de ligações de hidrogênio entre os componentes do filme (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). Isso sugere uma assimilação eficiente dos componentes, reforçando as interações entre as cadeias de polissacarídeos e melhorando a estrutura do filme.

Esses achados são importantes porque evidenciam como os aditivos e os processos de formulação impactam diretamente nas propriedades físico-químicas dos filmes. A capacidade de formar ligações de hidrogênio eficientes é crucial para a funcionalidade dos filmes, especialmente em termos de sua integridade estrutural e propriedades de barreira, que são essenciais para suas aplicações práticas, como embalagens de alimentos.

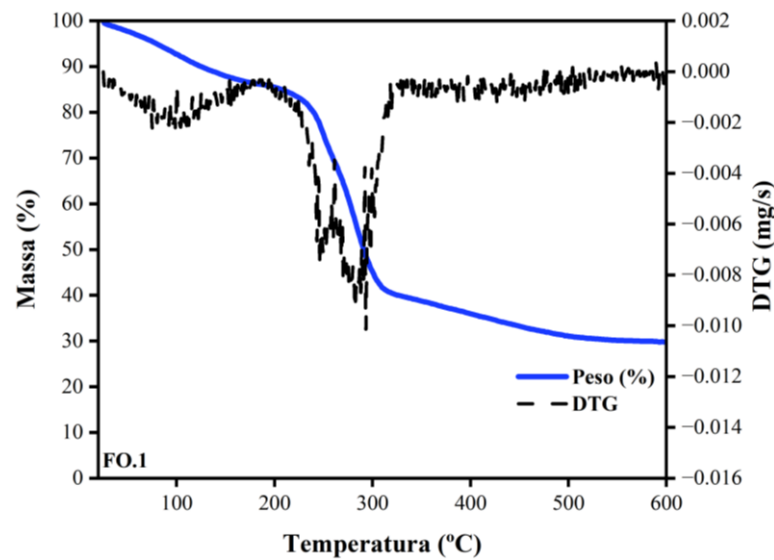
Figura 12 – TGA para os diversos filmes



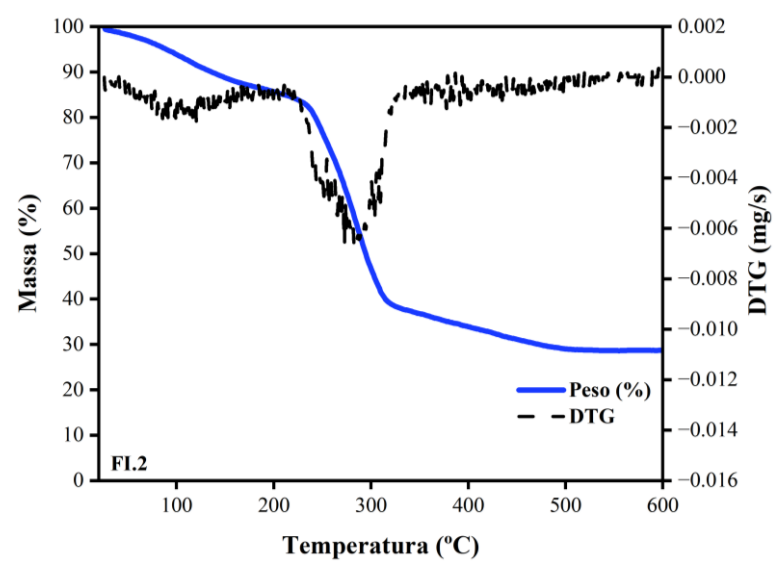
C)

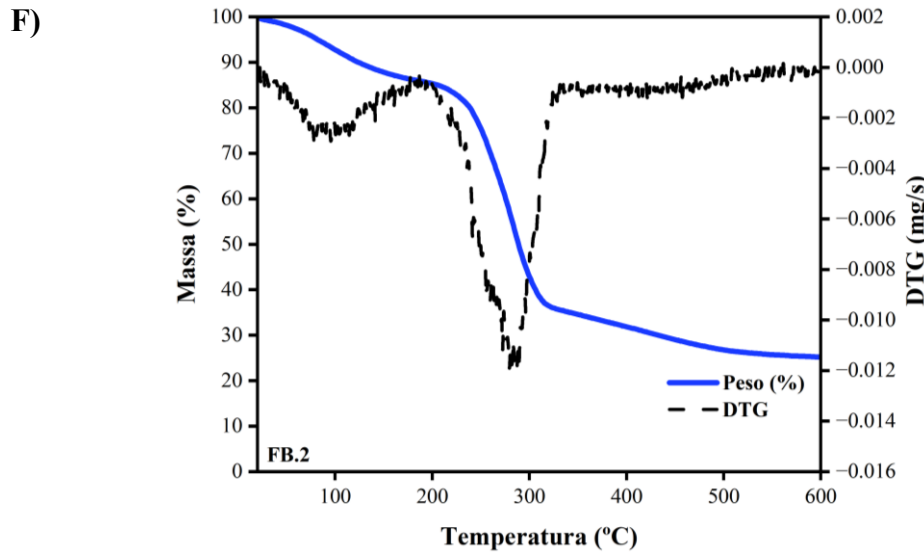


D)



E)





Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FI.1– Filme de inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de okará sem probiótico;

FI.2– Filme de inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

A análise de TGA (Figura 12) revelou dois estágios principais de perda de massa relacionados à dessorção de água. O primeiro estágio, entre 35 °C e 90 °C, correspondeu à perda de água livre e cristalina, com percentuais de perda variando entre os filmes (Bhatia *et al.*, 2023). O segundo estágio, entre 90 °C e 150 °C, indicou a perda de água ligada, com gradientes de perda igualmente distintos (Perinelli *et al.*, 2023). Essas variações são atribuídas às diferentes propriedades higroscópicas das fibras, que influenciam a quantidade de água absorvida e, conseqüentemente, o perfil de degradação térmica.

A degradação térmica das fibras com probiótico foi evidenciada, com temperaturas de início em 220 °C para inulina e 247 °C para  $\beta$ -glucana, também sem diferenças significativas, resultados que corroboram a literatura científica. Em todos os casos foram encontrados perfis quase idênticos ao perfil de degradação do CMC puro, ocorrendo aproximadamente a 285°C, conforme relatado em outras literaturas (El-Sayed *et al.*, 2011). Isso sugere que a incorporação de fibras nas concentrações usadas neste estudo não impactou a estabilidade térmica dos filmes. Apesar das fibras possuírem temperaturas de degradação distintas, sua presença não afetou adversamente a estabilidade térmica dos filmes compósitos (Leone *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2023; Wani; Uppaluri, 2023; Zhao *et al.*, 2020).

Essa manutenção da estabilidade térmica é crucial para aplicações práticas dos filmes, especialmente em contextos que exigem resistência a altas temperaturas, como pode ser o caso

em alguns processos de embalagem e armazenamento de alimentos. A estabilidade térmica assegura que os filmes possam suportar as condições de processamento e uso sem degradar-se prematuramente, mantendo suas propriedades funcionais e estruturais intactas. Portanto, os resultados indicam que a adição de diferentes tipos de fibras, dentro das concentrações estudadas, é viável sem comprometer a integridade térmica do material, ampliando assim as possibilidades de utilização desses filmes em diversas aplicações industriais.

#### 4.10 SOLUBILIDADE EM ÁGUA E PVA

A solubilidade em água é um fator crítico na avaliação de filmes biodegradáveis após a produção. Uma maior solubilidade sugere melhor biodegradabilidade, o que é benéfico para o meio ambiente. No entanto, também indica que o filme pode ser mais vulnerável a condições de alta umidade relativa. Essa natureza dual da solubilidade é vantajosa para a biodegradação, mas pode ser prejudicial à resistência à umidade (Dong *et al.*, 2023).

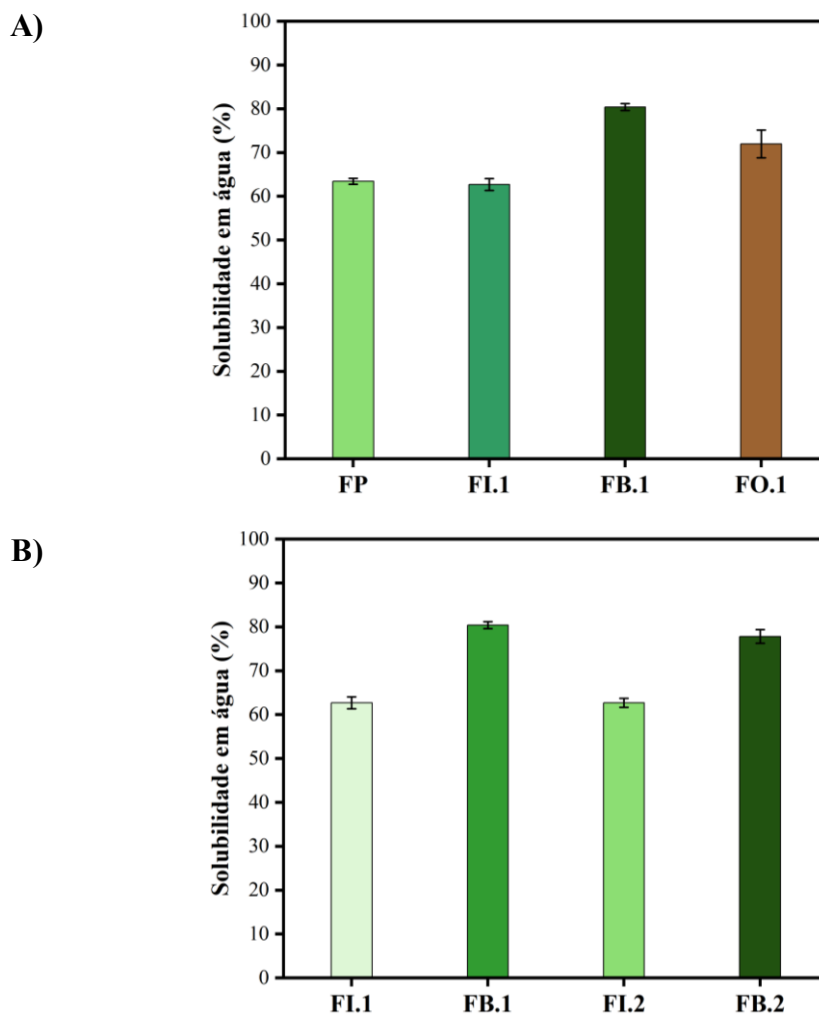
A Figura 13A apresenta os dados de solubilidade para os filmes sem adição de probióticos, revelando que nenhum deles teve níveis de solubilidade abaixo de 60%, indicando um grau geralmente alto de solubilidade em água. O tipo de fibra alimentar adicionada à solução formadora de filme influenciou a solubilidade dos filmes comestíveis, enquanto a adição de probióticos não interferiu significativamente, ( $p < 0,05$ ). A Tabela 9, do APÊNDICE A, traz os dados estatísticos sobre a solubilidade.

Os filmes de okará e  $\beta$ -glucana mostraram diferenças marcantes em relação aos outros. Okará exibiu solubilidade moderada entre inulina e pectina, enquanto o filme de  $\beta$ -glucana exibiu uma solubilidade significativamente maior, ultrapassando 80%. Esses resultados sugerem que, embora todos os filmes sejam altamente solúveis, o filme de  $\beta$ -glucana pode ser particularmente adequado para aplicações que requerem biodegradação rápida e exposição mínima à umidade. Resultados de solubilidade semelhantes foram encontrados para inulina por Orozco-Parra, Mejía e Villa (2020) e para pectina por Silva *et al.* (2018).

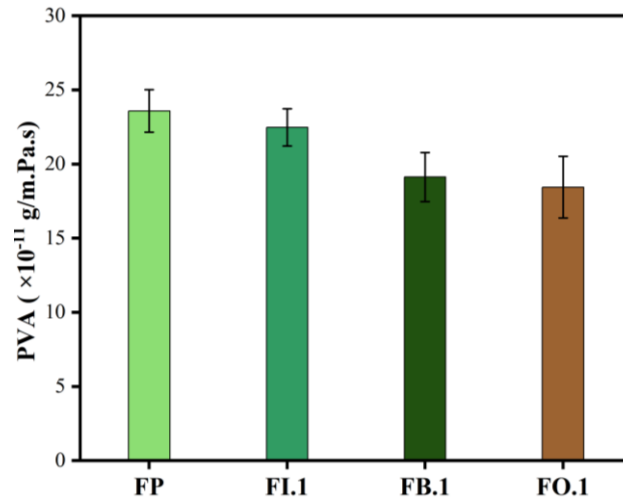
A solubilidade dos filmes de  $\beta$ -glucana excedendo 80% está alinhada com os achados de Seyedzadeh-Hashemi *et al.* (2023), que relataram que níveis mais altos de  $\beta$ -glucana aumentaram a solubilidade até 83,82% (Seyedzadeh-Hashemi *et al.*, 2023). Filmes com inulina apresentaram solubilidade na faixa de 60-70%. Os filmes de okará alcançaram um nível de solubilidade intermediário, possivelmente devido às suas cadeias mais curtas de oligossacarídeos e polissacarídeos, que facilitam a dissolução convertendo fibra insolúvel em

fibra solúvel (Li *et al.*, 2023). Isso sugere que a fibra de okará, junto com inulina e pectina, poderia ser adequada para inclusão em alimentos com um certo teor de umidade, segundo Yoshii *et al.* (1996), enquanto  $\beta$ -glucana pode ser mais apropriada para itens alimentares secos ou produtos farmacêuticos (Jafari; Zandi; Ganjloo, 2022).

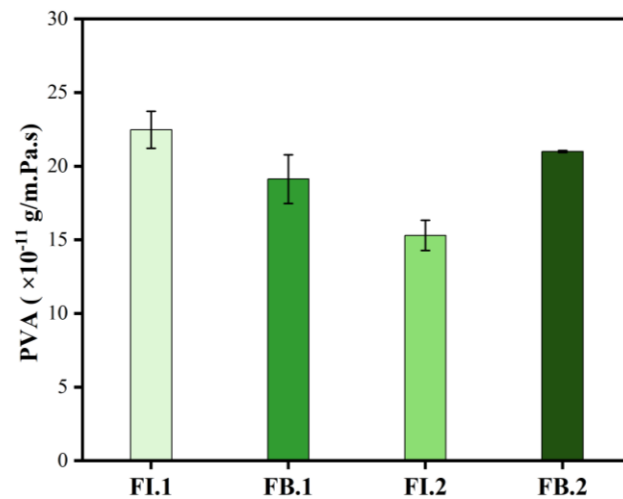
Figura 13 – Solubilidade em água e permeabilidade de vapor d'água



C)



D)



Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1– Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2– Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

A permeabilidade ao vapor de água não foi afetada pela adição de diferentes fibras alimentares bem como pela adição de probióticos, ( $p>0,05$ ), conforme pode ser observado na Figura 13C e 13D e na Tabela 9 do APÊNDICE A. A permeabilidade do CMC puro é de  $20 \times 10^{-11} \frac{\text{g}}{\text{m} \times \text{Pa} \times \text{s}}$ , estatisticamente igual aos valores encontrados (Pathare; Opara; Al-Said, 2012). Neste sentido, os filmes de CMC apresentam uma permeabilidade inferior à do amido, oferecendo propriedades de barreira contra a umidade, tornando-os adequados para alimentos hidrofílicos a fim de prevenir a absorção de umidade (Maciel; Yoshida; Franco, 2015).



#### 4.11 PROPRIEDADES MECÂNICAS

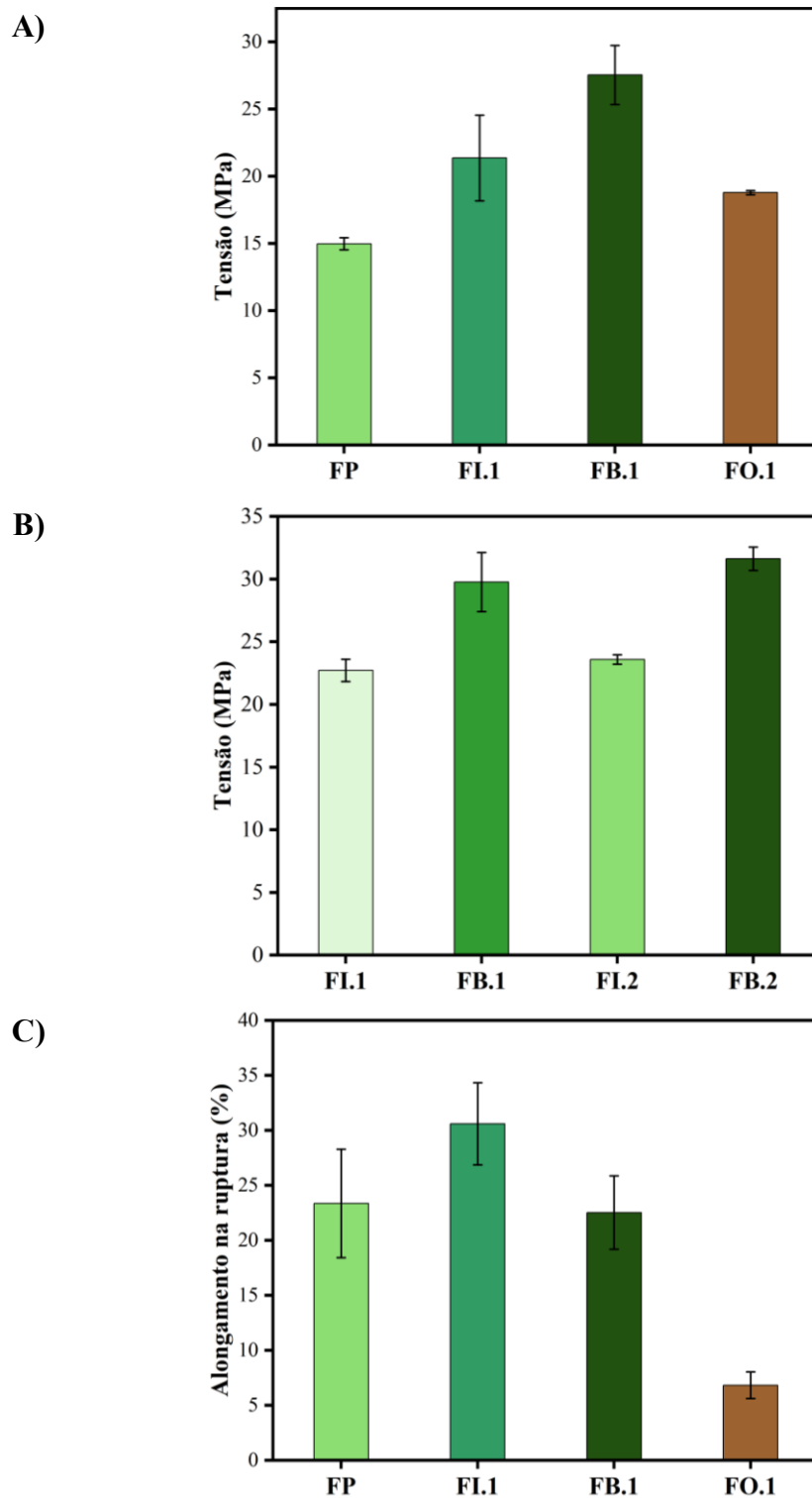
A Figura 14 apresenta os valores medidos para resistência à tração e as alongamento na ruptura entre os diversos filmes testados. O tipo de fibra alimentar incorporado à solução formadora de filme afetou a resistência à tração dos filmes comestíveis ( $p < 0,05$ ). Os filmes de  $\beta$ -glucana exibiram uma resistência mecânica superior em comparação aos filmes de pectina e OSDF ( $p < 0,05$ ), suportando uma tensão de tração de até 27,5 MPa.

Em contraste, os filmes feitos de pectina (15 MPa) e OSDF (18,8 MPa) demonstraram resistências à tração inferiores. Os filmes à base de inulina apresentaram uma tensão de tração intermediária, 21,4 MPa, posicionando-se entre os filmes de pectina, OSDF e  $\beta$ -glucana em termos de desempenho.

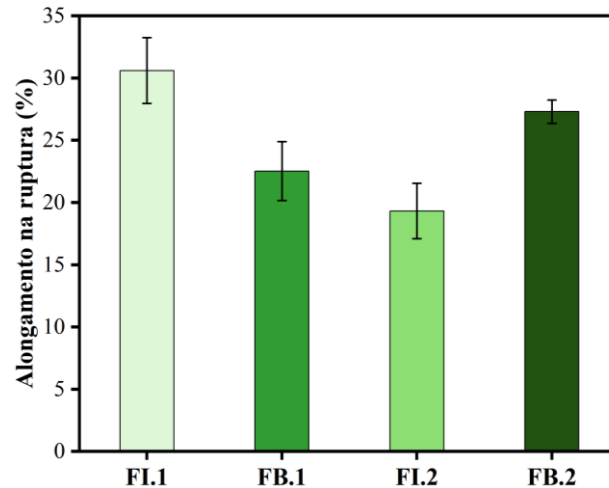
Os dados apresentados permitem concluir que tanto o tipo quanto a concentração de fibra influenciaram significativamente as propriedades mecânicas dos filmes ( $p < 0,05$ ). Um aumento na tensão suportada está associado à estrutura de cadeia ramificada da  $\beta$ -glucana, que facilita a formação extensiva de ligações de hidrogênio dentro da matriz do filme, aumentando assim a resistência à tração (Chang *et al.*, 2019). Esses achados estão de acordo com os relatados por Chang *et al.* (2019) em sua investigação de filmes de pullulan e  $\beta$ -glucana com uma proporção de 0,2:0,1 (p/p).

No entanto, o maior teor de fibra no presente estudo sugere que a formulação de CMC pode ter reforçado essas interações. Essa proposição é ainda mais substanciada quando contrastada com as observações de Orozco-Parra, Mejía e Villa (2020), que registraram resistências à tração muito inferiores, de 4 MPa, em filmes de inulina, e Ngo *et al.* (2020), que documentaram um máximo de 10 MPa em filmes de pectina e quitosana. A pesquisa conduzida por Behrestaghi, Bahram e Ariaii (2020), que relatou resistências à tração comparáveis de cerca de 23 MPa, sugere fortemente a superioridade do CMC sobre quitosana e pullulan. Também indica que a incorporação de fibras nas concentrações usadas neste estudo pode ter tido um impacto limitado, com exceção do  $\beta$ -glucana.

Figura 14 – Propriedades mecânicas para os diferentes filmes



D)



Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FI.1 – Filme de inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de okará sem probiótico;  
 FI.2 – Filme de inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

No entanto, as propriedades de alongamento dos filmes, embora não significativamente diferentes entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), foram mais pronunciadas em comparação com aquelas relatadas em pesquisas e estudos anteriores que utilizaram CMC como matriz polimérica. Por exemplo, Lawal *et al.* (2023) alcançaram uma resistência à tração máxima de 7,66 MPa com filmes de pó de semente de tâmara, e Taner, Ekici e Akyuz (2022) relataram um máximo de 5,36 MPa em filmes compostos por CMC, proteínas e fenólicos. Esses resultados implicam que a integração de fibras resultou em filmes com características plásticas superiores (Andriani *et al.*, 2024; Gao *et al.*, 2024; Ghanbarzadeh; Almasi; Entezami, 2010).

Seguindo o mesmo padrão das análises anteriores, as propriedades mecânicas também não apresentaram diferenças significativas com a adição do probiótico.

## 5 CONCLUSÃO

A extração da fibra dietética de okará por hidrólise ácida resultou em um rendimento satisfatório de aproximadamente 5,31%, que, embora inferior a alguns estudos, demonstrou ser um método simples e eficaz para a extração da fibra. A pureza da fibra foi confirmada pelo padrão FTIR, que indicou a extração de um material pertencente à classe dos polissacarídeos, conforme esperado. A técnica de *casting* foi aplicada com êxito, resultando em filmes com características plásticas, sem heterogeneidades ou rachaduras, boa flexibilidade e capacidade de desmolde. A análise de DRX revelou filmes com até 5% de cristalinidade, sugerindo estruturas amorfas. O FTIR indicou interação e boa incorporação de todos os componentes do filme, enquanto a análise de MEV mostrou superfícies uniformes e sem defeitos.

Não foram observadas diferenças significativas na espessura do filme, PVA ou estabilidade térmica, com valores que indicam boas propriedades de barreira à água para a preservação de alimentos. A incorporação de *L. casei* nas concentrações utilizadas não surtiu efeito algum sobre as propriedades avaliadas, exceto pela viabilidade de 50% para inulina e  $\beta$ -glucana, contrastando com os 2% obtidos para o filme contendo fibra de okará, possivelmente devido à formação de produtos bactericidas pela reação de Maillard.

As análises ópticas revelaram que o filme de okará apresentou baixa transmitância na região do visível, enquanto os demais filmes exibiram uma transmitância de luz visível de 80%. Os índices de cor do filme de okará sugerem um alto grau de amarelamento, indicando diferentes aplicabilidades entre os filmes, sendo o de okará adequado para proteger itens fotossensíveis durante o transporte, enquanto outros filmes podem ser aplicados para exposição em prateleiras.

Os filmes à base de okará e  $\beta$ -glucana apresentaram maior solubilidade em água do que os filmes de inulina e pectina, indicando seu potencial para produtos alimentícios com menor umidade e produtos farmacêuticos. Os testes mecânicos evidenciaram que o conteúdo de fibra influenciou a resistência à tração e a alongação, com filmes de  $\beta$ -glucana sendo o mais resistente, superando os demais. Esses filmes exibiram boa resistência, com taxas de alongação atingindo até 20%, exceto pelos filmes de fibra de okará, que tiveram uma baixa taxa de alongação.

O presente trabalho obteve sucesso na extração e aplicação da fibra de okará na produção de um novo material com características plásticas, caracterizando suas propriedades e comparando-o com filmes de mesma formulação contendo prebióticos convencionais, abrindo

perspectivas para o desenvolvimento de materiais comestíveis sustentáveis e de alto valor agregado. Apesar de apresentar uma coloração que talvez não satisfaça o consumidor, este pode ser aplicado em outros ramos industriais tanto nos ramos alimentícios quanto farmacológicos.

## REFERÊNCIAS

- ABEDI, Elahe; SAYADI, Mehran; OLIYAEI, Najmeh. Fabrication and characterization of emulsion-based edible film containing cinnamon essential oil using chia seed mucilage. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 266, p. 1-10, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131173>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024019780>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- ADZUAN, Anis Syahirah Saifor *et al.* Characterization of probiotic properties and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from stingless bee gut. **International Journal Of Health Sciences**, [s. l.], p. 6054-6063, 30 nov. 2022. Universidad Tecnica de Manabi. <http://dx.doi.org/10.53730/ijhs.v6ns8.13707>. Disponível em: [https://www.academia.edu/93374475/Characterization\\_of\\_probiotic\\_properties\\_and\\_antimicrobial\\_activity\\_of\\_lactic\\_acid\\_bacteria\\_from\\_stingless\\_bee\\_gut](https://www.academia.edu/93374475/Characterization_of_probiotic_properties_and_antimicrobial_activity_of_lactic_acid_bacteria_from_stingless_bee_gut). Acesso em: 08 set. 2023.
- AKRAM, Wasim *et al.* Inulin: unveiling its potential as a multifaceted biopolymer in prebiotics, drug delivery, and therapeutics. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 259, p. 1-17, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129131>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023060300>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- ALSHEHRI, Azizah A. *et al.* Sodium alginate films incorporated with *Lepidium sativum* (Garden cress) extract as a novel method to enhancement the oxidative stability of edible oil. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 265, p. 1-13, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130949>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024017549>. Acesso em: 15 maio 2024.
- AMJADI, Sajed *et al.* Gluten/chitosan Nanofiber-based Films Activated by Cationic Inulin-coated Betanin and Carvone Co-loaded Nanoliposomes: preparation and characterization. **Food Biophysics**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 243-255, 21 dez. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-023-09820-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11483-023-09820-8>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- ANDRIANI, Dian *et al.* Optimizing slurry preparation for improved mechanical and physical characteristics of nata de coco-based edible packaging. **Journal Of Cleaner Production**, [s. l.], v. 449, p. 1-10, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141802>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652624012502>. Acesso em: 18 maio 2024.
- ASGHAR, Aasma *et al.* Valorization and food applications of okara (soybean residue): a concurrent review. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 3631-3640, 29 abr. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.3363>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.3363>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- ASTUDILLO, Álvaro *et al.* Advances in Agroindustrial Waste as a Substrate for Obtaining Eco-Friendly Microbial Products. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 1-15, 14 fev. 2023.

MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su15043467>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3467>. Acesso em: 03 ago. 2023.

BAE, In Young *et al.* Correlation of branching structure of mushroom  $\beta$ -glucan with its physiological activities. **Food Research International**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 195-200, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996912005157>. Acesso em: 01 jul. 2023.

BAGHI, Fatemeh *et al.* Development and Characterization of Pectin-Based Antimicrobial Packaging Films Containing Nanoemulsified Trans-Cinnamaldehyde. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 2256, 7 mar. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app14062256>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2256>. Acesso em: 21 abr. 2024.

BASAK, Somnath; ANNAPURE, Uday S.. The potential of subcritical water as a “green” method for the extraction and modification of pectin: a critical review. **Food Research International**, [s. l.], v. 161, p. 1-17, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111849>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996922009073>. Acesso em: 05 abr. 2023.

BEHRESTAGHI, F. Salar; BAHRAM, S.; ARIAI, P.. Physical, Mechanical, and Antimicrobial Properties of Carboxymethyl Cellulose Edible Films Activated with Artemisia sieberi Essential Oil. **Journal Of Food Quality And Hazards Control**, [s. l.], p. 38-44, 27 fev. 2020. Knowledge E DMCC. <http://dx.doi.org/10.18502/jfqhc.7.1.2450>. Disponível em: <https://jqhc.ssu.ac.ir/article-1-314-fa.html>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BERTHOMIEU, Catherine; HIENERWADEL, Rainer. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. **Photosynthesis Research**, [s. l.], v. 101, n. 2-3, p. 157-170, 10 jun. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-009-9439-x>. Acesso em: 12 mar. 2024.

BHATIA, Saurabh *et al.* The Effect of Sage (*Salvia sclarea*) Essential Oil on the Physiochemical and Antioxidant Properties of Sodium Alginate and Casein-Based Composite Edible Films. **Gels**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 233, 16 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/gels9030233>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2310-2861/9/3/233>. Acesso em: 07 fev. 2024.

BORCHANI, Chema *et al.* Structural Characterization, Technological Functionality, and Physiological Aspects of Fungal  $\beta$ -D-glucans: a review. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [s. l.], v. 56, n. 10, p. 1746-1752, abr. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2013.854733>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2013.854733>. Acesso em: 05 mar. 2024.

BRITO, T.B. *et al.* Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. **Food Research International**, [s. l.], v. 121, p. 412-421, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996919302091>. Acesso em: 05 jun. 2024.

CAO, Weichao *et al.* Tributyrin microcapsule prepared by ultrahigh methoxylated pectin combination with maltodextrin: the characterization, gastrointestinal digestion, and fecal fermentation behavior. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 148, p. 1-12, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109505>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X23010512>. Acesso em: 18 jun. 2024.

CHA, D.S *et al.* Release of nisin from various heat-pressed and cast films. **Lwt - Food Science And Technology**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 209-213, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(02\)00209-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(02)00209-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643802002098>. Acesso em: 02 abr. 2023.

CHANG, Jinyu *et al.* Preparation, properties, and structural characterization of  $\beta$ -glucan/pullulan blend films. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 140, p. 1269-1276, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.208>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019353991>. Acesso em: 05 jun. 2023.

COIMBRA, Patrícia *et al.* Sustainable starch-based edible films with agrifood residues as potential carriers for the probiotic *Lactobacillus rhamnosus*. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 88, p. 1-10, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103452>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856423001868>. Acesso em: 21 set. 2023.

COLIMORO, Martina *et al.* Environmental Impacts and Benefits of Tofu Production from Organic and Conventional Soybean Cropping: improvement potential from renewable energy use and circular economy patterns. **Environments**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 1-30, 27 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/environments10050073>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3298/10/5/73>. Acesso em: 17 maio 2023.

DAVANI-DAVARI, Dorna *et al.* Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1-27, 9 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods8030092>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/3/92>. Acesso em: 15 jun. 2024.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. Materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. In: DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. Cap. 2. p. 27-38. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=qPyfKsSP8fUC&siteseq=buy&hl=pt-BR&source=gbs\\_vpt\\_read](https://books.google.com.br/books?id=qPyfKsSP8fUC&siteseq=buy&hl=pt-BR&source=gbs_vpt_read). Acesso em: 05 abr. 2023.

DEHANKAR, Himani Bharat; MALI, Priti Sharad; KUMAR, Pradyuman. Edible composite films based on chitosan/guar gum with ZnO NPs and roselle calyx extract for active food packaging. **Applied Food Research**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1-9, jun. 2023. Elsevier BV.



<http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2023.100276>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277250222300015X>. Acesso em: 02 ago. 2023.

DONG, Yitong *et al.* Effect of polyol plasticizers on properties and microstructure of soluble soybean polysaccharide edible films. **Food Packaging And Shelf Life**, [s. l.], v. 35, p. 1-11, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101023>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289422002150>. Acesso em: 16 maio 2023.

EKRAMI, Mohammad; EMAM-DJOMEH, Zahra. Water Vapor Permeability, Optical and Mechanical Properties of Salep-Based Edible Film. **Journal Of Food Processing And Preservation**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 1812-1820, 9 out. 2013. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12152>. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12152>. Acesso em: 28 set. 2023.

EL-SAYED, S. *et al.* DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. **Physica B: Condensed Matter**, [s. l.], v. 406, n. 21, p. 4068-4076, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2011.07.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921452611007277>. Acesso em: 05 fev. 2024.

ESPITIA, Paula J. Pérez *et al.* Optimal antimicrobial formulation and physical–mechanical properties of edible films based on açai and pectin for food preservation. **Food Packaging And Shelf Life**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 38-49, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.06.002>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289414000477>. Acesso em: 02 ago. 2023.

ESPITIA, Paula J.P. *et al.* Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. **Food Research International**, [s. l.], v. 90, p. 42-52, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996916304550>. Acesso em: 25 out. 2023.

EZATI, Parya *et al.* Biopolymer-based UV protection functional films for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 142, p. 1-17, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108771>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X2300317X>. Acesso em: 12 mar. 2024.

FADHILA, P T *et al.* Nutritional value and fiber content of cookies prepared from okara flour substitution: study on dietary fiber, isoflavone, and chemical properties. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1338, n. 1, p. 1-7, 1 maio 2024. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1338/1/012036>. Disponível em:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1338/1/012036/meta>. Acesso em: 14 jun. 2024.

FENG, Jing-Yu *et al.* Evolution of okara from waste to value added food ingredient: an account of its bio-valorization for improved nutritional and functional effects. **Trends In**

**Food Science & Technology**, [s. l.], v. 116, p. 669-680, out. 2021. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.011>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421004982>. Acesso em: 26 set. 2023.

FERREIRA, Marcela C. *et al.* Soybean oil extraction with ethanol from multiple-batch assays to reproduce a continuous, countercurrent, and multistage equipment. **Chemical Engineering And Processing - Process Intensification**, [s. l.], v. 170, p. 1-11, jan. 2022. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2021.108659>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270121003494?via%3Dihub>. Acesso em: 06 abr. 2024.

FU, Jun *et al.* From macro- to nano- scales: effect of fibrillary celluloses from okara on performance of edible starch film. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 262, p. 1-8, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129837>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024006408>. Acesso em: 07 maio 2024.

GAO, Lingyan *et al.* Edible film preparation by anthocyanin extract addition into acetylated cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose matrix for oxidation inhibition of pumpkin seeds. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 267, p. 1-13, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131439>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181302402244X>. Acesso em: 11 jun. 2024.

GEORGANAS, Alexandros *et al.* Utilization of Agro-Industrial By-Products for Sustainable Poultry Production. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 1-46, 16 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su15043679>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3679>. Acesso em: 23 ago. 2023.

GHANBARZADEH, Babak; ALMASI, Hadi; ENTEZAMI, Ali A.. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 697-702, out. 2010. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.001>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856410000640>. Acesso em: 09 fev. 2024.

GINTING, Erliana *et al.* The nutritional and economic potential of tofu dreg (okara) and its utilization for high protein food products in Indonesia. **Journal Of Agriculture And Food Research**, [s. l.], v. 16, p. 1-16, jun. 2024. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101175>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324002126>. Acesso em: 09 jul. 2024.

GOH, Shu Xian; MAMAT, Hasmadi; AZIZ, Ahmad Hazim Abdul. Valorization of agriculture by-product: development of gluten-free biscuit made from blends of okara and jackfruit seed flour. **Waste Management Bulletin**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 59-65, jun. 2024. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wmb.2024.03.004>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949750724000245>. Acesso em: 14 jul. 2024.

GUADALUPE, Fierro-Corona *et al.* Effect of Edible Films' Application on the Quality Characteristics of Manchego-Type Cheese During Storage. **Food And Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 16, n. 12, p. 2910-2920, 11 maio 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-023-03120-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-023-03120-2>. Acesso em: 13 set. 2023.

GUMILAR, Jajang; ANDIATI, Hana Aulia; WULANDARI, Eka. Physical Quality Of Edible Film From Duck Feet Gelatin Using Various Glycerol Concentrations. **International Journal Of Scientific Research And Management (Ijsrm)**, [s. l.], v. 12, n. 01, p. 185-164, 27 jan. 2024. Valley International. <http://dx.doi.org/10.18535/ijorm/v12i01.ft02>. Disponível em: <https://vipublisher.com/index.php/vij/article/view/171/159>. Acesso em: 15 fev. 2024.

GUO, Zonglin *et al.* Effects of dielectric barrier discharge plasma modification on structure, physicochemical and functional properties of watermelon peel pectin. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 147, p. 1-13, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109350>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X23008962>. Acesso em: 13 mar. 2024.

GUPTA, Sulagna; LEE, Jaslyn J. L.; CHEN, Wei Ning. Analysis of Improved Nutritional Composition of Potential Functional Food (Okara) after Probiotic Solid-State Fermentation. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s. l.], v. 66, n. 21, p. 5373-5381, 18 maio 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00971>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.8b00971>. Acesso em: 08 mar. 2023.

HERNÁNDEZ-CARRANZA, Paola *et al.* Development and Application of Bioactive Bi-Layer Edible Films Based on Starch and LAB-Fermented Whey and/or Mango Solution. **Fermentation**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 1-13, 10 fev. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fermentation10020105>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/10/2/105>. Acesso em: 12 mar. 2024.

HUANG, Xiaowei *et al.* Lactobacillus bulgaricus-loaded and chia mucilage-rich gum arabic/pullulan nanofiber film: an effective antibacterial film for the preservation of fresh beef. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 266, p. 1-9, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131000>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024018051>. Acesso em: 15 jun. 2024.

JADERI, Zeinab *et al.* Effects of glycerol and sorbitol on a novel biodegradable edible film based on Malva sylvestris flower gum. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 991-1000, 17 nov. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.3134>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.3134>. Acesso em: 13 jun. 2023.

JAFARI, Roya; ZANDI, Mohsen; GANJLOO, Ali. Characterization of Alginate-Gelatin Edible Film Containing Anise (*Pimpinella anisum* L.) Essential Oil. **Journal Of Polymers And The Environment**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 1568-1583, 2 dez. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-022-02707-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-022-02707-8#article-info>. Acesso em: 23 mar. 2024.

JANGID, Ashok Kumar *et al.* Engineered inulin-based hybrid biomaterials for augmented immunomodulatory responses. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 340, p. 1-20, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122311>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486172400537X>. Acesso em: 15 set. 2024.

Jl, Jing *et al.* Probiotics, prebiotics, and postbiotics in health and disease. **Medcomm**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 1-23, 4 nov. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mco2.420>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mco2.420>. Acesso em: 09 abr. 2024.

JIA, Yangyang *et al.* Pectin: a review with recent advances in the emerging revolution and multiscale evaluation approaches of its emulsifying characteristics. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 157, p. 1-22, 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110428>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X24007021>. Acesso em: 13 fev. 2024.

JONG, Sze Hui; ABDULLAH, Norazlin; MUHAMMAD, Norhayati. Effect of acid type and concentration on the yield, purity, and esterification degree of pectin extracted from durian rinds. **Results In Engineering**, [s. l.], v. 17, p. 1-13, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100974>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123023001019>. Acesso em: 11 maio 2023.

KANG, Lixin *et al.* Insights into ultrasonic treatment on the properties of pullulan/oat protein/nisin composite film: mechanical, structural and physicochemical properties. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 402, p. 1-10, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134237>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814622021999>. Acesso em: 23 maio 2024.

KARIM, Nahrusyifa' A.; MUSA, Syafiq M.; LAZIM, Azwan Mat. Microplastics Physicochemical Properties in Commercial Bivalves from Malaysia. **Ssrn**, [s. l.], p. 1-30, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4366421>. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4366421](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4366421). Acesso em: 28 fev. 2024.

KARIMI, Naser *et al.* Preparation and characterization of whey protein isolate/polydextrose-based nanocomposite film incorporated with cellulose nanofiber and *L. plantarum*: a new probiotic active packaging system. **Lwt**, [s. l.], v. 121, p. 1-8, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108978>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819313209>. Acesso em: 13 jan. 2024.

KE, Chuxin; LI, Liang. Influence mechanism of polysaccharides induced Maillard reaction on plant proteins structure and functional properties: a review. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 302, p. 1-13, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120430>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861722013352>. Acesso em: 15 jul. 2023.

KHAN, Hayat *et al.* Experimental methods in chemical engineering: x-ray diffraction

spectroscopy.:xrd. **The Canadian Journal Of Chemical Engineering**, [s. l.], v. 98, n. 6, p. 1255-1266, 3 abr. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cjce.23747>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cjce.23747>. Acesso em: 04 jun. 2023.

KONG, Ianne *et al.* Application of Edible Film with Asian Plant Extracts as an Innovative Food Packaging: a review. **Coatings**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1-18, 20 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings13020245>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/13/2/245>. Acesso em: 23 maio 2024.

KONG, Peifu; ROSNAN, Shalida Mohd; ENOMAE, Toshiharu. Carboxymethyl cellulose–chitosan edible films for food packaging: a review of recent advances. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 346, p. 1-23, 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122612>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861724008385>. Acesso em: 13 ago. 2024.

KUSNADI, Joni *et al.* Development of low-cost edible coatings based on polysaccharides with active lactic acid bacteria for the protection of fresh produce modeled using fresh cut apples. **Food Science And Technology International**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 287-298, 19 jan. 2022. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/10820132221075117>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/10820132221075117>. Acesso em: 13 set. 2023.

KWEON, Dong-Keon; HAN, Jung-Ah. Development of hyaluronic acid-based edible film for alleviating dry mouth. **Food Science And Human Wellness**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 371-377, mar. 2023. Tsinghua University Press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453022001513>. Acesso em: 13 maio 2024.

LAWAL, Kehinde Ganiyat *et al.* Development of Carboxymethylcellulose Based Active and Edible Food Packaging Films Using Date Seed Components as Reinforcing Agent: physical, biological, and mechanical properties. **Food Biophysics**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 497-509, 3 jun. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-023-09793-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11483-023-09793-8#article-info>. Acesso em: 11 mar. 2024.

LEONE, Roberta de Souza *et al.* Evolved gas analysis (coupled TG–DSC–FTIR) applied to the thermal behaviour of inulin. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, [s. l.], v. 108, p. 323-326, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2014.04.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237014000850>. Acesso em: 12 jul. 2023.

LI, Tiange *et al.* Effects of steam explosion treatment on the physicochemical properties and biological activities of okara-derived soluble dietary fibre. **International Journal Of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 58, n. 11, p. 5926-5937, 23 set. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.16695>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.16695>. Acesso em: 02 out. 2023.

LIANG, Zhong *et al.* Production, structural and functional characteristics of soluble dietary fiber from fermented okara by *Penicillium expansum*. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 253, p. 1-11, dez. 2023. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126621>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023035171>. Acesso em: 13  
 jan. 2024.

LINARES-CASTAÑEDA, Alejandra *et al.* Physical properties of zein-alginate-glycerol edible films and their application in the preservation of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). **Food Science And Biotechnology**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 889-902, 26 jul. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-023-01393-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10068-023-01393-z#article-info>. Acesso em: 08 fev. 2024.

MACIEL, Vinicius Borges V.; YOSHIDA, Cristiana M.P.; FRANCO, Telma Teixeira. Chitosan/pectin polyelectrolyte complex as a pH indicator. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 132, p. 537-545, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.047>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861715005548>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MAJEED, Toiba *et al.* Role of additives in starch-based edible films and coating: a review with current knowledge. **Progress In Organic Coatings**, [s. l.], v. 181, p. 1-13, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107597>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023001935>. Acesso em: 22 mar. 2024.

MARAN, J. Prakash *et al.* Development of model for barrier and optical properties of tapioca starch based edible films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 1335-1347, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.069>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861712009873?via%3Dihub>. Acesso em: 07 maio 2024.

MARQUES, Chayane Gomes *et al.* Prebióticos e probióticos na saúde e no tratamento de doenças intestinais: uma revisão integrativa. **Research, Society And Development**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 1-13, 12 out. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9071>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9071>. Acesso em: 15 mar. 2024.

MIR, Nisar A.; RIAR, Charanjit S.; SINGH, Sukhcharn. Effect of film forming solution pH on antibacterial, antioxidant and structural characteristics of edible films from modified quinoa protein. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 135, p. 1-10, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108190>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X2200710X>. Acesso em: 05 set. 2023.

MURPHY, Emma J. *et al.*  $\beta$ -Glucan Metabolic and Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. **Journal Of Fungi**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 1-36, 10 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jof6040356>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/6/4/356>. Acesso em: 13 set. 2024.

NAYAK, Baneeprajnya *et al.* UV blocking edible films based on corn starch/moringa gum incorporated with pine cone extract for sustainable food packaging. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 267, p. 1-10, maio 2024. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131545>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181302402350X>. Acesso em: 22 jun. 2024.

NGO, Thi Minh Phuong *et al.* Characteristics and Antimicrobial Properties of Active Edible Films Based on Pectin and Nanochitosan. **International Journal Of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 1-16, 23 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21062224>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/6/2224>. Acesso em: 12 abr. 2023.

NILE, Shivraj Hariram *et al.* Soybean Processing Wastes: novel insights on their production, extraction of isoflavones, and their therapeutic properties. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [s. l.], v. 70, n. 23, p. 6849-6863, 13 out. 2021. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04927>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.1c04927>. Acesso em: 14 maio 2023.

NONGNUAL, Teeranan *et al.* Citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose edible films: a case study on preserving freshness in bananas. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 267, p. 1-15, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131135>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024019408>. Acesso em: 13 jun. 2024.

OROZCO-PARRA, Julieth; MEJÍA, Clara M.; VILLA, Cristian C.. Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and Lactobacillus casei. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 104, p. 1-8, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105754>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19326359>. Acesso em: 06 ago. 2023.

PATHARE, Pankaj B.; OPARA, Umezuruike Linus; AL-SAID, Fahad Al-Julanda. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: a review. **Food And Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 36-60, 11 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11947-012-0867-9>. Acesso em: 15 ago. 2023.

PEREIRA, Joana Odila *et al.* Characterization of Edible Films Based on Alginate or Whey Protein Incorporated with Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12 and Prebiotics. **Coatings**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 493, 4 ago. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings9080493>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/8/493>. Acesso em: 11 jul. 2023.

PERINELLI, Diego Romano *et al.* Inulin Functionalized “Giuncata” Cheese as a Source of Prebiotic Fibers. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 1-12, 20 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12183499>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/18/3499>. Acesso em: 25 maio 2024.

PIERMARIA, J. *et al.* Edible kefir films as vehicle for probiotic microorganisms. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 32, p. 193-199, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146685641500171X>. Acesso em: 13

abr. 2024.

PLAZA-DIAZ, Julio *et al.* Mechanisms of Action of Probiotics. **Advances In Nutrition**, [s. l.], v. 10, p. 49-66, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1093/advances/nmy063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2161831322001995>. Acesso em: 13 fev. 2024.

POURMADADI, Mehrab *et al.* Novel carboxymethyl cellulose based nanocomposite: a promising biomaterial for biomedical applications. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 130, p. 211-226, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2023.03.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511323001150>. Acesso em: 08 jan. 2024.

PRIVATTI, Rafaela T. *et al.* Saline as solvent and ethanol-based purification process for the extraction of proteins and isoflavones from wet okara. **Food Chemistry**, [s. l.], p. 1-11, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138605>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030881462400253X>. Acesso em: 13 mar. 2024.

PUTRI, Tindy Rahmadi *et al.* Effect of different starch on the characteristics of edible film as functional packaging in fresh meat or meat products: a review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 87, p. 192-199, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.396>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323009616>. Acesso em: 10 mar. 2024.

QUINTANA, Gabriel *et al.* Quantification of the environmental impact arising from the utilization of whole and defatted Okara in fermentative and dehydration processes. **Food Research International**, [s. l.], v. 174, p. 1-8, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113645>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996923011936>. Acesso em: 02 maio 2024.

RAMAKRISHNAN, Rejish *et al.* Recent advances in carboxymethyl cellulose-based active and intelligent packaging materials: a comprehensive review. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 259, p. 1-16, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129194>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023060932>. Acesso em: 23 mar. 2024.

RATNA *et al.* Development of biocomposite edible film food packaging based on gelatin from chicken claw waste. **Case Studies In Chemical And Environmental Engineering**, [s. l.], v. 8, p. 1-11, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100371>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016423000762>. Acesso em: 05 jan. 2024.

RAZZAQ, Hussam A.A. *et al.* Barley  $\beta$ -glucan-protein based bioplastic film with enhanced physicochemical properties for packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 58, p. 276-283, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X16300844>. Acesso em: 11



fev. 2024.

RHIM, Jong-Whan *et al.* Effect of the processing methods on the performance of polylactide films: thermocompression versus solvent casting. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 101, n. 6, p. 3736-3742, 27 jun. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.23403>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.23403>. Acesso em: 14 set. 2023.

RICARTE, Gabriella Neves *et al.* Techno-functional properties of whole okara flour hydrolyzed with a carbohydrase complex. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 60, p. 1-8, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104353>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429224007831>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SAADATKHAH, Nooshin *et al.* Experimental methods in chemical engineering: thermogravimetric analysis.: tga. **The Canadian Journal Of Chemical Engineering**, [s. l.], v. 98, n. 1, p. 34-43, 5 dez. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cjce.23673>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cjce.23673>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SADEGHI-VARKANI, Atina; EMAM-DJOMEH, Zahra; ASKARI, Gholamreza. Physicochemical and microstructural properties of a novel edible film synthesized from Balangu seed mucilage. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 108, p. 1110-1119, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813017320895>. Acesso em: 03 abr. 2024.

SADIQ, Batol Naseer; MOUSA, Ebtisam Fadel. Production of Nano Beta-Glucans From Baking Yeast *Saccharomyces cerevisiae* and Its Comparison With Extracted Beta-Glucans. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1325, n. 1, p. 1-23, 1 abr. 2024. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1325/1/012049>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1325/1/012049/meta>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SÁEZ-ORVIZ, S.; RENDUELES, M.; DÍAZ, M.. Impact of adding prebiotics and probiotics on the characteristics of edible films and coatings- a review. **Food Research International**, [s. l.], v. 164, p. 1-14, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112381>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922014399>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SEM WAL, Anupama; AMBATIPUDI, Kiran; NAVANI, Naveen Kumar. Development and characterization of sodium caseinate based probiotic edible film with chia mucilage as a protectant for the safe delivery of probiotics in functional bakery. **Food Hydrocolloids For Health**, [s. l.], v. 2, p. 1-11, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100065>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667025922000127>. Acesso em: 14 maio 2024.

SEYEDZADEH-HASHEMI, Sahar *et al.* Characterization of synbiotic films based on carboxymethyl cellulose/ $\beta$ -glucan and development of a shelf life prediction model. **Food**

**Bioscience**, [s. l.], v. 51, p. 1-11, fev. 2023. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102228>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429222006873>. Acesso em: 14 fev. 2024.

SHAHRAMPOUR, Dina *et al.* Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. **Lwt**, [s. l.], v. 118, p. 1-10, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108758>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819311004>. Acesso em: 03 abr. 2024.

SHANBHAG, Chetana *et al.* Formulation and characterization of starch-based novel biodegradable edible films for food packaging. **Journal Of Food Science And Technology**, [s. l.], v. 60, n. 11, p. 2858-2867, 19 ago. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-023-05803-2>. Disponível em:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-023-05803-2#article-info>. Acesso em: 15 set. 2023.

SILVA, K.s. *et al.* Physicochemical and microstructural properties of whey protein isolate-based films with addition of pectin. **Food Packaging And Shelf Life**, [s. l.], v. 16, p. 122-128, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpack.2018.03.005>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289417301850>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SINGH, Poonam *et al.* Cellulose-based edible films for probiotic entrapment. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 88, p. 68-74, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.057>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X18310841>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SOBRAL, P.J.A. *et al.* Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 15, n. 4-6, p. 423-432, jul. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0268-005x\(01\)00061-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0268-005x(01)00061-3). Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X01000613>. Acesso em: 04 fev. 2024.

SOGUT, E.; FILIZ, B. Ertekin; SEYDIM, A.C.. Whey protein isolate- and carrageenan-based edible films as carriers of different probiotic bacteria. **Journal Of Dairy Science**, [s. l.], v. 105, n. 6, p. 4829-4842, jun. 2022. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2021-21245>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030222002259>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG incorporated in edible films: impact of anionic biopolymers and whey protein concentrate. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 70, p. 345-355, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17305970>. Acesso em: 08 abr. 2024.

SUHAG, Rajat *et al.* Film formation and deposition methods of edible coating on food

products: a review. **Food Research International**, [s. l.], v. 136, p. 1-16, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920306074>. Acesso em: 04 jan. 2024.

TABARI, Mahsa. Characterization of a new biodegradable edible film based on Sago Starch loaded with Carboxymethyl Cellulose nanoparticles. **Nanomedicine Research Journal**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 25-30, jan. 2018. Iranian Society of Nanomedicine. <http://dx.doi.org/10.22034/nmrj.2018.01.004>. Disponível em: [https://www.nanomedicine-rj.com/article\\_31897.html](https://www.nanomedicine-rj.com/article_31897.html). Acesso em: 14 mar. 2023.

TANER, Ozgur Oztuna; EKICI, Lutfiye; AKYUZ, Lalehan. CMC-based edible coating composite films from Brewer's spent grain waste: a novel approach for the fresh strawberry package. **Polymer Bulletin**, [s. l.], v. 80, n. 8, p. 9033-9058, 2 out. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-022-04490-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-022-04490-x>. Acesso em: 08 nov. 2023.

TIAN, Yu *et al.* Effect of modified okara insoluble dietary fibre on the quality of yoghurt. **Food Chemistry: X**, [s. l.], v. 21, p. 1-10, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101064>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157523005072>. Acesso em: 12 abr. 2024.

TIAN, Yu *et al.* Effects of cavitation-jet technology combined with enzyme treatment on the structure properties and functional properties of OKARA insoluble dietary fiber. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 423, p. 1-11, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136286>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814623009044>. Acesso em: 04 nov. 2023.

TODHANAKASEM, Tatsaporn *et al.* Development of Bioactive *Opuntia ficus-indica* Edible Films Containing Probiotics as a Coating for Fresh-Cut Fruit. **Polymers**, [s. l.], v. 14, n. 22, p. 5018, 18 nov. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym14225018>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/22/5018>. Acesso em: 17 abr. 2024.

TOOMER, Ondulla T. *et al.* Current Agronomic Practices, Harvest & Post-Harvest Processing of Soybeans (*Glycine max*)—A Review. **Agronomy**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1-14, 31 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13020427>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/2/427>. Acesso em: 17 mar. 2024.

TRANG, Vu Thu *et al.* Functional Properties of Maillard Reaction Products in Food: antimicrobial activity of aminoreductone against pathogenic bacteria. **Food Science And Technology Research**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 833-841, 2013. Japanese Society for Food Science and Technology. <http://dx.doi.org/10.3136/fstr.19.833>. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/fstr/19/5/19\\_833/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/fstr/19/5/19_833/_article/-char/ja/). Acesso em: 12 jul. 2023.

TRIDTITANAKIAT, Pavalee Chompoorat; HERNÁNDEZ-ESTRADA, Zorba J.; RAYAS-DUARTE, Patricia. Modeling the Influence of Okara Flour Supplementation from Time-Temperature Drying Treatment on the Quality of Gluten-Free Roll Produced from Rice

Flour. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 1-13, 14 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12183421>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/18/3421>. Acesso em: 05 jul. 2024.

TRISTANTO, Nerissa Arviana *et al.* Pectin extracted from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel and its usage in edible film. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 276, p. 1-12, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133804>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024046099>. Acesso em: 15 set. 2024.

TULY, Jamila A.; MA, Haile. Bioconversion of food industrial waste okara by microbial fermentation: scope of omics study and possibility. **Trends In Food Science & Technology**, [s. l.], v. 146, p. 1-13, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104391>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224424000670>. Acesso em: 02 jun. 2024.

VASILE, C. *et al.* EFFECTIVENESS OF CHITOSAN AS ANTIMICROBIAL AGENT IN LDPE/CS COMPOSITE FILMS AS MINCED POULTRY MEAT PACKAGING MATERIALS. **Cellulose Chemistry And Technology**, [s. l.], p. 325-336, 24 jun. 2013.

VIANA, Rayra Melo *et al.* Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 196, p. 27-32, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718305411>. Acesso em: 05 nov. 2023.

VITAL, Ana Carolina Pelaes *et al.* Okara residue as source of antioxidants against lipid oxidation in milk enriched with omega-3 and bioavailability of bioactive compounds after in vitro gastrointestinal digestion. **Journal Of Food Science And Technology**, [s. l.], v. 55, n. 4, p. 1518-1524, 19 fev. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-018-3069-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-018-3069-2>. Acesso em: 14 maio 2023.

VONG, Weng Chan; LIU, Shao-Quan. Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition. **Trends In Food Science & Technology**, [s. l.], v. 52, p. 139-147, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224415300340>. Acesso em: 17 fev. 2024.

VONG, Weng Chan; HUA, Xin Yi; LIU, Shao-Quan. Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Yarrowia lipolytica* improved nutritional and flavour properties of okara. **Lwt**, [s. l.], v. 90, p. 316-322, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817309441>. Acesso em: 14 set. 2023.

WANG, Miaomiao *et al.* In vitro colonic fermentation of dietary fibers: fermentation rate, short-chain fatty acid production and changes in microbiota. **Trends In Food Science & Technology**, [s. l.], v. 88, p. 1-9, jun. 2019. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.005>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418307878>. Acesso em: 10 fev. 2024.

WANG, Qiansen *et al.* Multifunctional soybean protein isolate-graft-carboxymethyl cellulose composite as all-biodegradable and mechanically robust mulch film for “green” agriculture. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 323, p. 1-10, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121410>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861723008755>. Acesso em: 03 fev. 2024.

WANG, Shihui *et al.* Biodegradable starch-polyvinyl alcohol composite films by the incorporation of lignin for packaging applications. **Journal Of Thermoplastic Composite Materials**, [s. l.], p. 1-23, 14 fev. 2024. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/08927057241233566>. Disponível em:  
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/08927057241233566>. Acesso em: 17 abr. 2024.

WANI, Khalid Mehmood; UPPALURI, Ramagopal V.s.. Characterization of pectin extracted from pomelo peel using pulsed ultrasound assisted extraction and acidic hot water extraction process. **Applied Food Research**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 1-7, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2023.100345>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502223000823>. Acesso em: 07 maio 2024.

WARDANA, Ata Aditya *et al.* Probiotic cells support alginate-based edible film properties: study of optical, water barrier and antifungal characteristics. **International Journal Of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 929-938, 6 out. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.16113>. Disponível em:  
<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.16113>. Acesso em: 14 ago. 2023.

WU, Changling *et al.* Effect of cavitation jet processing on the physicochemical properties and structural characteristics of okara dietary fiber. **Food Research International**, [s. l.], v. 134, p. 1-8, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109251>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920302763>. Acesso em: 19 abr. 2024.

XIE, Mengxi *et al.* Effects of combined fermentation and ultrasonic treatments on the structure and properties of Okara soluble dietary fiber. **Food Chemistry Advances**, [s. l.], v. 4, p. 1-7, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2024.100682>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X24000789>. Acesso em: 07 ago. 2024.

YANG, Jinlong; YU, Juanli; HUANG, Yong. Recent developments in gelcasting of ceramics. **Journal Of The European Ceramic Society**, [s. l.], v. 31, n. 14, p. 2569-2591, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.12.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955221911000057>. Acesso em: 16 abr. 2024.

YASMEEN, Farhat *et al.* Fabrication and testing of edible films incorporated with ZnO nanoparticles to enhance the shelf life of bread. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 56, p. 1-9, dez.

2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103111>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429223007629>. Acesso em: 13 maio 2024.

YE, Jingsong *et al.* Physical and Antibacterial Properties of Sodium Alginate—Sodium Carboxymethylcellulose Films Containing *Lactococcus lactis*. **Molecules**, [s. l.], v. 23, n. 10, p. 1-14, 15 out. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23102645>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/10/2645>. Acesso em: 07 set. 2023.

YILDIRIM-YALCIN, Meral; TORNUK, Fatih; TOKER, Omer Said. Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. **Trends In Food Science & Technology**, [s. l.], v. 129, p. 179-193, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224422004010>. Acesso em: 13 out. 2023.

YOSHII, Hidefumi *et al.* Hydrolysis Kinetics of Okara and Characterization of Its Water-soluble Polysaccharides. **Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry**, [s. l.], v. 60, n. 9, p. 1406-1409, jan. 1996. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.60.1406>. Disponível em: <https://academic.oup.com/bbb/article/60/9/1406/5949218?login=false>. Acesso em: 14 fev. 2023.

ZENG, Meijun; VAN PIJKEREN, Jan-Peter; PAN, Xuejun. Gluco-oligosaccharides as potential prebiotics: synthesis, purification, structural characterization, and evaluation of prebiotic effect. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 2611-2651, 18 abr. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.13156>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.13156>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ZHAO, Yang *et al.* Different aggregation states of barley  $\beta$ -glucan molecules affects their solution behavior: a comparative analysis. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 101, p. 1-8, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105543>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19322398>. Acesso em: 12 maio 2024.

ZHOU, Wei *et al.* Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: characterization and application in mango preservation. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 256, p. 1-9, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117579>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720317525>. Acesso em: 21 set. 2023.

ZÓIKIEWICZ, Jakub *et al.* Postbiotics—A Step Beyond Pre- and Probiotics. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 1-17, 23 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu12082189>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/8/2189>. Acesso em: 27 abr. 2024.

## APÊNDICE A - Testes de Tukey

Tabela 4 – Teste de Tukey para rendimento

Amostra	Index	Mean Difference	Std. Error	q Value	Prob	Sig Flag	Alpha
10 20	1	-0.03452	0.04189	11.654	0.95026	0	0.05
10 30	2	-0.73524	0.04189	2.482.446	<0.0001	1	0.05
10 40	3	-0.90871	0.04189	3.068.137	<0.0001	1	0.05
10 50	4	-100.591	0.04189	3.396.326	<0.0001	1	0.05
10 70	5	-493.716	0.04189	16.669.707	<0.0001	1	0.05
20 30	6	-0.70072	0.04189	2.365.906	<0.0001	1	0.05
20 40	7	-0.87419	0.04189	2.951.597	<0.0001	1	0.05
20 50	8	-0.97139	0.04189	3.279.785	<0.0001	1	0.05
20 70	9	-490.265	0.04189	16.553.167	<0.0001	1	0.05
30 40	10	-0.17347	0.04189	585.691	0.05592	0	0.05
30 50	11	-0.27067	0.04189	913.879	0.00896	1	0.05
30 70	12	-420.192	0.04189	14.187.261	<0.0001	1	0.05
40 50	13	-0.0972	0.04189	328.188	0.32919	0	0.05
40 70	14	-402.846	0.04189	1.360.157	<0.0001	1	0.05
50 70	15	-393.125	0.04189	13.273.382	<0.0001	1	0.05

Fonte: Autor (2024).

Tabela 5 – Teste de Tukey para viabilidade

Amostra	Index	Mean Difference	Std. Error	DF	q Value	Prob	Alpha	Sig Flag
FI.2 FB.2	0	-29.29434	21.35713	2	1.9398	0.4918	0.05	0
FI.2 FO.2	1	27.55821	21.35713	2	1.82483	0.52227	0.05	0
FB.2 FO.2	2	56.85255	21.35713	2	3.76463	0.20474	0.05	0

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico;  
 FO.2 – Filme de fibra de okará com probiótico.

Tabela 6 – Teste de Tukey para espessura

Amostra	Index	Mean Difference	Std. Error	q Value	Prob	Sig Flag
FI.2 FB.2	0	0,011	0,00319	4,87088	0,10768	0
FI.1 FB.2	1	0,002	0,00319	0,88561	0,98358	0
FB.1 FI.2	2	0,008	0,00319	3,54246	0,27427	0
FB.1 FB.2	3	-0,001	0,00319	0,44281	0,99931	0
FI.2 FB.2	4	-0,009	0,00319	3,98527	0,20037	0
FI.1 FB.1	5	0,003	0,00346	122,474	0,82317	0
FI.1 FP	6	0,01	0,00346	408,248	0,1748	0
FI.1 FO.1	7	0,003	0,00346	122,474	0,82317	0
FB.1 FP	8	0,007	0,00346	285,774	0,34772	0
FB.1 FO.1	9	6,94E-13	0,00346	2,83E-10	1	0
FP FO.1	10	-0,007	0,00346	285,774	0,34772	0

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FL1 – Filme de Inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;  
 FL2 – Filme de Inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Tabela 7 – Teste de Tukey para opacidade

Amostra	Index	Mean Difference	Std. Error	q Value	Prob	Sig Flag
FL1 FB.1	0	-0,34286	0,19333	2,50799	0,54734	0
FL1 FL2	1	-0,65774	0,19333	4,81134	0,11219	0
FL1 FB.2	2	-0,45536	0,19333	3,33093	0,31815	0
FB.1 FL2	3	-0,31488	0,19333	2,30335	0,61659	0
FB.1 FB.2	4	-0,1125	0,19333	0,82293	0,98801	0
FL2 FB.2	5	0,20238	0,19333	1,48041	0,88359	0
FL1 FB.1	6	-0,34286	0,19333	2,50799	0,54734	0
FL1 FP	7	-0,6967	0,19333	5,09637	0,09232	0
FL1 FO.1	8	-1,67964	0,19333	12,28655	0,00233	1
FB.1 FP	9	-0,35385	0,19333	2,58838	0,52113	0
FB.1 FO.1	10	-1,33679	0,19333	9,77856	0,00663	1
FP FO.1	11	-0,98294	0,19333	7,19018	0,02494	1

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;  
 FL1 – Filme de Inulina sem probiótico;  
 FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;  
 FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;  
 FL2 – Filme de Inulina com probiótico;  
 FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Tabela 8 – Teste de Tukey para coloração

(continua)

Parâmetro L						
Amostra	Index	Mean Difference	Std. Error	q Value	Prob	Sig Flag
FL1 FB.1	6	0,68625	0,2475	3,92117	0,22337	0
FL1 FP	7	3,66	0,2475	20,91291	<0.0001	1
FL1 FO.1	8	13,675	0,2475	78,13773	<0.0001	1
FL1 FL2	9	0,7125	0,2475	4,07116	0,19906	0
FL1 FB.2	10	1,92375	0,2475	10,99214	0,00233	1
FB.1 FP	11	2,97375	0,2475	16,99174	2,04E-04	1
FB.1 FO.1	12	12,98875	0,2475	74,21656	<0.0001	1
FB.1 FL2	13	0,02625	0,2475	0,14999	1	0
FB.1 FB.2	14	1,2375	0,2475	7,07096	0,02205	1
FP FO.1	15	10,015	0,2475	57,22482	<0.0001	1
FP FL2	16	-2,9475	0,2475	16,84175	2,15E-04	1
FP FB.2	17	-1,73625	0,2475	9,92078	0,00403	1
FO.1 FL2	18	-12,9625	0,2475	74,06657	<0.0001	1
FO.1 FB.2	19	-11,7513	0,2475	67,1456	<0.0001	1



Tabela 8 – Teste de Tukey para coloração

(conclusão)

<b>Parâmetro L</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Prob</b>	<b>Sig Flag</b>
FI.2 FB.2	20	1,21125	0,2475	6,92097	0,02439	1
<b>Parâmetro a</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Prob</b>	<b>Sig Flag</b>
FI.1 FB.1	6	0,17	0,05171	4,64955	0,12741	0
FI.1 FP	7	-0,58	0,05171	15,86317	3,02E-04	1
FI.1 FO.1	8	-3,59375	0,05171	98,29009	<0.0001	1
FI.1 FI.2	9	0,075	0,05171	2,05127	0,76304	0
FI.1 FB.2	10	0,075	0,05171	2,05127	0,76304	0
FB.1 FP	11	-0,75	0,05171	20,51271	<0.0001	1
FB.1 FO.1	12	-3,76375	0,05171	102,9396	<0.0001	1
FB.1 FI.2	13	-0,095	0,05171	2,59828	0,57081	0
FB.1 FB.2	14	-0,095	0,05171	2,59828	0,57081	0
FP FO.1	15	-3,01375	0,05171	82,42692	<0.0001	1
FP FI.2	16	0,655	0,05171	17,91444	1,51E-04	1
FP FB.2	17	0,655	0,05171	17,91444	1,51E-04	1
FO.1 FI.2	18	3,66875	0,05171	100,3414	<0.0001	1
FO.1 FB.2	19	3,66875	0,05171	100,3414	<0.0001	1
FI.2 FB.2	20	0	0,05171	0	1	0
<b>Parâmetro b</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Prob</b>	<b>Sig Flag</b>
FI.1 FB.1	6	-2,2675	0,10303	31,12292	<0.0001	1
FI.1 FP	7	-4,93625	0,10303	67,75327	<0.0001	1
FI.1 FO.1	8	-27,3775	0,10303	375,7741	<0.0001	1
FI.1 FI.2	9	-1,44	0,10303	19,76494	<0.0001	1
FI.1 FB.2	10	-4,34125	0,10303	59,5865	<0.0001	1
FB.1 FP	11	-2,66875	0,10303	36,63034	<0.0001	1
FB.1 FO.1	12	-25,11	0,10303	344,6512	<0.0001	1
FB.1 FI.2	13	0,8275	0,10303	11,35798	0,00195	1
FB.1 FB.2	14	-2,07375	0,10303	28,46358	<0.0001	1
FP FO.1	15	-22,4413	0,10303	308,0209	<0.0001	1
FP FI.2	16	3,49625	0,10303	47,98832	<0.0001	1
FP FB.2	17	0,595	0,10303	8,16676	0,01096	1
FO.1 FI.2	18	25,9375	0,10303	356,0092	<0.0001	1
FO.1 FB.2	19	23,03625	0,10303	316,1876	<0.0001	1
FI.2 FB.2	20	-2,90125	0,10303	39,82156	<0.0001	1

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FI.1 – Filme de Inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;

FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Tabela 9 – Teste de Tukey para solubilidade

<b>Amostra</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Prob</b>	<b>Sig Flag</b>
FL.1 FB.1	0	-0,17719	0,01758	14,25106	0,00116	1
FL.1 FP	1	-0,00759	0,01758	0,61026	0,99687	0
FL.1 FO.1	2	-0,09301	0,01758	7,48099	0,02117	1
FL.1 FI.2	3	-2,58E-04	0,01758	0,02076	1	0
FL.1 FB.2	4	-0,15146	0,01758	12,18197	0,00243	1
FB.1 FP	5	0,1696	0,01758	13,6408	0,00143	1
FB.1 FO.1	6	0,08418	0,01758	6,77008	0,03185	1
FB.1 FI.2	7	0,17693	0,01758	14,23031	0,00117	1
FB.1 FB.2	8	0,02573	0,01758	2,06909	0,69808	0
FP FO.1	9	-0,08543	0,01758	6,87072	0,03001	1
FP FI.2	10	0,00733	0,01758	0,58951	9,97E-01	0
FP FB.2	11	-0,14388	0,01758	11,57171	0,00308	1
FO.1 FI.2	12	0,09276	0,01758	7,46023	0,02141	1
FO.1 FB.2	13	-0,05845	0,01758	4,70098	0,12109	0
FI.2 FB.2	14	-0,15121	0,01758	12,16121	0,00245	1

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FL.1 – Filme de Inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;

FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Tabela 10 – Teste de Tukey para PVA

<b>Amostra</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Prob</b>	<b>Sig Flag</b>
FL.1 FB.1	0	3,35E-11	2,23E-11	2,12719	0,67784	0
FL.1 FP	1	1,63E-11	2,23E-11	1,0367	0,96852	0
FL.1 FO.1	2	4,03E-11	2,23E-11	2,56061	0,53011	0
FL.1 FI.2	3	7,15E-11	2,23E-11	4,53631	0,1358	0
FL.1 FB.2	4	1,49E-11	2,23E-11	0,94311	0,97861	0
FB.1 FP	5	-1,72E-11	2,23E-11	1,09049	0,96153	0
FB.1 FO.1	6	6,83E-12	2,23E-11	0,43342	0,99938	0
FB.1 FI.2	7	3,80E-11	2,23E-11	2,40912	0,58041	0
FB.1 FB.2	8	-1,87E-11	2,23E-11	1,18408	0,94718	0
FP FO.1	9	2,40E-11	2,23E-11	1,52391	0,8721	0
FP FI.2	10	5,51E-11	2,23E-11	3,49961	2,83E-01	0
FP FB.2	11	-1,47E-12	2,23E-11	0,09359	1	0
FO.1 FI.2	12	3,11E-11	2,23E-11	1,9757	0,73037	0
FO.1 FB.2	13	-2,55E-11	2,23E-11	1,6175	0,84579	0
FI.2 FB.2	14	-5,66E-11	2,23E-11	3,5932	0,26462	0

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FL.1 – Filme de Inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;

FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.

Tabela 11 – Teste de Tukey para propriedades mecânicas

<b>Comparação TS</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig Flag</b>
FP FI.1	0	-7.74658	0.79606	13.76198	0.05	1
FP FB.1	1	-14.78322	0.79606	26.26273	0.05	1
FP FO.1	2	-3.81092	0.79606	6.77018	0.05	1
FP FI.2	3	-8.60515	0.79606	15.28726	0.05	1
FP FB.2	4	-16.65058	0.79606	29.58014	0.05	1
FI.1 FB.1	5	-7.03663	0.79606	12.50074	0.05	1
FI.1 FO.1	6	3.93566	0.79606	6.9918	0.05	1
FI.1 FI.2	7	-0.85857	0.79606	1.52527	0.05	0
FI.1 FB.2	8	-8.90399	0.79606	15.81816	0.05	1
FB.1 FO.1	9	10.9723	0.79606	19.49254	0.05	1
FB.1 FI.2	10	6.17806	0.79606	10.97547	0.05	1
FB.1 FB.2	11	-1.86736	0.79606	3.31741	0.05	0
FO.1 FI.2	12	-4.79424	0.79606	8.51707	0.05	1
FO.1 FB.2	13	-12.83966	0.79606	22.80996	0.05	1
FI.2 FB.2	14	-8.04542	0.79606	14.29288	0.05	1
<b>Comparação EAB</b>	<b>Index</b>	<b>Mean Difference</b>	<b>Std. Error</b>	<b>q Value</b>	<b>Alpha</b>	<b>Sig Flag</b>
FP FI.1	0	-7.23961	3.49403	2.93024	0.05	0
FP FB.1	1	0.83262	3.49403	0.337	0.05	0
FP FO.1	2	16.97508	3.49403	6.87068	0.05	1
FP FI.2	3	4.04856	3.49403	1.63866	0.05	0
FP FB.2	4	-3.94299	3.49403	1.59593	0.05	0
FI.1 FB.1	5	8.07223	3.49403	3.26724	0.05	0
FI.1 FO.1	6	24.21469	3.49403	9.80092	0.05	1
FI.1 FI.2	7	11.28817	3.49403	4.5689	0.05	0
FI.1 FB.2	8	3.29662	3.49403	1.33431	0.05	0
FB.1 FO.1	9	16.14246	3.49403	6.53368	0.05	1
FB.1 FI.2	10	3.21594	3.49403	1.30166	0.05	0
FB.1 FB.2	11	-4.77561	3.49403	1.93293	0.05	0
FO.1 FI.2	12	-12.92652	3.49403	5.23202	0.05	0
FO.1 FB.2	13	-20.91807	3.49403	8.46661	0.05	1
FI.2 FB.2	14	-7.99155	3.49403	3.23459	0.05	0

Fonte: Autor (2024).

Legenda: FP – Filme de pectina sem probiótico;

FI.1 – Filme de Inulina sem probiótico;

FB.1 – Filme de  $\beta$ -glucana sem probiótico;

FO.1 – Filme de fibra de okará sem probiótico;

FI.2 – Filme de Inulina com probiótico;

FB.2 – Filme de  $\beta$ -glucana com probiótico.