



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS**  
**ALIMENTOS**

**EDIVALDO BRUNO DOS SANTOS COELHO**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*)**  
**COM INCORPORAÇÃO DE *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG ATRAVÉS DE**  
**REVESTIMENTO DE GELATINA**

**FORTALEZA**

**2024**

EDIVALDO BRUNO DOS SANTOS COELHO

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*)  
COM INCORPORAÇÃO DE *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG ATRAVÉS DE  
REVESTIMENTO DE GELATINA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Alimentos de Origem Vegetal.

Orientador (a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Luciana de Siqueira Oliveira.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C615d Coelho, Edivaldo Bruno dos Santos.  
Desenvolvimento de estruturado de cajá-umbu (*Spondias bahiensis*) com incorporação de *Lactaseibacillus rhamnosus* GG através de revestimento de gelatina / Edivaldo Bruno dos Santos Coelho. – 2024.  
190 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Profa. Dra. Luciana de Siqueira Oliveira..
1. Probiótico. 2. Revestimento comestível. 3. Gelatina. 4. Cajá-umbu. 5. Alimento funcional. I. Título.  
CDD 664
-

EDIVALDO BRUNO DOS SANTOS COELHO

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*)  
COM INCORPORAÇÃO DE *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG ATRAVÉS DE  
REVESTIMENTO DE GELATINA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Alimentos de Origem Vegetal.

Aprovado em: 28/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luciana de Siqueira Oliveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>ª</sup>. Nyanne Lima dos Santos Ferreira  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Dr. José Diogo da Rocha Viana  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de destacar o agradecimento a minha família, meu pai Raimundo Edivaldo, minha mãe Maria Zuila e meu irmão Pedro Rafael. A conclusão deste curso somente está sendo possível pôr todo companheirismo, suporte emocional e apoio incondicional durante todo esse período.

À Universidade Federal do Ceará, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade concedida.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luciana de Siqueira Oliveira, pela excelente orientação, apoio nas questões acadêmicas e suporte emocional, mesmo nos momentos em que cometi erros no decorrer do trabalho, continuou me apoiando e foi peça fundamental no meu desenvolvimento como profissional e pessoa.

Aos Drs. Laura Bruno e Paulo Henrique pela colaboração, sugestões e suporte, pois foram fundamentais no decorrer das atividades deste trabalho.

Aos meus amigos que fiz durante e por causa do curso de mestrado, em especial aos companheiros de grupo de pesquisa que acompanhavam e davam suporte e davam muito apoio. Destaque para Lorena, Elisabeth, Amélia, Nyanne, Elianderson, Diogo e Brenda, que contribuíram diretamente com alguma etapa deste trabalho.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) por possibilitar o uso de seus laboratórios para realização das análises de textura e microbiológicas.

Aos companheiros Anderson, Bruno, Marcelo e as Dr<sup>ª</sup>. Roselayne e Joana que acompanharam e colaboraram nas preparações dos encapsulamentos dos probióticos e análises microbiológicas.

Aos Drs. Ídila e Adriano na colaboração das análises de textura.

Aos servidores e técnicos do Departamento de Engenharia de Alimentos da UFC, Paulo, Egídio, Fernando e Liana que foram muito atenciosos e solícitos.

À Empresa Nossa Fruta Brasil que firmou parceria NossaFruta/UFC, fornecendo parte das matérias-primas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, pois foi fator determinante para a permanência e desenvolvimento deste trabalho.

*“Come in here, dear boy, have a cigar,  
you're gonna go far. You're gonna fly, you're  
never gonna die. You're gonna make it if you  
try, they're gonna love you”*

(Pink Floyd, 1975).

## RESUMO

Nos últimos anos, o crescente interesse na busca por opções alimentícias funcionais tem impulsionado a investigação e o desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, os estruturados de frutas são excelentes alternativas para a ingestão diária de vitaminas e compostos bioativos, sendo o cajá-umbu, fruta característica do nordeste brasileiro, uma matéria-prima promissora para o desenvolvimento destes produtos devido às suas qualidades sensoriais e potencial nutricional. O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um estruturado de cajá-umbu utilizando goma gelano de baixa e alta acilação como hidrocoloides adicionado de probiótico, visando fornecer alternativa de consumo dessa fruta e produto funcional probiótico. Primeiramente foi examinado os principais estudos científicos sobre os probióticos incorporados em alimentos por gelatina, através de análise cienciométrica e revisão de literatura sistemática a fim de descrever e mapear as principais tendências e nichos de pesquisa e utilizou-se a base de dados Scopus® e o tratamento deles com software VOSviewer e Bibliometrix (RStudio). Em seguida, estudo da viabilidade dos probióticos *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Lactobacillus rhamnosus* GG foi realizado utilizando diferentes métodos de incorporação ao estruturado: probiótico livre ou encapsulado (alginato) adicionado em revestimento de gelatina ou diretamente no estruturado. O método que possibilitou viabilidade mínima do probiótico em  $10^6$  UFC/g foi selecionado para o desenvolvimento do estruturado seguido de caracterização e estudo da viabilidade por 28 dias a 10 °C. Os estruturados (adicionado ou não do probiótico) foram elaborados a partir da polpa de cajá-umbu adoçada até atingir 12 °Brix, de acordo com análise sensorial realizada previamente (grupo de foco), adicionada a uma mistura de goma gelano de alta (HA) e baixa acilação (LA) (75% LA:25% HA) na concentração de 1,0% do peso da polpa. Análises físico-química, química, física (cor e textura) e sensorial (teste afetivo e CATA) foram realizadas. *Lactobacillus rhamnosus* GG livre em revestimento comestível de gelatina foi o método selecionado para adicionar probiótico ao estruturado de cajá-umbu, uma vez que para o BB-12, bem como para os demais métodos testados foram observados uma redução da viabilidade celular em valores inferior a  $10^6$  UFC/g. Foram identificados 100 artigos para cienciométrica, a revista mais evidente no assunto é Food Hydrocoloids, China e Brasil são os maiores publicadores e a gelatina tem potencial como material para desenvolvimento de alimentos probióticos. Os estruturados com probiótico apresentaram pH mais elevado em relação ao controle. Em relação aos compostos bioativos nos estruturados, não foi observada diferença significativa no conteúdo de vitamina C e de flavonoides amarelos, mas o conteúdo dos



polifenóis totais foi maior no grupo controle, o que consequentemente promoveu uma maior atividade antioxidante total. Foi observado uma diferença significativa da cor e da textura entre os estruturados adicionado do probiótico e o controle (sem probiótico), embora essa diferença não tenha interferido na aceitação do estruturado adicionado do probiótico. Contudo, a cor e a aparência já foram determinantes para sua menor aceitação sensorial. No estudo da estabilidade do probiótico no estruturado, observamos um crescimento na contagem de probióticos até o sétimo dia ( $10^7$  UFC/g), seguido por uma queda aos 28 dias ( $10^5$  UFC/g). O estruturado de cajá-umbu adicionado de probiótico por revestimento de gelatina apresenta potencial como alimento funcional, embora mais estudos sejam necessários visando garantir a estabilidade dos probióticos por maior tempo de armazenamento e aceitação sensorial.

**Palavras-chave:** alimento funcional; cajá-umbu; probiótico; revestimento comestível; gelatina.

## ABSTRACT

In recent years, the growing interest in the search for functional food options has driven the research and development of new products. In this way, structured fruit products are excellent alternatives for the daily intake of vitamins and bioactive compounds, and cajá-umbu, a fruit characteristic of northeastern Brazil, is a promising raw material for the development of these products due to its sensory qualities and nutritional potential. The aim of this study was to develop a structured cajá-umbu product using low and high acylation gellan gum as hydrocolloids and added probiotics, with the aim of providing an alternative way of consuming this fruit and a probiotic functional product. Firstly, the main scientific studies on probiotics incorporated into foods using gelatine were examined through scientometric analysis and a systematic literature review in order to describe and map the main trends and research niches, using the Scopus® database and processing them with VOSviewer and Bibliometrix software (RStudio). Next, the viability of the probiotics *Bifidobacterium animalis* BB-12 and *Lactobacillus rhamnosus* GG was studied using different methods of incorporation into the structure: free or encapsulated probiotic (alginate) added to a gelatine coating or directly into the structure. The method that allowed the probiotic to reach a minimum viability of  $10^6$  CFU/g was selected for the development of the structured product, followed by characterization and a viability study for 28 days at 10 °C. The structured products (with or without the probiotic) were made from cashew-umbu pulp sweetened to 12 °Brix, according to a sensory analysis carried out previously (focus group), added to a mixture of high (HA) and low acylation (LA) gellan gum (75%LA:25%HA) at a concentration of 1.0% of the weight of the pulp. Physico-chemical, chemical, physical (color and texture) and sensory (affective test and CATA) analyses were carried out. Free *Lactobacillus rhamnosus* GG in an edible gelatine coating was the method selected to add the probiotic to the cashew-umbu structure, since for BB-12, as well as for the other methods tested, a reduction in cell viability of less than  $10^6$  CFU/g was observed. A total of 100 articles were identified for scientometrics, the most prominent journal on the subject is Food Hydrocolloids, China and Brazil are the biggest publishers and gelatine has potential as a material for developing probiotic foods. Those structured with probiotics had a higher pH than the control. Regarding the bioactive compounds in the structured products, no significant difference was observed in the content of vitamin C and yellow flavonoids, but the content of total polyphenols was higher in the control group, which consequently promoted greater total antioxidant activity. There was a significant difference in color and texture between the probiotic-added structures and the control (without probiotic), although this

difference did not affect the acceptability of the probiotic-added structure. However, color and appearance were already determining factors in its lower sensory acceptability. In the study of the stability of the probiotic in the structured product, we observed an increase in the probiotic count up to the seventh day ( $10^7$  UFC/g), followed by a drop at 28 days ( $10^5$  UFC/g). The cajá-umbu structured food with probiotics added by gelatine coating has potential as a functional food, although more studies are needed to guarantee the stability of the probiotics over a longer storage period and sensory acceptance.

**Keywords:** functional food; cajá-umbu; probiotic; edible coating; gelatine.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema do método simples de extrusão por gotejamento para encapsulamento .....	26
Figura 2 -	Fruto cajá-umbu ( <i>Spondias bahiensis</i> ) .....	29
Figura 3 -	Estruturado de cajá-umbu e manga com extrato bioativo do caju .....	33
Figura 4 -	Metodologia de busca Cienciométrica .....	46
Figura 5 -	Evolução das citações e determinação das áreas de pesquisa do campo avaliado .....	47
Figura 6 -	Produção científica dos autores .....	59
Figura 7 -	Acoplamento bibliográfico de periódicos no decorrer do tempo .....	62
Figura 8 -	Redes de conexões de palavras-chaves e tópicos de tendência de 1995 – 2024 e evolução temporal das médias de publicação .....	64
Figura 9 -	Contribuição científica dos países .....	66
Figura 10 -	Organização experimental relativo ao desenvolvimento da dissertação .....	110
Figura 11 -	Realização do grupo focal dos estruturados de cajá-umbu com diferentes graus de doçura, localizado no Laboratório de Processamento, UFC, Fortaleza, Ceará .....	114
Figura 12 -	Estruturado de cajá-umbu com probiótico em revestimento de gelatina na visão transversal, lateral e frontal, respectivamente .....	116
Figura 13 -	Fluxograma das etapas do desenvolvimento do estruturado PG (com probiótico no revestimento de gelatina) e C (estruturado controle) .....	117

Figura 14 -	Amostras de estruturado de cajá-umbu controle e com probiótico em texturômetro, submetido a análise de textura .....	122
Figura 15 -	Placas de Petri contendo a contagem de células probióticos em UFC/g das amostras com diferentes métodos de incorporação de <i>B. animalis</i> BB-12 e <i>L. rhamnosus</i> GG .....	125
Figura 16 -	Superfícies do estruturado de cajá-umbu com probiótico em revestimento de gelatina .....	137
Figura 17 -	Comportamento da aplicação de força no teste de textura do estruturados de cajá-umbu controle e no contendo revestimento de gelatina com probiótico .....	140
Figura 18 -	Histograma comparando as médias dos valores de cada atributo do teste de aceitação do estruturado de cajá-umbu controle (C) e estruturado de cajá-umbu com probióticos livres no revestimento de gelatina (PG) .....	142
Figura 19 -	Percentual de marcação total dos atributos do CATA ( <i>Check-All-That-Apply</i> ) .....	146
Figura 20 -	Gráficos da análise de CATA ( <i>Check-All-That-Apply</i> ) dos estruturados de cajá-umbu .....	148

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Roteiro de perguntas utilizadas nas sessões de grupo de foco para avaliação das formulações de estruturado de cajá-umbu .....	114
Quadro 2 -	Resumo dos relatos coletados no grupo de foco relacionados às formulações de estruturado de cajá-umbu .....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores médios referentes às vitaminas hidrossolúveis (mg/100g) presentes no cajá-umbu .....	30
Tabela 2 -	Os 10 artigos mais citados sobre o uso de gelatina como um material de proteção e incorporação de probióticos em alimentos .....	49
Tabela 3 -	Estudos publicados até junho de 2024 sobre o uso de gelatina como um material de proteção e incorporação de probióticos em alimentos ..	68
Tabela 4 -	Especificação dos grupos de amostras analisadas .....	111
Tabela 5 -	Contagem de UFC/g das amostras com diferentes métodos de incorporação do probiótico .....	124
Tabela 6 -	Caracterização físico-química do estruturado de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG) .....	132
Tabela 7 -	Parâmetros de cor do estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG) .....	135
Tabela 8 -	Parâmetros de textura do estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG) .....	139
Tabela 9 -	Atributos do teste CATA indicados pelos provadores avaliando os estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG) .....	144

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aa	Atividade Água
ABTS	2,2- azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
ANOVA	Análise de Variância
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemistry</i>
APT	Avaliação instrumental da textura
AT	Acidez Titulável
C	Grupo Controle com Cajá-umbu e Xarope de Yacon
DFI	2,6 diclorofenol-indofenol
DSC	Varredura diferencial de calorimetria
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FRAP	<i>Ferric Antioxidant Reduction Power</i>
GL	Gelatina
HA	<i>High Acid</i>
IAL	Instituto Adolf Lutz
KBr	Brometo de potássio
LA	<i>Low Acid</i>
LAFRUTH	Laboratório de Frutos e Hortaliças
MF	Massa fresca
MRS	Man, Rogosa and Sharp
Pe	Estruturado com Probiótico Encapsulado



PET	Polifenóis extraíveis totais
pH	Potencial Hidrogeniônico
Pn	Estruturado com Probiótico Não Encapsulado
SS	Sólidos Solúveis
Trolox	6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
UFC	Unidades formadoras de colônia
UFC	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	20
2	<b>OBJETIVOS .....</b>	21
2.1	<b>Objetivo geral .....</b>	21
2.2	<b>Objetivos específicos .....</b>	21
3	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	22
3.1	<b>Alimentação saudável .....</b>	22
3.2	<b>Probióticos .....</b>	22
3.3	<b>Encapsulamento de probióticos .....</b>	25
3.3.1	<i>Técnica e matrizes de encapsulamento de probiótico .....</i>	25
3.4	<b>Filmes e revestimos comestíveis a base de gelatina .....</b>	27
3.5	<b>Cajá-umbu .....</b>	28
3.5.1	<i>Processamento do cajá-umbu .....</i>	30
3.6	<b>Estruturado de frutas .....</b>	31
4	<b>GELATINA COMO AGENTE PROTETOR E VEÍCULO PARA ADMINISTRAÇÃO DE PROBIÓTICOS POR MEIO DE ALIMENTOS: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA .....</b>	42
4.1	<b>Introdução .....</b>	44
4.2	<b>Materiais e métodos .....</b>	45
4.3	<b>Resultados e discussão .....</b>	46
4.3.1	<i>Estudo da evolução temporal das publicações .....</i>	46
4.3.2	<i>Estudos dos artigos mais citados .....</i>	48
4.3.2.1	<i>Uso tecnológico da gelatina para o estudo de probióticos .....</i>	51
4.3.2.1.1	<i>Degradação da GL .....</i>	51

4.3.2.1.2	Encapsulação .....	51
4.3.2.1.3	Filmes e revestimentos .....	55
4.3.2.2	<i>Avaliação da viabilidade de cepas probióticas</i> .....	56
4.3.2.2.1	Armazenamento .....	56
4.3.2.2.2	Tratamento térmico .....	57
4.3.2.2.3	Bioacessibilidade .....	58
4.3.3	<b><i>Análise Cienciométrica de autores, afiliações e periódicos</i></b> .....	58
4.3.4	<b><i>Análise Cienciométrica de palavras chaves e países</i></b> .....	64
4.3.5	<b><i>Tendências para a indústria de alimentos</i></b> .....	67
4.3.5.1	<i>Encapsulamento</i> .....	72
4.3.5.1.1	Extrusão .....	76
4.3.5.1.2	Coextrusão .....	77
4.3.5.1.3	Flow-focusing .....	78
4.3.5.1.4	Liofilização .....	79
4.3.5.1.5	Spray drying .....	79
4.3.5.1.6	Coacervação complexa .....	80
4.3.5.1.7	Emulsão .....	81
4.3.5.1.8	Emulsão Pickering .....	82
4.3.5.1.9	Revestimento de célula probiótica única camada por camada .....	82
4.3.5.1.10	Lipossoma .....	83
4.3.5.2	<i>Filmes comestíveis</i> .....	84
4.3.5.3	<i>Adição direta no alimento</i> .....	85
4.3.5.4	<i>Impressão 3D</i> .....	86
4.4	<b>Considerações finais</b> .....	87

<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ- UMBU (<i>Spondias bahiensis</i>) ADICIONADO DE <i>Lactobacillus</i> <i>rhamnosus</i> GG .....</b>	<b>104</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>108</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>109</b>
<b>5.2.1</b>	<b><i>Materiais</i> .....</b>	<b>109</b>
<b>5.2.2</b>	<b><i>Incorporação dos probióticos ao estruturado</i> .....</b>	<b>110</b>
<b>5.2.3</b>	<b><i>Viabilidade dos probióticos</i> .....</b>	<b>112</b>
<b>5.2.4</b>	<b><i>Seleção do grau de doçura da polpa de cajá-umbu</i> .....</b>	<b>112</b>
<b>5.2.5</b>	<b><i>Desenvolvimento dos estruturados de cajá-umbu com probiótico</i> .....</b>	<b>115</b>
<b>5.2.5.1</b>	<b><i>Preparo do estruturado</i> .....</b>	<b>115</b>
<b>5.2.6</b>	<b><i>Caracterização físico-química dos estruturados</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.6.1</b>	<b><i>Atividade de água (AA)</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.6.2</b>	<b><i>pH</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.6.3</b>	<b><i>Sólidos solúveis (SS)</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.6.4</b>	<b><i>Acidez titulável (AT)</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.7</b>	<b><i>Açúcares redutores e totais dos estruturados</i> .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2.8</b>	<b><i>Compostos bioativos a atividade antioxidante</i> .....</b>	<b>119</b>
<b>5.2.8.1</b>	<b><i>Vitamina C</i> .....</b>	<b>119</b>
<b>5.2.8.2</b>	<b><i>Flavonoides amarelos</i> .....</b>	<b>119</b>
<b>5.2.8.3</b>	<b><i>Extrato de compostos fenólicos e atividade antioxidante</i> .....</b>	<b>119</b>
<b>5.2.8.4</b>	<b><i>Compostos fenólicos extraíveis totais</i> .....</b>	<b>120</b>
<b>5.2.8.5</b>	<b><i>Atividade antioxidante por ABTS</i> .....</b>	<b>120</b>
<b>5.2.8.6</b>	<b><i>Atividade antioxidante por FRAP</i> .....</b>	<b>120</b>

5.2.9	<i>Parâmetros de cor</i> .....	121
5.2.10	<i>Avaliação instrumental de textura (APT)</i> .....	121
5.2.11	<i>Análise sensorial</i> .....	122
5.2.12	<i>Análise estatística</i> .....	123
5.3	<i>Resultados e discussão</i> .....	123
5.3.1	<i>Viabilidade dos probióticos</i> .....	123
5.3.2	<i>Seleção do grau de doçura da polpa de cajá-umbu para desenvolvimento dos estruturados</i> .....	127
5.3.3	<i>Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante dos estruturados</i> .....	132
5.3.4	<i>Parâmetros de cor</i> .....	136
5.3.5	<i>Avaliação instrumental de textura (APT)</i> .....	138
5.3.6	<i>Análise sensorial</i> .....	142
5.3.6.1	<i>Teste de aceitação</i> .....	142
5.3.6.2	<i>Teste CATA</i> .....	144
5.4	<b>Conclusão</b> .....	151
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	159
	<b>APÊNDICE A – TERMO DE COMPROMISSO PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS</b> .....	186
	<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO (TCLE)</b> .....	187
	<b>APÊNDICE C - FORMULÁRIO TESTE DE ACEITAÇÃO E CATA</b> .....	189

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos funcionais e a busca por alternativas mais saudáveis impulsionam a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Os probióticos, microrganismos vivos que conferem benefícios à saúde do hospedeiro, têm se destacado como ingredientes funcionais com grande potencial. Neste contexto, a incorporação de probióticos em matrizes alimentícias inovadoras, como o cajá-umbu, uma fruta tropical rica em nutrientes, representa uma oportunidade para o desenvolvimento de novos produtos com propriedades funcionais agregadas desses dois elementos e atrativo ao consumo.

A gelatina, um biopolímero natural com propriedades texturizantes e formadoras de filmes, tem sido amplamente utilizada na indústria alimentícia. Devido à sua biocompatibilidade, digestibilidade e capacidade de formar matrizes com diferentes propriedades, a gelatina emerge como um excelente material para proteger e incorporar os probióticos aos alimentos. A utilização da gelatina para a combinação dos probióticos com o cajá-umbu, rica em compostos bioativos, na forma de estruturado de fruta, pode resultar em um produto com propriedades funcionais sinérgicas, capaz de atender às necessidades de consumidores cada vez mais exigentes.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar um novo alimento funcional, estruturado de cajá-umbu com probiótico incorporado através de revestimento de gelatina, utilizando diferentes tipos de goma gelana e cepas probióticas, *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Lactobacillus rhamnosus* GG. A escolha da goma gelana como agente gelificante do estruturado se justifica por suas propriedades texturizantes e capacidade de preservar as características funcionais da polpa, sendo um alimento adequado para a incorporação dos probióticos.

Através da seleção de formulações, caracterização físico-química, avaliação sensorial e estudo de estabilidade, buscou-se desenvolver um produto com alta qualidade nutricional, boa aceitação e viabilidade dos probióticos durante o armazenamento. Este trabalho contribui para o avanço do conhecimento na área de alimentos funcionais e para o desenvolvimento de novos produtos com base em recursos naturais, atendendo às demandas do mercado e promovendo a saúde e o bem-estar da população.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O presente estudo objetivou desenvolver e caracterizar um novo alimento funcional probiótico à base de cajá-umbu, utilizando diferentes tipos de goma gelano e cepas probióticas, visando atender à demanda por produtos alimentícios inovadores e nutritivos.

### 2.2 Objetivo específicos

- Selecionar formulação para desenvolver estruturado de cajá-umbu, através de grupo de foco;
- Caracterizar o estruturado quanto aos parâmetros químicos (vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante total), físico (textura e cor), físico-químicos (atividade água, pH, sólidos solúveis, acidez titulável);
- Avaliar e selecionar método de adição de cepas probióticas (*Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Lactobacillus rhamnosus* GG) no estruturado de cajá-umbu através de análise da viabilidade;
- Caracterizar estruturado com potencial probiótico quanto aos parâmetros físicos (cor e textura), químicos (vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante total) e físico-químicos (atividade água, pH, sólidos solúveis, acidez titulável);
- Avaliar a viabilidade dos probióticos no estruturado durante armazenamento por 28 dias a 10 °C;
- Avaliar sensorialmente os estruturados de cajá-umbu adicionado de probiótico através da aplicação do teste de aceitação e CATA (*Check-All-That-Apply*).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Alimentação saudável

A intensificação da industrialização e o acelerado processo de urbanização das comunidades impulsionaram profundas transformações nos hábitos alimentares da população global. Essa transição nutricional, marcada pela crescente preferência por alimentos industrializados e de alta conveniência, tem sido associada a um aumento significativo no consumo de produtos com elevados teores de açúcar, sal e gorduras saturadas (Ambikapathi *et al.*, 2022). As consequências dessa mudança dietética são alarmantes, com impactos diretos na saúde pública, na segurança alimentar e na sustentabilidade ambiental (Baker *et al.*, 2020). Diante desse cenário, a comunidade científica tem se dedicado à elaboração de sistemas de classificação de alimentos mais precisos e abrangentes, com o objetivo de melhor compreender os efeitos do processamento sobre a saúde humana e orientar a formulação de políticas públicas eficazes para promoção de dietas saudáveis (de Araújo *et al.*, 2022).

Alimentos frescos e minimamente processados, consumidos in natura, destacam-se por sua riqueza nutricional e potenciais efeitos benéficos à saúde humana. Essa categoria de alimentos, cada vez mais valorizada pelos consumidores, tem impulsionado o crescimento do mercado, como evidenciado por estudos recentes (Osborn; Marley, 2016; Verruck; Prudencio; Silveira, 2018). A busca por uma alimentação mais saudável e natural tem contribuído para essa tendência, que se consolida como um dos pilares da promoção da saúde e do bem-estar.

A adoção de hábitos alimentares mais saudáveis, com base no consumo de alimentos in natura, representa um passo fundamental para a prevenção de doenças crônicas e a promoção do bem-estar individual e coletivo. A transição para uma dieta mais equilibrada exige, no entanto, a superação de diversos desafios, como a disponibilidade de alimentos frescos em áreas urbanas, o custo elevado desses produtos e a influência da publicidade de alimentos ultraprocessados. Nesse contexto, a promoção da agricultura familiar, o desenvolvimento de programas de educação alimentar nas escolas e a regulamentação da publicidade de alimentos são medidas essenciais para estimular a mudança de hábitos alimentares da população.

#### 3.2 Probióticos

O corpo humano é repleto de microrganismos convivendo naturalmente e, geralmente, sem causar malefícios, inclusive contribuindo na saúde do hospedeiro (WHO, 2002). Esse conjunto de microrganismos comuns ao corpo do hospedeiro é chamado de



microbiota, que tem sua configuração característica de determinadas regiões do corpo, como por exemplo a microbiota intestinal que é conhecida por sua forte relação com o adequado funcionamento do organismo humano (Saad, 2006). As espécies de microrganismos presentes na microbiota intestinal podem sofrer modificações, trazendo uma configuração relacionada com benefícios a saúde humana, uma espécie de modulação, que pode ser causada por hábitos de vida saudável, com destaque para alimentação (Clark *et al.*, 2014; Barton *et al.*, 2018). Outra forma de induzir essa modulação é através da ingestão de probióticos, que são microrganismos vivos, que ao serem ingeridos em quantidades superiores a  $10^6$  unidades formadoras de colônia (UFC)/g e alcançando o intestino, geram competição com as bactérias existentes, selecionando as que trarão benefícios ao hospedeiro (Hill *et al.* 2014; Sharma *et al.*, 2021).

Estudos têm evidenciado que os probióticos estão relacionados a diversas vertentes da saúde humana, incluindo aspectos da saúde intestinal como a disbiose da microbiota intestinal humana (Ouwehand *et al.*, 1999), enterocolite necrosante (Patel; Underwood, 2018), doença de Crohn (Bjarnason; Sission; Hayee, 2005), saúde imunológica (Frei; Akdis; O'mahony, 2015), saúde metabólica (Green; Arora; Prakash, 2020), assim também como seu uso para substituir antibióticos no combate à distúrbios gastrointestinais, a melhora da função cognitiva devido sua interação com sistema nervoso e regulação do funcionamento do sistema digestivo, além de não apresentar os desconfortos do uso dos antibióticos (Roobab *et al.*, 2020). Contudo, a eficácia da ação dos probióticos na saúde é bastante variável no sentido de que cada cepa é única e possui um mecanismo de interação diferenciado com o hospedeiro, não podendo ser afirmado que o benefício atribuído a uma cepa pode ser extrapolado para outra (Gopal, 2022).

Existem duas formas principais de administração dos probióticos que pode ser através da sua ingestão na forma de suplemento ou incorporado a produtos alimentícios. Porém, a ingestão através dos alimentos é preferida, pois os alimentos podem fornecer um meio tampão aos microrganismos durante a passagem pelo intestino, além da matriz alimentar disponibilizar componentes interessantes para a viabilidade e eficácia dos probióticos, bem como sua multiplicação (Homayoni *et al.*, 2016).

Os produtos lácteos, fermentados ou fórmulas desidratadas, são os principais alimentos utilizados na comercialização de produtos probióticos, porém o mercado não está fechado para o advento de novas alternativas contendo essa propriedade. Os alimentos probióticos não lácteos estão ganhando cada vez mais força dentro do mercado consumidor, e

entre os motivos desse interesse estão a busca por alimentos “isentos” de lactose e colesterol, além de hábitos alimentares que restringem o consumo de alimentos de origem animal (Gupta; Abu-ghannam, 2012).

Entre os principais produtos alimentares probióticos de matriz não láctea, podemos citar as bebidas fermentadas e não fermentadas. Contudo, como o essencial para a viabilidade da produção desses alimentos é a capacidade das culturas probióticas em resistir às diversas etapas de desenvolvimento do produto, a forma de sua agregação na matriz alimentar e o trajeto pelo trato gastrointestinal, é possível que outros tipos de alimentos possam causar maior proteção a esses microrganismos e agregar benéficos à saúde (Pimentel *et al.*, 2021).

Mridula e Sharma (2015) se propuseram a desenvolver uma bebida probiótica não láctea contendo cereais germinados, leguminosas e leite de soja (trigo, cevada, milho e feijão mungu com aveia, leite de soja e *Lactobacillus acidophilus*- NCDC14). Da Costa *et al.* (2017) produziram suco de laranja fermentado com *L. paracasei* ssp., Miranda *et al.* (2019) fizeram uma bebida simbiótica com suco de laranja fortificado com chá de hibisco, contendo oligofrutose e fermentada com *L. casei*.

A pesquisa de Colmenares-Cuevas e colaboradores (2024) demonstra o potencial da gelatina na formulação de alimentos sólidos probióticos, utilizando como exemplo marshmallows enriquecidos com mel e probióticos. A incorporação de alginato de sódio, gelatina e mucilagem de nopal permitiu a obtenção de um produto com boa caracterização e estabilidade, apesar de os níveis de probióticos não terem alcançado os limites estabelecidos para alimentos probióticos. Essa pesquisa abre novas perspectivas para o desenvolvimento de produtos inovadores, que combinam atributos sensoriais agradáveis com benefícios à saúde, como a suplementação de probióticos.

A diversidade do substrato de matriz vegetal disponível apresenta múltiplas possibilidades de emprego a nível industrial, por conta de sua riqueza de nutrientes, fibras, vitaminas, minerais e fitoquímicos bioativos incorporados. Em especial sobre a aplicação sinérgica com microrganismos, podem apresentar resultados interessantes, pois agregam mais valor funcional ao alimento desenvolvido (Bellis; Sisto; Lavermicocca, 2021).

De modo geral, as frutas e hortaliças são boas matrizes de origem não láctea com grande potencial para conservar os probióticos, por conta de sua morfologia, por atuarem como substratos ou pelos prebióticos presentes. Existem também outras técnicas, como a microencapsulação, que também servem como uma tecnologia para preservar a viabilidade dos

probióticos durante a vida útil dos produtos probióticos de frutas e vegetais (Lillo-pérez *et al.*, 2021).

### **3.3 Encapsulamento de probióticos**

A adição direta de probióticos livres em alimentos não necessariamente é a forma mais adequada para a produção de alimento probiótico pois as condições ambientais podem ser desfavoráveis à sua sobrevivência, como por exemplo o pH baixo de determinadas frutas, além dos produtos do metabolismo microbiano interagindo com o alimento. Dessa forma, deve ser considerado o uso de encapsulamento desses microrganismos por um material protetor conferindo melhor estabilidade e atividade (Etchepare *et al.*, 2015; Ephrem *et al.*, 2018).

Existem muitas técnicas e materiais para o encapsulamento de agentes bioativos, onde cada possui suas particularidades para que se tenha maior eficiência no processo final, como em partículas probióticas que é de fundamental importância que o processo não seja danoso aos microrganismos probióticos, reduzindo as perdas e lesões nas unidades celulares, além das particulares finais serem adequadas para a finalidade em questão. A demanda cada vez maior por suplementos e alimentos probióticos vem acompanhando o melhor uso desses processos de encapsulamento, viabilizando a produção de diversos alimentos com probióticos incorporados (Rodrigues *et al.*, 2020).

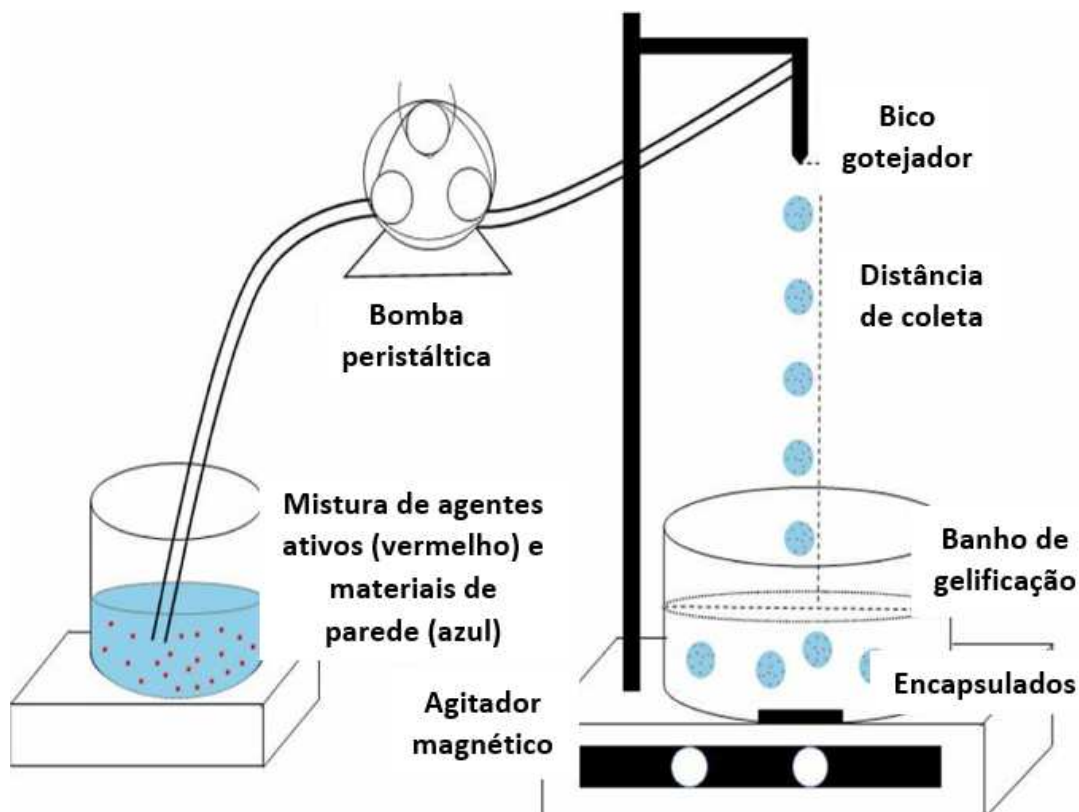
O método de encapsulamento de extrusão é bastante popular apesar de suas dificuldades de processo por ser um método mais trabalhoso em comparação a outros, porém apresenta como vantagens o baixo custo, a simplicidade de execução, não envolver altas temperaturas e pode ser realizada em sistema aeróbico ou anaeróbico, por isso vem se tornando um método bastante interessante para a aplicação em encapsulação de probióticos (Favaro-trindade; Heinemann; Pedroso, 2011).

#### **3.3.1 Técnicas e matrizes de encapsulamento de probiótico**

Atualmente existem diversas técnicas diferentes para a encapsulação dos probióticos relatadas em diversos estudos, exemplos são a extrusão, emulsão, *spray dryer*, *spray chilling* e leite fluidizado. Essas técnicas têm sido escolhidas de acordo com o que apresenta mais bem sucedida ao trato gastrointestinal e viabilidade quanto a utilização de agentes bioativos. Dentre essas técnicas, a extrusão, que é uma técnica bastante comum na conversão de hidrocolóides em microcápsulas, vem sendo bastante utilizada (Etchepare *et al.*, 2015). Esse método é uma forma de incorporar o material a ser envolvido pelo material

encapsulante, após a homogeneização a amostra sofre extrusão gota a gota, em uma solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), geralmente (Krasaekoopt; Bhandari; Deeth, 2013). Como está exemplificado na Figura 1. Fatores como a viscosidade da mistura, o diâmetro do orifício de gotejamento e a distância entre a saída do equipamento que realiza o processo de extrusão até a solução de endurecimento, influenciam diretamente o tamanho das partículas encapsuladas, podendo variar de 0,5 até 3 mm (Heidebach *et al.*, 2009).

Figura 1 - Esquema do método simples de extrusão por gotejamento para encapsulamento.



Fonte: Adaptado de Sultana *et al.* (2022).

A seleção de materiais encapsulantes adequados também é essencial para a estabilidade das partículas produzidas. Esses materiais têm a função de proteger as células microbianas encapsuladas, não devendo apresentar toxicidade. Além disso, devem controlar a liberação do material encapsulado durante a passagem pelo trato gástrico e intestinal humano (Rathore *et al.*, 2013, Chen *et al.*, 2017). Polissacarídeos têm sido muito explorados, com grande destaque para o alginato, que é amplamente utilizado para a produção de partículas probióticas, mas também de sua substituição, total ou parcial por polissacarídeos como gomas, mucilagens, compostos prebióticos e exopolissacarídeos microbianos, melhorando a proteção e sobrevivência das células encapsuladas e por permitir a sua incorporação em produtos lácteos e não lácteos (Rodrigues *et al.*, 2020).

O alginato é um heteroolissacarídeo linear composto por resíduos de ácido D-manurônico unidos e resíduos de ácido L-gulurônico, proveniente da extração de algas marrons (Donati; Paoletti, 2009). O alginato é bastante utilizado como material encapsulante de células microbianas, porém, sua estrutura apresenta matrizes porosas que podem desintegrar, por isso seu uso juntamente com diferentes polímeros, como polissacarídeos (Rodrigues *et al.*, 2017).

### **3.4 Filmes e revestimos comestíveis a base de gelatina**

A gelatina, um polímero natural obtido da hidrólise parcial do colágeno, destaca-se por sua versatilidade e ampla gama de aplicações nas ciências biomédicas e na indústria alimentícia. Suas propriedades de biocompatibilidade, biodegradabilidade e facilidade de modificação, somadas ao baixo custo, a tornam um material atrativo. Na indústria de alimentos, a gelatina atua como agente gelificante, espessante e emulsificante, contribuindo para a textura e aparência de diversos produtos (Benoso *et al.*, 2022; Santoro; Tatara; Mikos, 2014).

A gelatina tem se mostrado um polímero versátil na produção de filmes comestíveis, com destaque para estudos como os de Soukoulis *et al.* (2016, 2017). Esses trabalhos demonstram a viabilidade de filmes à base de gelatina, com diferentes composições, para a encapsulação e proteção de probióticos como o *Lactobacillus rhamnosus* GG. Essa abordagem inovadora oferece uma alternativa promissora para a indústria alimentícia, uma vez que esses filmes podem atuar como barreira, antioxidante e antimicrobiano, além de preservar o valor nutricional e a qualidade dos alimentos (Coimbra *et al.*, 2023).

A inovação na indústria alimentícia tem explorado a incorporação de probióticos em alimentos, como demonstrado por Temiz e Ozdemir (2021). Esses autores desenvolveram um revestimento comestível à base de gelatina e inulina, enriquecida com *Lactobacillus rhamnosus*, para aumentar a vida útil de morangos. Os resultados indicaram que a inulina proporcionou um ambiente favorável à sobrevivência dos probióticos, enquanto o revestimento inibiu o crescimento de microrganismos deteriorantes. Além disso, a combinação de gelatina, inulina e *L. rhamnosus* contribuiu para a preservação das características sensoriais e nutricionais dos morangos, retardando a perda de peso, a deterioração e preservando compostos bioativos importantes, como os fenólicos.

A literatura recente aponta para um novo e promissor caminho na entrega de probióticos: filmes comestíveis à base de gelatina. A microestrutura única desses filmes cria uma barreira eficaz contra a umidade, o oxigênio e a luz, fatores críticos para a manutenção da viabilidade bacteriana (Lordello *et al.*, 2021). Essa inovação abre portas para o desenvolvimento de sistemas de entrega mais eficientes e estáveis, com potencial para revolucionar a indústria alimentícia e farmacêutica. A adição de prebióticos à formulação, como

sugerem estudos preliminares, pode ainda potencializar esses benefícios, garantindo a proteção dos probióticos em condições adversas e ampliando sua aplicabilidade (Abedinia *et al.*, 2021; Todhanakasem *et al.*, 2022).

Filmes e revestimentos comestíveis à base de gelatina emergem como uma estratégia promissora para a incorporação de probióticos em alimentos. Essa abordagem inovadora combina a capacidade da gelatina de preservar a viabilidade microbiana com a conservação das características sensoriais dos alimentos, retardando processos de deterioração. A associação de diferentes materiais à gelatina na formulação desses filmes abre um leque de possibilidades para o desenvolvimento de sistemas de entrega de probióticos mais eficientes e versáteis, permitindo a aplicação em diversos tipos de alimentos, incluindo aqueles com superfícies sólidas, sem comprometer sua integridade.

### **3.5 Cajá-umbu**

O Brasil tem uma variedade de frutas endêmicas com grande potencial comercial, o cajá-umbu (*Spondias bahiensis*), Figura 2, é um exemplo dessas frutas tropicais, nativa da região nordeste brasileira, sendo considerada um híbrido entre as frutas umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) e cajá (*Spondias mombin* L.). Ele é bastante valorizado por apresentar aroma, sabor exótico e qualidade nutricional, podendo ser consumido na sua forma *in natura* e polpa (Carvalho *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2020).

Figura 2 - Fruto cajá-umbu (*Spondias bahiensis*).



Fonte: Alves de Oliveira *et al.* (2015).

O cajá-umbu é uma fruta com formato esférico, coloração amarelada e considerado grande com média de peso de 25,56g e peso da semente se 3,24g, sendo descrito com rendimentos da polpa de 69%, dependendo da variedade, região e método que a fruta foi manipulada (Lira Junior *et al.*, 2005; dos Santos *et al.*, 2010; Gondim *et al.*, 2013). Essa fruta também se destaca por apresentar valores elevados de sólidos solúveis (SS) e açúcares redutores, baixa acidez titulável (AT) e relação de SS/AT superior, indicando que uma opção viável para consumo in natura e processamento na indústria (Gondim *et al.*, 2013).

A presença de fitoquímicos no cajá-umbu também é bastante relevante, compostos com potencial de retardar a velocidade das reações de oxidação celular, conferindo efeito protetor para a saúde humana, mesmo em variedades com genótipos diferentes da fruta, que apresentam certa diferença na quantidade desses compostos, são considerados boas fontes de modo geral, onde apresentam quantidades relevantes de polifenóis totais, baixos teores de ácido ascórbico e carotenoides, porém elevado de  $\beta$ -caroteno (Moreira *et al.*, 2012). De Assis e colaboradores (2020) relatam a presença de vitaminas no cajá-umbu, como as hidrossolúveis, riboflavina (B2), niacina (B3), ácido pantotênico (B5), biotina (B7), com menor presença da vitamina C, além da presença de carotenoides e provitamina A, os valores estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios referentes a vitaminas hidrossolúveis (mg/100 g) presentes no cajá-umbu.

<b>Tiamina (B1)</b>	<b>Riboflavi na (B2)</b>	<b>Niacin a (B3)</b>	<b>Piridoxina (B6)</b>	<b>Ácido Pantotênico (B5)</b>	<b>Biotina (B7)</b>	<b>Vitamina C</b>
0,00	1,265	0,315	0,00	0,927	0,244	8,94
0,00	6,107	0,379	0,00	1,106	0,275	4,02
0,00	2,204	0,361	0,00	0,179	0,286	16,69

Fonte: de Assis *et al.* (2020).

A presença de fitoquímicos no cajá-umbu também é bastante relevante, compostos com potencial de retardar a velocidade das reações de oxidação celular, conferindo efeito protetor para a saúde humana, mesmo em variedades com genótipos diferentes da fruta, que apresentam certa diferença na quantidade desses compostos, são considerados boas fontes de modo geral, onde apresentam quantidades relevantes de polifenóis totais, baixos teores de ácido ascórbico e carotenoides, porém elevado de  $\beta$ -caroteno (Moreira *et al.*, 2012).

Quanto aos compostos voláteis encontrados na polpa do cajá-umbu maduro, foi possível detectar 70 compostos entre os quais 2-metil butanal (28,4%), 2-hexanol (15,0%),  $\beta$ -caroteno (14,1%), butirato de etila (6,1%) e  $\alpha$ -caroteno (2,4%) foram os mais abundantes (Narain; Galvão; Madruga, 2007).

### 3.5.1 Processamento do cajá-umbu

O processamento do cajá-umbu apresenta grande importância para a comercialização dessa fruta, pois é uma forma viável de conservação, trazendo como vantagem a possibilidade de aproveitamento dos excedentes de produção, contornando problemas de sazonalidade e possibilitando sua distribuição por maiores períodos do ano (Viana, 2008).

Como a matéria-prima base possui um tempo de consumo seguro curto, o processamento para a forma de polpa de fruta tem grande importância como uma forma de conservar as características nutricionais das frutas por mais tempo e possibilitando o seu uso na indústria, podendo produzir polpas na época de safra, armazená-las e reprocessá-las nos períodos mais propícios, ou segundo a demanda do mercado consumidor (Hoffmann, 1996), além de poder usado também para o desenvolvimento de sucos e sorvetes, por exemplo (Ritzinger *et al.*, 2001).

Outro ponto a ser considerado do processamento industrial de frutas é o fato de poder alterar as características de componentes presentes nelas, tanto aumentando ou diminuindo. Quanto maior a capacidade de conseguir conservar as características originais das



frutas ao decorrer das etapas de processamento (desde colheita até a comercialização do produto final), mais interessante para trabalhar (Dutra *et al.*, 2017). Daí a importância do estudo do tempo de colheita, pois Narain, Galvão e Madruga (2007) relatam em seu estudo que o tempo de maturação da fruta apresenta mudanças significativas na composição de compostos voláteis, tanto em quantidade quanto nos compostos presentes, por exemplo.

O desenvolvimento de produtos utilizando o cajá-umbu como alternativa ao seu consumo é importante pois oferece um alimento contendo as características de compostos benéficos a saúde dos consumidores, próximas a matéria-prima de origem, possibilitando maior aproveitamento. Na literatura tem trabalhos utilizando o cajá-umbu como base de novos produtos, como Alves de Oliveira *et al.* (2015), que desenvolveram geleia de cajá-umbu *diet*, utilizando diferentes concentrações de aspartame para adoçar as amostras, da mesma forma Viana *et al.* (2015) desenvolveram geleia de cajá-umbu, que foi adoçada com xilitol, Oliveira *et al.* (2014) também fizeram geleia de cajá-umbu, já dos Santos *et al.* (2020) desenvolveram gelatinas de cajá-umbu. Além dos produtos descritos, tem a possibilidade de empregar outros processos e formas utilizar o cajá-umbu que ainda não foram explorados na literatura, que podem ter grande potencial para um alimento de boa aceitação.

### 3.6 Estruturado de frutas

Uma alternativa de produto alimentício que tenha boa textura, sabor, além de ser nutritivo, são os estruturados de frutas, produtos feitos com a utilização de polpas de frutas (fruta única ou mix de várias). Para viabilizar seu processamento é necessário a gelificação do produto através de agentes hidrocoloides que vão diminuir a umidade do alimento e conferir aspectos agradáveis e estrutura desejável do produto acabado. A forma de consumo desses produtos é bastante diversa, podendo serem utilizados em produtos de confeitaria, alimentos congelados ou consumida na forma em que se apresenta, como um confeito, similarmente às barras de frutas (Azoubel *et al.*, 2011; Danalache *et al.*, 2017).

Uma vantagem da elaboração dos estruturados de frutas é que diferente de outras alternativas de processamento de frutas onde acontecem várias perdas de componentes importantes, esse tende a manter suas características próximas ao fruto *in natura*, viabilizado pela interação dos hidrocoloides com a polpa de fruta e formar a textura desejável para este produto, além de também poder utilizar fora de classificação para a comercialização *in natura*, aumentando as possibilidades de aplicação (Leal *et al.*, 2021; da Costa *et al.*, 2020).

O mercado para esse tipo de produto é bastante consolidado no exterior, particularmente nos Estados Unidos da América, porém no Brasil a situação é inversa. Apesar do mercado local ainda não ser tão aquecido, apresenta grande potencial de comercialização, pois existe grande diversidade de frutas tropicais e bem características distribuídas por todo o território nacional (da Costa *et al.*, 2020; Grizotto *et al.*, 2005).

Em relação a utilização de hidrocoloides, como goma gelana, na produção de polpas concentradas para produção de produtos alimentícios, implica em utilizar menos sacarose para atingir uma maior concentração de sólidos solúveis na formulação dos estruturados, dessa forma sendo possível produzir novos produtos livres ou com baixas adição de açúcares, evitando o aumento de seu valor calórico (Leal *et al.*, 2021).

Segundo o trabalho de da Costa *et al.* (2020), foi desenvolvido estruturados de fruta de goiaba com concentrações (0,25%, 0,50%, 0,75% e 1,0%) e tipos de hidrocoloides (100% de ágar; 100% gelano baixo acilo (*Low Acyl* – LA); a proporção 75% de gelano de LA e 25% de gelano alto acilo (*High Acyl* – HA) e a 50% de LA e 50% de HA) e encontrou como resultado a quantidade de melhor aceitação foi com 0,75% (m/m). De modo geral, os estruturados com os diferentes hidrocoloides se mostraram interessantes para o desenvolvimento desse tipo de produto, com características físico-químicas e sensoriais semelhantes entre os grupos, destaque para os grupos com 100% de LA e o 75% de LA e 25% de HA, que apresentaram características semelhantes, com maiores frequências dos mesmos atributos.

Já no trabalho de Leal *et al.* (2021), com o objetivo de avaliar a produção de estruturados de mix de frutas tropicais (manga com cajá, manga com caju e manga com acerola) com as mesmas quantidades de hidrocoloides do trabalho anterior. Também mostrou que de modo geral os estruturados apresentaram diferenças muito relevantes nas características físico-químicas, em relação a dureza o ágar apresentou resultado menor comparado aos de goma gelana. A aceitação de consumo foi maior nos estruturados com 100% de LA, os valores desse parâmetro foram diminuindo com o aumento da proporção de HA na formulação do produto.

No trabalho de Santiago *et al.* (2021) foi realizada a produção de estruturado utilizando misturas de polpas de cajá e de manga, adicionada de extrato bioativo do pedúnculo do caju. Várias proporções das polpas foram avaliadas, bem como a presença do extrato do pedúnculo do caju e açúcar, foi realizado teste sensorial para identificar o produto com a proporção das frutas melhor aceita, tendo como resultado de melhor aceitação a amostra com 25% de extrato e 5% de açúcar, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Estruturado de cajá-umbu e manga com extrato bioativo do caju.



Fonte: SANTIAGO *et al.* (2021).

A busca por novas propostas para a exploração do consumo de cajá-umbu é importante, visto que é uma fruta regional, sazonal, com pouca variedade de aproveitamento e possui características sensoriais apreciadas, além do seu caráter funcional com compostos benéficos para o funcionamento do corpo humano. Uma alternativa pode ser o desenvolvimento do estruturado de cajá-umbu, por ser um produto que consegue preservar de forma satisfatória os compostos bioativos das frutas, garantindo bioacessibilidade desses elementos ao consumo e indicando estabilidade, além de apresentar boa aprovação pelos consumidores. Aliado a tudo isso, a incorporação de probióticos pode agregar valor ao produto, adicionando mais um elemento que oferece benefícios a saúde dos consumidores, além de oferecer um alimento com probióticos alternativo aos derivados do leite. Diante do exposto, o presente trabalho objetivou o desenvolvimento e caracterização de estruturado a base de cajá-umbu com adição de probióticos em sua composição.

## REFERÊNCIAS

ABEDINIA, Ahmadreza *et al.* Characterization and cell viability of probiotic/prebiotics film based on duck feet gelatin: A novel poultry gelatin as a suitable matrix for probiotics. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 1761, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods10081761>.

ALVES DE OLIVEIRA, Emanuel Neto *et al.* Physicochemical stability of diet umbu-Caja jams stored under ambient conditions: Physicochemical stability of diet umbu-Caja jams. **Journal of food processing and preservation**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 70–79, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12209>.

AMBIKAPATHI, Ramya *et al.* Global food systems transitions have enabled affordable diets but had less favourable outcomes for nutrition, environmental health, inclusion and equity. **Nature food**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 764–779, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-022-00588-7>.

AZOUBEL, Patrícia Moreira *et al.* Restructuring *Passiflora cincinnata* fruit pulp: influence of hydrocolloids. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 160–166, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612011000100023>.

BAKER, Phillip *et al.* Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. **Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity**, [s. l.], v. 21, n. 12, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/obr.13126>.

BARTON, Wiley *et al.* The microbiome of professional athletes differs from that of more sedentary subjects in composition and particularly at the functional metabolic level. **Gut**, [s. l.], v. 67, n. 4, p. 625–633, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313627>.

BELLIS, P.; SISTO, A.; LAVERMICOCCA, P. Probiotic bacteria and plant-based matrices: An association with improved health-promoting features. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 87, 2021.

BENOSO, Paula *et al.* Rheological and viscoelastic properties of colloidal solutions based on gelatins and chitosan as affected by pH. **International journal of food science & technology**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 2365–2375, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.15592>.

BJARNASON, Ingvar; SISSION, Guy; HAYEE, Bu'hussaine. A randomised, double-blind, placebo-controlled trial of a multi-strain probiotic in patients with asymptomatic ulcerative colitis and Crohn's disease. **Inflammopharmacology**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 465–473, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10787-019-00595-4>.

CARVALHO, Paulo César Lemos de *et al.* Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 140–147, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452008000100026>.

CHEN, Li *et al.* Effect of xanthan-chitosan-xanthan double layer encapsulation on survival of Bifidobacterium BB01 in simulated gastrointestinal conditions, bile salt solution and yogurt. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 81, p. 274–280, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.005>.

CLARKE, Siobhan F. *et al.* Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. **Gut**, [s. l.], v. 63, n. 12, p. 1913–1920, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>.

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: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 103452, p. 103452, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103452>.

COLMENARES-CUEVAS, Saira Itzel *et al.* Development and study of the functional properties of marshmallow enriched with bee (*Apis mellifera*) honey and encapsulated probiotics (*Lactobacillus rhamnosus*). **Frontiers in nutrition**, [s. l.], v. 11, p. 1353530, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2024.1353530>.

DA COSTA, Guilherme Mamede *et al.* Effect of ascorbic acid or oligofructose supplementation on *L. paracasei* viability, physicochemical characteristics and acceptance of probiotic orange juice. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 75, p. 195–201, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.051>.

DA COSTA, Juliana Nascimento *et al.* Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance methods. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. suppl 2, p. 496–502, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.25819>.

DANALACHE, Florina *et al.* Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 84, p. 43–53, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.079>.

DE ARAÚJO, Taissa Pereira *et al.* Food processing: Comparison of different food classification systems. **Nutrients**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 729, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nu14040729>.

DE ASSIS, Renata Carmo *et al.* Determination of water-soluble vitamins and carotenoids in Brazilian tropical fruits by High Performance Liquid Chromatography. **Heliyon**, [s. l.], v. 6, n. 10, p. e05307, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05307>.

DONATI, I.; PAOLETTI, S. Material properties of alginates. Alginates: Biology and applications. **Alginates: Biology and applications**, [s. l.], p. 1–53, 2009.

DUTRA, Rodrigo Luiz Targino *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 100, n. Pt 1, p. 650–657, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.047>.

EPHREMA, E. Encapsulation of natural active compounds, enzymes, and probiotics for fruit juice fortification, preservation, and processing: An overview. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 48, p. 65–84, 2018.

ETCHEPARE, Mariana Araújo *et al.* Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 37, p. 97, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x19725>.

FAO/WHO. Working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. **Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation**, London, Ontario, Canada, 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-a0512e.pdf>.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; HEINEMANN, R. J. B.; PEDROSO, D. L. Developments in probiotic encapsulation. **CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources**, [s. l.], v. 2011, n. 004, p. 1–8, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1079/pavsnr20116004>.

FREI, R.; AKDIS, M.; O'MAHONY, L. Prebiotics, probiotics, synbiotics, and the immune system: experimental data and clinical evidence. **Curr Opin Gastroenterol**, [s. l.], n. 2, p. 153–158, 2015.

GONDIM, Perla Joana Souza. **Identificação de carotenoides e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante em frutos do gênero Spondias**. 2012. 104 f. Tese

(Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8034>.

GONDIM, Perla Joana Souza *et al.* Qualidade de frutos de acessos de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, [s. l.], v. 17, n. 11, p. 1217–1221, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001100013>.

GOPAL, Pramod K. Probiotics: Application of probiotics in dairy products: Established and potential benefits. *In: ENCYCLOPEDIA OF DAIRY SCIENCES*. [S. l.]: Elsevier, 2022. p. 359–368.

GREEN, Miranda; ARORA, Karan; PRAKASH, Satya. Microbial medicine: Prebiotic and probiotic functional foods to target obesity and metabolic syndrome. **International journal of molecular sciences**, [s. l.], v. 21, n. 8, p. 2890, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21082890>.

GRIZOTTO, Regina Kitagawa *et al.* Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 158–164, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000100026>.

GUPTA, Shilpi; ABU-GHANNAM, Nissreen. Probiotic fermentation of plant based products: possibilities and opportunities. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 52, n. 2, p. 183–199, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2010.499779>.

HEIDEBACH, T. Microencapsulation of probiotics cells by means of rennet- gelation of milk proteins. **Food hidrocolloids**, [s. l.], p. 1670–1677, 2009.

HILL, Colin *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature reviews. Gastroenterology & hepatology**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 506–514, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.

HOFFMANN, A. *et al.* Adubação em pomares: métodos de quantificação das doses de fertilizantes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 161–169, 1996.

HOMAYONI, R. A. The comparison of food and supplement as probiotic delivery vehicles. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 56, p. 896–909, 2016.

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHANDARI, Bhesh; DEETH, Hilton. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International dairy journal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 3–13, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00155-3).

LEAL, Amanda Rodrigues *et al.* Elaboration of mixed structured fruit formulations with agar and gellan gum: Texture, physicochemical, and sensory properties. **International journal of gastronomy and food science**, [s. l.], v. 23, n. 100294, p. 100294, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100294>.

LILLO-PÉREZ, Siegfried *et al.* Probiotics in fruit and vegetable matrices: Opportunities for nondairy consumers. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 151, n. 112106, p. 112106, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112106>.

LIRA JÚNIOR, José Severino de *et al.* Caracterização física e físico-química de frutos de cajá-umbu (*Spondias spp.*). **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 757–761, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000400021>.

LORDELLO, Virgínia Barreto *et al.* Orodispersible film loaded with *Enterococcus faecium* CRL183 presents anti-*Candida albicans* biofilm activity in vitro. **Pharmaceutics**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 998, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics13070998>.

MIRANDA, R. F. Impacto da adição de *Lactobacillus casei* e oligofrutose nos parâmetros de qualidade da bebida mista de suco de laranja e chá de hibisco. **J. Processo Alimentar. Preservar.**, [s. l.], v. 43, 2019.

MOREIRA, Aldenise Chagas Curvêlo Gonçalves *et al.* Fitoquímicos bioativos em frutos de genótipos de cajá-umbuzeiras. **Alimentos e Nutrição**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 235–241, 2012. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos>.

MRIDULA, D.; SHARMA, M. Development of non-dairy probiotic drink utilizing sprouted cereals, legume and soymilk. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 62, p. 482–487, 2015.

NARAIN, N.; GALVAO, M.; MADRUGA, M. Volatile compounds captured through purge and trap technique in caja-umbu (*Spondias sp.*) fruits during maturation. **Food chemistry**, [s. l.], v. 102, n. 3, p. 726–731, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.003>.



OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de *et al.* Desenvolvimento, caracterização e estabilidade de geleia tradicional de umbu-cajá. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 628–639, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-366/13>.

OSBORN, Steve; MARLEY, Wayne. Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs. **Woodhead Publishing**, [s. l.], 2016.

OUWEHAND, A. C. *et al.* Adhesion of probiotic micro-organisms to intestinal mucus. **International dairy journal**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 623–630, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(99\)00132-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(99)00132-6).

PATEL, Ravi Mangal; UNDERWOOD, Mark A. Probiotics and necrotizing enterocolitis. **Seminars in pediatric surgery**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 39–46, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2017.11.008>.

PIMENTEL, Tatiana Colombo *et al.* Vegan probiotic products: A modern tendency or the newest challenge in functional foods. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 140, n. 110033, p. 110033, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110033>.

RATHORE, Sweta *et al.* Microencapsulation of microbial cells. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 116, n. 2, p. 369–381, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022>.

RITZINGER, Rogerio *et al.* Caracterização e avaliação de germoplasma de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1, 2001, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2001.

RODRIGUES, Fábio J. *et al.* Effect of natural polymers on the survival of *Lactobacillus casei* encapsulated in alginate microspheres. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 431–439, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02652048.2017.1343872>.

RODRIGUES, F. J. *et al.* Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications - A narrative review. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 137, n. 109682, p. 109682, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682>.

ROOBAB, Ume *et al.* Sources, formulations, advanced delivery and health benefits of probiotics. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 32, p. 17–28, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.003>.

SAAD, S. M. I. Probióticos e Prebióticos: O estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. **São Paulo**, [s. l.], v. 42, p. 2–12, 2006.

SANTIAGO, Keliane Lima. Barras estruturadas mistas de manga e cajá adicionadas de extrato bioativo de caju: aspectos tecnológicos e capacidade antioxidante. 2021. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/58988>.

SANTORO, Marco; TATARA, Alexander M.; MIKOS, Antonios G. Gelatin carriers for drug and cell delivery in tissue engineering. **Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society**, [s. l.], v. 190, p. 210–218, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.04.014>.

SANTOS, Márcio Barros dos *et al.* Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1089–1097, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452011005000015>.

SANTOS, L. J. S. Leaf contents and biochemical cycling of nutrientes in accessions of umbu and umbu-caja. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 33, 2020.

SHARMA, Ruchi *et al.* Barley-based probiotic food mixture: health effects and future prospects. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 62, n. 29, p. 7961–7975, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2021.1921692>.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Compositional and physicochemical factors governing the viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG embedded in starch-protein based edible films. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 52, p. 876–887, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.025>.

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, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014>.

SULTANA, Marjia *et al.* Advances in extrusion-dripping encapsulation of probiotics and omega-3 rich oils. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 123, p. 69–86, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.006>.

TEMİZ, Naime Nur; ÖZDEMİR, Kübra Sultan. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest biology and technology**, [s. l.], v. 173, n. 111433, p. 111433, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111433>.

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, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/polym14225018>.

VERRUCK, Silvani *et al.* COMPOSTOS BIOATIVOS COM CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA EM FRUTAS. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5965/24473650412018111>.

VIANA, Eliseth D. E. Souza *et al.* DESENVOLVIMENTO DE GELEIA DE UMBU-CAJÁ CONVENCIONAL E DIETÉTICA. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 708–717, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-018/14>.

VIANA, E. S. **Embrapa realiza curso sobre processamento de frutas**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://blog.cnpat.embrapa.br/index.php?s=ipa>. Acesso em: 5 fev. 2023.

#### **4 GELATINA COMO AGENTE PROTETOR E VEÍCULO PARA ADMINISTRAÇÃO DE PROBIÓTICOS POR MEIO DE ALIMENTOS: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA.**

##### **RESUMO**

Os probióticos são componentes funcionais que estão despertando o interesse de diversas pesquisas, inclusive formas de adicioná-los aos alimentos e a gelatina tem o potencial de ser um bom material para incorporá-los, além de protegê-los. O objetivo deste trabalho é examinar os principais estudos científicos sobre os probióticos incorporados por gelatina, com base em um método misto de análise cienciométrica e revisão de literatura sistemática a fim de descrever e mapear as principais tendências e nichos de pesquisa. Utilizou-se a base de dados Scopus®, 100 artigos foram identificados e submetidos a análise Cienciométrica utilizando o software VOSviewer e Bibliometrix (RStudio). Neste trabalho, foi realizada uma análise cienciométrica para investigar o cenário global e identificar as tendências em relação à utilização de gelatina para a proteção de probióticos e incorporá-los à alimentos. Foi visto que existe uma tendência de alta muito forte no tema em estudo, sendo o ano de 2023 o que mais houve publicações (18 no total). As revistas Food Hydrocoloids, Food Research International e Food Chemistry as que mais possuem artigos relacionados com o tema estudado e Brasil e China são os países que mais publicam e que mais são citados sobre a área em estudo. Outras técnicas de utilização da gelatina como na formulação de filmes comestíveis, e na associação com outros materiais que tem potencial de reforçar sua estrutura. O presente estudo evidencia o potencial que a gelatina tem como material para possibilitar o desenvolvimento de alimentos ricos em probióticos.

**Palavras-chave:** encapsulamento; impressão 3D; hidrogéis; ciência de alimentos; bibliometria.

## ABSTRACT

Probiotics are functional components which are attracting a great deal of research interest, including ways of adding them to foods, and gelatine has the potential to be a good material for incorporating them, as well as protecting them. The aim of this paper is to examine the main scientific studies on probiotics incorporated into gelatine based on a mixed method of scientometric analysis and systematic literature review in order to describe and map the main trends and research niches. Using the Scopus® database, 100 articles were initially identified and submitted to scientometric analysis using the VOSviewer and Bibliometrix (RStudio) software. This scientometric analysis was performed to investigate the global scenario and identify trends in relation to the use of gelatine to protect probiotics and incorporate them into foods. It was found that there is a very strong upward trend in the subject under study, with 2023 being the year with the most publications (18 in total). The Food Hydrocolloids, Food Research International and Food Chemistry journals contained the most articles related to the topic studied, and Brazil and China are the countries which have published the most and are cited the most in the area under study. Other techniques for using gelatine include formulating edible films and combining it with other materials that have the potential to reinforce its structure. This study highlights the potential of gelatine as a material for developing probiotic-rich foods.

**Keywords:** encapsulation; 3D printing; Edible films; hydrogels; food science and technology; bibliometrics.

## 4.1 Introdução

A gelatina (GL) tem sido estudada como um material de parede eficiente para a encapsulação de probióticos, por tratar-se de um material proteico biodegradável e comercialmente acessível (Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). A Tabela 1 contém os dez artigos mais citados ao longo da linha evolutiva de publicações, que evidenciam a gelatina como principal material para a preservação e manutenção da viabilidade de cepas probióticas.

O cenário de alimentos funcionais contendo probióticos vêm sendo alvo de pesquisas cada vez mais avançadas devido a inserção de novos produtos no mercado (Pereira *et al.*, 2024; Soares *et al.*, 2023). Os probióticos, por sua vez, são microrganismos benéficos que promovem aspectos positivos à saúde desde que consumidos de maneira e quantidades adequadas (Brasil, 2018).

A promoção da saúde estabelecida pela ação probiótica se dá por diferentes mecanismos, sendo os principais: modulação do sistema imune com consequente produção de anticorpos, produção de metabólitos e suporte contra a adesão de patógenos (Pereira *et al.*, 2024; Zoldan *et al.*, 2023). Sendo assim, faz-se necessário que os níveis probióticos estejam minimamente iguais ou superiores a  $10^6$  -  $10^7$  UFC/mL em formulações de alimentos e suplementos alimentares para promoção de tais benefícios (Champagne; Cruz; Daga, 2018; Soares *et al.*, 2023).

Um aspecto bastante importante é a busca por mecanismos de proteção do probiótico contra os fatores intrínsecos e extrínsecos do alimento ao qual está inserido. O pH, a atividade de água, o estresse osmótico, o oxigênio, a exposição à luz, as interações de ingredientes e a temperatura, podem impactar diretamente na redução da concentração das cepas em um determinado produto alimentar (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024; Sanlibaba, 2023; Toplu; Tuncer, 2023). Em adição, a ingestão também pode contribuir na redução da viabilidade das cepas probióticas devido ao meio gastrointestinal e seu condicionamento, uma vez que condições mais ácidas, o contato com sais biliares e enzimas digestivas podem reduzir drasticamente o quantitativo de probióticos viáveis para colonização na parte final do intestino (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024).

Desta forma, tem-se buscado diferentes métodos de entrega de probióticos com o intuito de superar os desafios elencados anteriormente, estando entre eles a encapsulação e técnicas de estabilização, como secagem e liofilização (Wang *et al.*, 2024). A encapsulação de cepas probióticas com biopolímeros (carboidratos, proteínas e suas combinações), tem sido uma alternativa para manter a estabilidade desses microrganismos (Han *et al.*, 2024). O uso da

gelatina como biopolímero tem vantagens, incluindo boa biocompatibilidade e digestibilidade, sendo estes requisitos favoráveis na garantia de entrega das cepas probióticas constituintes em um produto (Vázquez *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024).

Como forma de exemplificar os benefícios da utilização da gelatina na viabilidade de cepas probióticas, Li *et al.* (2023) ao determinar o efeito protetor da encapsulação de *Limosilactobacillus fermentum* NCU001464 com gelatina conseguiram manter uma contagem viável de células das cepas (9.00-6.80 log UFC/g) durante armazenamento por 10 semanas a 4 °C e 25 °C. Outra vantagem na aplicação da gelatina foi observada por Chen *et al.* (2023), que ao estudarem a gelatina em combinação com goma arábica e diacilglicerol melhorou significativamente a estabilidade térmica das cepas *Lactobacillus casei*, mantendo os níveis deste probiótico acima de 10<sup>6</sup> UFC/g.

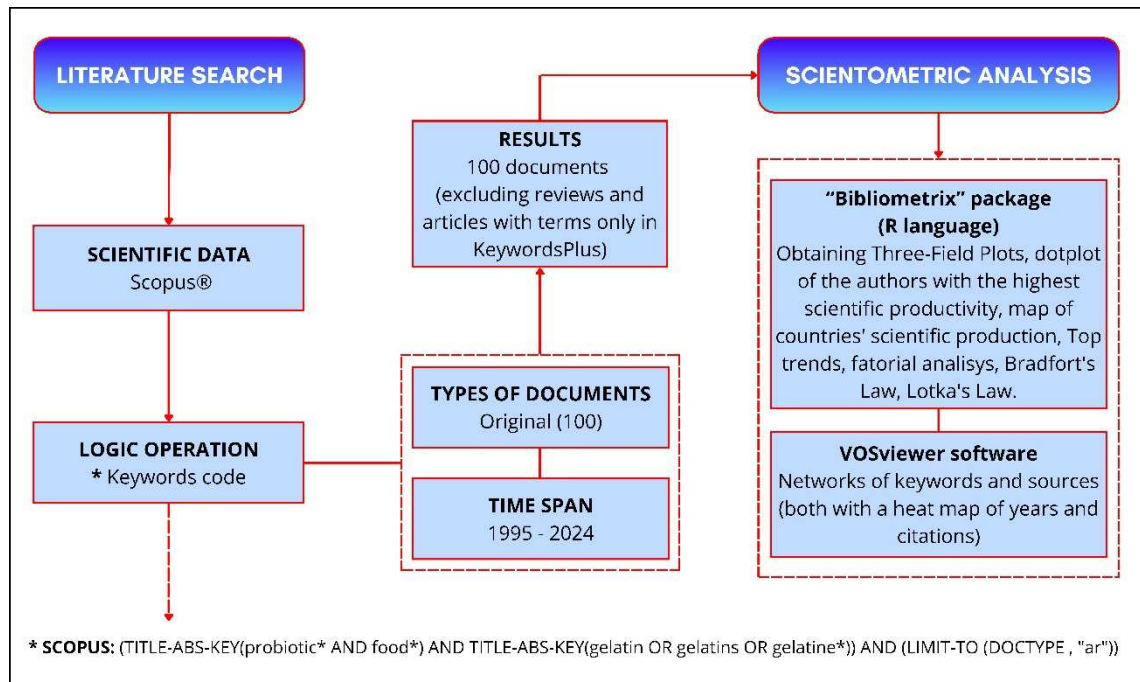
Apesar de existir diversos estudos sobre alimentos probióticos e utilização de gelatinas e suas aplicações, ainda não há informações adicionais que analisem os estudos mais relevantes já publicados da incorporação de probióticos por gelatinas. Uma maneira de obter dados consistentes é através de uma análise cienciométrica, usada para descrever as principais instituições, pesquisadores e fontes de interesse. A análise cienciométrica é uma metodologia de pesquisa que tem sido amplamente aplicada no campo dos estudos de biblioteconomia e ciência da informação e usa ferramentas estatísticas para analisar estudos acadêmicos publicados (Liang & Liu, 2018). Através dela é possível medir e quantificar a produção científica sobre um determinado campo ou assunto em um ou mais bancos de dados, fornecendo uma visão geral rápida e fácil de estudos selecionados por meio de gráficos de interação (Almeida *et al.*, 2021). Revisões bibliométricas e cienciométricas tem sido realizada em muitas áreas de pesquisa em alimentos, incluindo materiais de embalagens para alimentos (Rodríguez-Rojas *et al.*, 2019), frutas exóticas (Melo *et al.*, 2021), aditivos alimentares (Souza *et al.*, 2022) e biodisponibilidade de pesticidas em alimentos e vinhos (Andreo-Martínez *et al.*, 2020).

Portanto o presente estudo tem como objetivo observar o progresso científico em relação ao uso da gelatina como biomaterial para encapsulação de probióticos visando sua proteção, incorporação, viabilidade em alimentos, bem como identificar as principais contribuições, as lacunas de conhecimento e direcionar pesquisas futuras.

## 4.2 Materiais e métodos

O presente estudo foi desenvolvido de acordo com as buscas na plataforma de dados Scopus® com a metodologia descrita na Figura 4.

Figura 4 - Metodologia de busca Cienciométrica.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Os métodos de análise de Aria & Cuccurullo, (2017) para software Bibliometrix – R (versão 4.2.3) e de van Eck & Waltman, (2010) para o software VOSviewer foram utilizados para avaliar as tendências de pesquisa do campo de estudo avaliado.

Os descritores das análises do VOSviewer foram:

- Gráficos de co-ocorrência de palavras chaves: 5 co-ocorrências por palavra-chave, totalizando 56 palavras chaves (foi utilizado arquivo Thesaurus para as palavras consideradas sinônimos).
- Gráficos de acoplamento bibliográfico (source): utilizou-se um mínimo de 1 documento para um mínimo de 5 citações, totalizando 33 periódicos.

Os descritores das análises do Bibliometrix foram:

- Lei de Bradford: todos os periódicos (zonas).
- Trend Topics: palavras chaves da revista (foi utilizado arquivo Thesaurus para as palavras consideradas sinônimos).
- Análise Fatorial: Método de análise múltipla de correspondência com 3 clusters.
- Diagrama de Sankey (gráficos de três campos): autores, afiliações e periódicos.

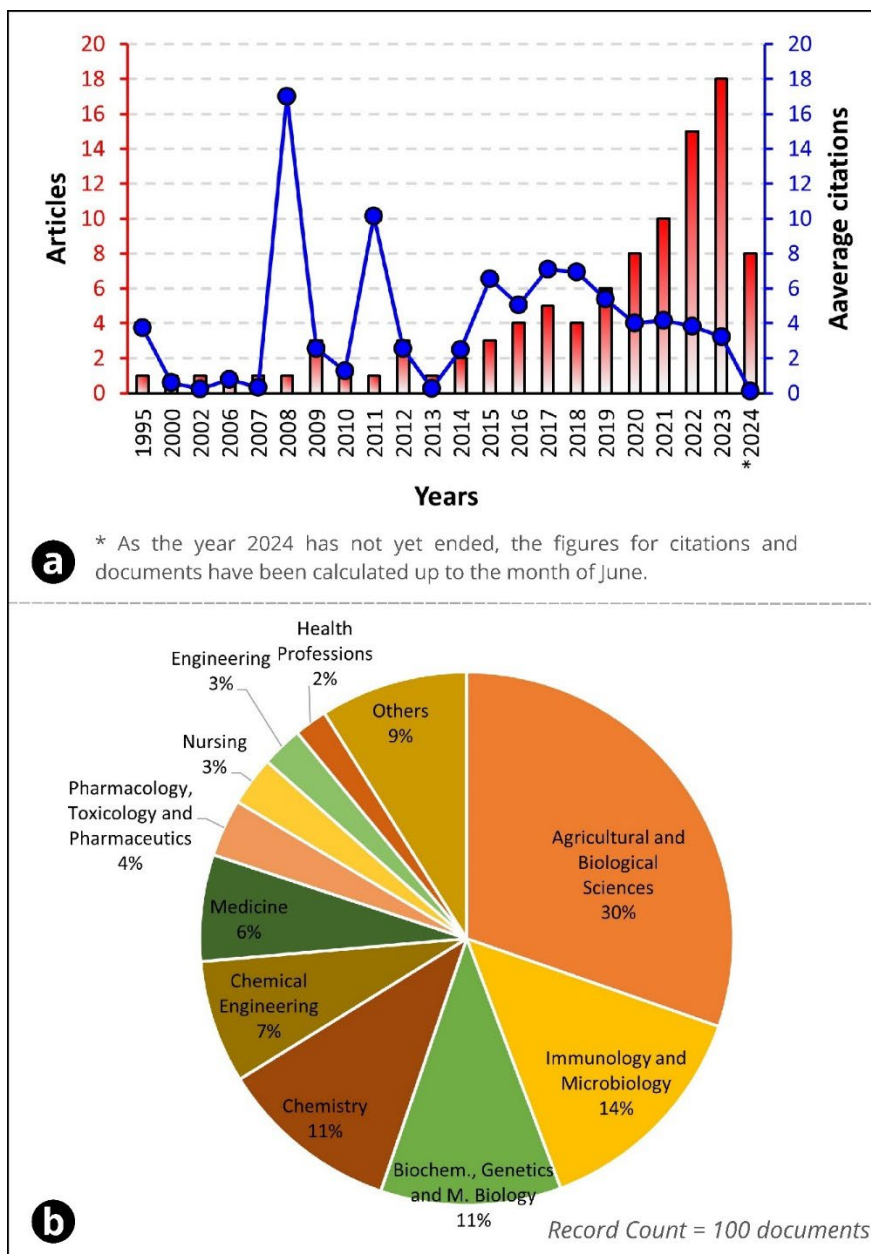
## 4.3 Resultados e discussão

### 4.3.1 Estudo da evolução temporal das publicações



A evolução da análise de desempenho referente as publicações, citações e campos de pesquisa está apresentada na Figura 5a.

Figure 5 - Evolução das citações e determinação das áreas de pesquisa do campo avaliado.



Fonte: Próprio autor, 2024. a = Evolução temporal Número de citações e média de citações; b = áreas de pesquisa do campo avaliado (Scopus®).

É pertinente observar que até 2018 houve apenas 30 publicações sobre o campo avaliado, havendo crescimento relativo notoriamente relevante ( $\approx 200\%$ ) de publicações até maio de 2024 com um pico de crescimento de 18 publicações apenas no último ano (2023), demonstrando existir um interesse cada vez maior sobre o tema. Não existe, porém, há uma

tendência lógica de média de citações por ano, pois o grande volume de citações em um curto período de tempo contribui para uma menor média de citações, porém há uma estabilidade de 4.06 de média de citações dos últimos 5 anos, uma média levemente inferior à média da evolução temporal total (1995 – 2023).

É apresentado na Figura 5b os mais variados campos de pesquisa dos temas avaliados. Os campos de pesquisa podem direcionar as respostas e lacunas que necessitam ser respondidas pela comunidade científica, logo, é visto que existe um interesse dominante em 3 campos de pesquisa muito específicos (ensaios biológicos, microbiológicos e bioquímicos), ocupando 55% das áreas de estudo (Agricultural and Biological Sciences; Immunology and Microbiology; Biochemistry, Genetics and Molecular Biology). 21% dos estudos fazem parte das ciências exatas (Engineering; Chemistry; Chemical Engineering), 11% relacionados a área da saúde (Medicine; Nursing; Health Professions). Importante entender que existe uma diversidade muito grande nas áreas de pesquisa, não sendo possível afirmar que uma determinada área detém uma dominância no campo de estudo avaliado. Essa multidisciplinaridade é fundamental para entender a importância do campo de estudo, bem como os nichos de pesquisa que podem ser explorados nos mais variados campos de pesquisa.

#### ***4.3.2 Estudos dos artigos mais citados***

A Tabela 2 contém os dez artigos mais citados ao longo da linha evolutiva de publicações, que evidenciam a gelatina como principal material para a preservação e manutenção da viabilidade de cepas probióticas.

Tabela 2 - Os 10 artigos mais citados sobre o uso de gelatina como um material de proteção e incorporação de probióticos em alimentos.

Class.	Títulos dos artigos	Revistas e periodicos	NC	JCR	Referancias
1st	Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic <i>Bifidobacterium adolescentis</i> 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions	Food Research International	289	8.8	(ANNAN <i>et al.</i> , 2008)
2nd	Microencapsulation of probiotic <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var: <i>Boulardii</i> with different wall materials by spray drying	LWT	149	6.0	(ARSLAN <i>et al.</i> , 2015)
3rt	Evaluation of probiotic characteristics of newly isolated <i>Lactobacillus</i> spp.: Immune modulation and longevity	International Journal of Food Microbiology	142	5.4	(LEE <i>et al.</i> , 2011)
4th	Fecal recovery following oral administration of <i>Lactobacillus</i> Strain GG (ATCC 53103) in gelatine capsules to healthy volunteers	International Journal of Food Microbiology	112	5.4	(SAXELIN <i>et al.</i> , 1995)
5th	Enhanced viability of probiotics ( <i>Pediococcus pentosaceus</i> Li05) by encapsulation in microgels doped with inorganic nanoparticles	Food Hydrocolloids	105	10.7	(YAO <i>et al.</i> , 2018)
6th	Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from <i>Lactobacillus plantarum</i> by a dual	International Journal of Biological Macromolecules	104	8.2	(PAULA <i>et al.</i> , 2019)

	process combining double emulsification followed by complex coacervation				
7th	Microencapsulation of Lactobacillus salivarius Li01 for enhanced storage viability and targeted delivery to gut microbiota	Food Hydrocolloids	102	10.7	(YAO <i>et al.</i> , 2017)
8th	Stability of Lactobacillus rhamnosus GG incorporated in edible films: Impact of anionic biopolymers and whey protein concentrate	Food Hydrocolloids	88	10.7	(SOUKOULIS <i>et al.</i> , 2017)
9th	Compositional and physicochemical factors governing the viability of Lactobacillus rhamnosus GG embedded in starch-protein based edible films	Food Hydrocolloids	88	10.7	(SOUKOULIS <i>et al.</i> , 2016)
10th	Microencapsulation of a probiotic bacteria with alginate gelatin and its properties	Journal of Microencapsulation	87	3.9	(LI <i>et al.</i> , 2009)

---

\*NC = Number of citations received.

\*\*JCR = Journal Citations Reports (2022).

### 3.2.1 Uso tecnológico da gelatina para o estudo de probióticos

#### 3.2.1.1 Degradação da GL

Os probióticos apresentam potencial terapêutico em diversas condições, porém é importante assegurar a segurança e a eficácia desses produtos. A complexidade das interações entre probióticos, microbiota residente e hospedeiro torna difícil prever os efeitos adversos, como infecções sistêmicas da corrente sanguínea, produção de metabólitos e enzimas prejudiciais, fatores de virulência, resistência a medicamentos, efeitos colaterais gastrointestinais e estimulação imunológica excessiva em indivíduos humanos suscetíveis, tem sido cada vez mais relatada, por isso, aliado com a crescente demanda do mercado de probióticos, é fundamental avaliar a relação benefício-risco de qualquer potencial cepa probiótica antes de sua administração humana (Doron; Snyderman, 2015; Sotoudegan *et al.*, 2019).

Diante do papel da gelatinase na degradação de componentes da matriz extracelular e na subsequente invasão tecidual, o teste de liquefação da gelatina pode ser utilizado como um ensaio fenotípico para detectar a produção dessa enzima pelas bactérias. Este teste *in vitro* constitui um método simples e eficaz para avaliar o potencial invasivo de diferentes isolados bacterianos (Nataraj *et al.*, 2023).

O trabalho realizado por Lee *et al.* (2011) foram analisadas 350 cepas de bactérias ácido-láticas especificamente de *Lactobacillus* spp. Isoladas de fezes de crianças coreanas e tradicional vegetal fermentado coreano kimchi. Dentre os diversos testes avaliados, a degradação da gelatina onde foram colocadas as cepas bacterianas em tubos de GL nutritiva refrigerados em temperatura ambiente (25° C) por um mínimo de 72 horas. O resultado foi que todas as cepas apresentaram atividade negativa para a liquefação de gelatina, ou seja, resultado benéfico para o potencial probiótico dessas bactérias, necessitando de mais estudos para comprovar os benefícios que podem oferecer ao ser humano.

#### 3.2.1.2 Encapsulação

Estudos relacionados a probióticos tem sido amplamente investigado quanto a sua capacidade de proporcionar efeitos benéficos ao hospedeiro, quando administrados em dosagem adequada (Viana *et al.*, 2021). Além disso muitas indústrias alimentícias e

farmacêuticas têm procurado a imersão desses microrganismos em seus produtos, a fim de aumentar a sua funcionalidade (Sun *et al.*, 2023).

Buscando atingir os benefícios a saúde, as cepas devem ter a capacidade de manterem-se ativas e estáveis no produto, possuir alta resistência durante todo o percurso do trato gastrointestinal, para que seja possível garantir seu acesso em quantidade suficiente para a promoção da colonização de modo eficaz (Viana *et al.*, 2021). A dose impacta diretamente na relação de eficácia de alimentos probióticos, desta forma estes devem conter uma quantidade mínima de  $10^6$  a  $10^7$  unidade formadora de colônias por grama, para assim garantir a viabilidade quando consumido (Abdi-Moghadam *et al.*, 2023; Viana *et al.*, 2021).

No entanto, vários percalços podem ser encontrados para a manutenção da viabilidade dos probióticos, entre os principais estão: o estresse oxidativo, a manutenção da vida de prateleira, armazenamento, temperatura e resistência às condições fisiológicas durante o processo de ingestão (Xie *et al.*, 2023). Diante disto, a encapsulação de cepas é uma técnica que vem sendo amplamente estudada com o intuito de auxiliar a proteção dos microrganismos contra as situações adversas dos meios. Dentre as principais técnicas, destacam-se a extrusão, coacervação complexa, emulsificação e métodos de secagem como spray drying e liofilização (Agriopoulou *et al.*, 2023; Xie *et al.*, 2023).

Alinhado com o método de encapsulamento escolhido, a seleção do material de parede é bastante importante, a gelatina (GL) tem sido estudada como um material de parede eficiente para a encapsulação de probióticos, por tratar-se de um material proteico biodegradável e comercialmente acessível. A relevância da utilização deste material dá-se devido à sua solubilidade em água, emulsificação e capacidade de espessamento, sendo estas propriedades necessárias para a obtenção de uma estrutura protetora capaz de melhorar a estabilidade do processo de entrega do probiótico (Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024).

De acordo com os trabalhos citados na Tabela 1, seis estudos tratam do uso da encapsulação para a preservação de probióticos e fazem a avaliação comparativa da viabilidade das cepas encapsuladas com gelatina e não encapsuladas quando submetidas a condições gastrointestinais simuladas.

O trabalho de Saxelin, Pessi e Salminen (1995) é o mais antigo dos selecionados para o desenvolvimento do presente trabalho, eles prepararam cápsulas de gelatina contendo *Lactobacillus rhamnosus strain GG* (ATCC 53103) em duas concentrações,  $1,6 \times 10^8$  UFC/g

era de baixa e  $1,2 \times 10^{10}$  UFC/g era de alta, e administradas por 20 voluntários durante 7 dias. Foi observado que o probiótico foi identificado nas fezes dos voluntários a partir do dia 3 da análise apenas na amostra com maior concentração, enquanto a de menor concentração só foi identificado no dia 7, em relação a quantidade de bactérias do tipo lactobacilos de modo geral, não houve efeito significativo na contagem total, indicando que apesar *Lactobacillus* GG estar presente nas fezes, mais não altera a quantidade de lactobacilos, estes achados sugerem que dosagens mais elevadas são mais eficientes para a administração de probióticos.

Annan *et al.* (2007) utilizaram o método de emulsificação para encapsular cepas de *Bifidobacterium adolescentes* com GL ou co-encapsulada com alginato reticulado com íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) de adição interna e externa (Tabela 1). O encapsulamento foi feito com a GL e *B. adolescentis* emulsionada em óleo contendo Span 85, e adição de genipina, a adição externa dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  foi através da mistura de  $\text{CaCl}_2$ , Tween 80 e as microesferas em solução de alginato (1%), já para adição interna,  $\text{CaCl}_2$  foi musturado a solução de GL. Desta forma os autores conseguiram rendimento do encapsulamento em torno de 41,1% para as amostras encapsuladas com GL e co-encapsuladas com alginato com  $\text{Ca}^{2+}$  interna, superiores ao grupo com  $\text{Ca}^{2+}$  externa e os tamanhos das microesferas não diferiram estatisticamente. Foram encontrados altas contagens ( $> 10^6$  UFC.mL<sup>-1</sup>) da *B. adolescentes* utilizando essa tecnologia ao avaliar a viabilidade das cepas em condições gastrointestinais em todas as amostras, com destaque para os grupos contendo co-encapsulamento com de alginato com  $\text{Ca}^{2+}$ , mostrando que o co-encapsulamento é uma técnica bastante importante para melhor preservar os probióticos (Annan *et al.*, 2007).

Outra metodologia evidenciada nos estudos abordados neste artigo (Tabela 1) é a encapsulação pela coacervação complexa, que por meio deste mecanismo, Paula *et al.* (2019) desenvolveram seu trabalho, onde primeiramente foi preparado a emulsificação contendo *L. plantarum* e em seguida foi feita a coacervação complexa com GL e goma arábica em diferentes proporções auxiliada com a liofilização como método de secagem, encontrando a proporção de 50:50 de GL e goma arábica mais adequada, dentre os parâmetros avaliados está o rendimento do encapsulamento, sendo esta amostra apresentando maior valor, e 4 foi o melhor pH. Também obtiveram resultados positivos na contagem total das cepas probióticas de *L. plantarum*, no final do processo digestivo simulado,  $6,4 \log \text{UFC.g}^{-1}$ , superiores que as células probióticas livres (Tabela 1).

Por sua vez Li *et al.* (2009), Yao *et al.* (2017) e Yao *et al.* (2018) ao utilizarem a metodologia de extrusão para encapsular cepas de *L. casei*, *L. salivarius* e *P. pentosaceus*, respectivamente, com alginato e GL, sendo adicionado óxido de magnésio (MgO) no trabalho de Yao *et al.* (2018). É válido ressaltar, que a técnica de extrusão se dá a partir de uma adição do probiótico em uma solução de hidrocolóide, que é incorporada a uma outra solução contendo  $\text{CaCl}_2$ , nos trabalhos mencionados casos. Todos os trabalhos obtiveram uma redução na perda da viabilidade celular dos probióticos quando comparados as cepas livres principalmente na fase gástrica, onde Li *et al.* (2009) compararam o encapsulamento com diferentes proporções de alginato e GL onde a proporção de 2:1 de alginato e GL foi destaque nas contagens das células probióticas, porém desintegraram muito rapidamente com o aumento do pH (de 2,4 para 8,0). Yao *et al.* (2017) mostraram que o co-encapsulamento de alginato e GL é mais eficiente para a proteção dos probióticos que o encapsulamento somente com alginato, tanto no teste da simulação das condições gastrointestinais, resistência térmica e estabilidade, enquanto Yao *et al.* (2018) observaram que mostraram que a adição de micropartículas de MgO no processo de encapsulamento apresentou maior proteção dos probióticos no encapsulamento com alginato e GL.

Finalizando os tipos de encapsulação encontrados nos dez artigos tabelados neste trabalho, a técnica de secagem utilizando o spray drying aparece como alternativa no estudo de Arslan *et al.* (2015), pois em seu estudo avaliou diferentes materiais (GL, whey protein, amido modificado, maltodextrina, proteína isolada de ervilha e goma arábica) adjuvantes de secagem (80 e 120 °C), as microcápsulas de GL apresentaram maior volume porém não houve diferença significativa de rendimento do encapsulamento entre os diversos materiais de parede, já simulação das condições ácidas do trato gástrico, a GL se destacou juntamente com a goma arábica, por apresentar cerca de 65% de taxa de sobrevivência celular ao ser exposta a pH 1.

Em síntese, podemos observar que dentre os artigos mais citados relacionados ao tema proposto, a GL foi predominantemente utilizada para o encapsulamento de probióticos, com destaque para a aplicação da técnica de extrusão, além de emulsificação, coacervação complexa e spray drying. Observamos que a GL sozinha pode ser utilizada como material de parede do encapsulamento ou com outros materiais como alginato e goma arábica, formando um co-encapsulamento além dos diversos probióticos que podem ser utilizados nesse processo.

A análise dos trabalhos mais citados nos responde quais abordagens estão bem consolidadas na literatura por servir de referência a trabalhos posteriores, dando pistas do rumo



de pesquisas futuras, a utilização de GL como material de parede de encapsulamento de probióticos para protegê-los de condições externas e incorporá-los em alimentos é um tema consolidado, indicando a variedade de aplicações com técnicas de encapsulamento, materiais para co-encapsulamento e cepas probióticas conhecidas ou inovadoras, além de observar a interação com alimentos e outros métodos para analisar os efeitos benéficos dos probióticos, como teste *in vivo*.

### 3.2.1.3 Filmes e revestimentos

Filmes ou revestimentos comestíveis são soluções tecnológicas que estendem a vida útil de alimentos, podendo ser consumidos com ou sem remoção. Com menos de 0,3 mm de espessura, atuam como barreiras protetoras, reduzindo a perda de umidade e controlando trocas gasosas (oxigênio, CO<sub>2</sub>, etileno). Além disso, garantem esterilidade superficial, preservam nutrientes e oferecem funções antioxidantes e antimicrobianas, protegendo e aumentando a viabilidade de cepas probióticas incorporadas. Essas características combinam funcionalidade e sustentabilidade, destacando sua aplicação na indústria alimentícia (Huber, 2009; Coimbra *et al.*, 2023).

A GL tem boa capacidade de formação de filmes (Abedinia *et al.*, 2021). Os trabalhos de Soukoulis *et al.* (2016) e Soukoulis *et al.* (2017) trazem essa vertente ao desenvolver filmes/revestimento de GL, com composições diferentes, na primeira foram utilizados para a fabricação dos filmes comestíveis o arroz nativo e amido de milho, bem como GL de pele bovina, caseinato de sódio e concentrado protéico de soja, enquanto o segundo foi utilizado alginato de sódio de baixa e alta viscosidade, pectina amidada de baixa esterificação, kappa-carragenina/goma de alfarroba e GL na presença ou ausência de concentrado protéico de soro de leite, ambos contendo *Lactobacillus rhamnosus* GG, demonstrando a capacidade destes filmes incorporados em preservar as células probióticas.

Podemos evidenciar que nos dois estudos mais citados sobre o desenvolvimento de filmes comestíveis a utilização da GL como material viável para a proteção e incorporação de probióticos em alimentos. No entanto, esses trabalhos indicam que a GL necessita ser combinada com outros materiais, como carboidratos ou proteínas de origem animal e vegetal, para reforçar a estrutura dos filmes/revestimentos. Essa combinação não apenas melhora a resistência do material, mas também contribui para uma maior conservação do alimento e uma proteção mais eficaz dos probióticos incorporados.

Artigos recentes mostram que esta forma de entrega de probióticos é promissora, devido a microestrutura que se forma no filme com gelatina, impedindo que a atividade de água, o oxigênio e luz atinja as bactérias e com isso seja capaz de garantir a manutenção da sua viabilidade (Lordello *et al.*, 2021). Além disso, há indícios de que a adição de prebióticos na formulação do filme possa melhorar ainda mais essa estabilidade, em condições adversas (Abedinia *et al.*, 2021; Todhanakasem *et al.*, 2022).

### 3.2.2 Avaliação da viabilidade de cepas probióticas

#### 3.2.2.1 Armazenamento

Como já citado anteriormente o armazenamento é um dos fatores que impacta diretamente a viabilidade dos probióticos (Fredua-Agyeman, 2024). Sabendo deste critério importante para sobrevivência das cepas, quatro artigos da Tabela 1 trabalharam a influência direta deste fator. Yao *et al.* (2017) ao avaliar a estabilidade das microcápsulas de *L. salivarius* contendo alginato-gelatina durante quatro semanas a 4 °C, conseguiram manter a viabilidade celular em  $10^6$  UFC. ml<sup>-1</sup>. No entanto em outro trabalho de Yao *et al.* (2018) com avaliação do armazenamento as mesmas condições de tempo e temperatura das cepas de *P. pentosaceus* encapsuladas com alginato-gelatina adicionadas de nanopartículas de MgO, evidenciaram uma contagem de  $10^7$  UFC. ml<sup>-1</sup>, demonstrando uma possível influência positiva do MgO nesse processo.

Por sua vez Paula *et al.* (2019), abordou em seu estudo diferentes condições de armazenamento (25 °C, 8 °C, -18 °C) durante 45 dias e seu impacto na sobrevivência das células de *L. plantarum*. Os autores obtiveram como resultado que a temperatura de congelamento e resfriamento foram favoráveis para a manutenção do probiótico, mantendo as contagens em cerca de  $10^7$  UFC. ml<sup>-1</sup>, enquanto a estocagem em temperatura ambiente colabora com a morte das cepas resultando em uma quantidade aproximada de  $10^5$ .

A aplicação de probióticos em filmes e revestimento aparenta ter um melhor condicionamento para viabilidade das cepas como foi demonstrado por Soukoulis *et al.* (2017). As cepas de *Lactobacillus rhamnosus* GG apresentaram-se estáveis durante 15 e 25 dias de armazenamento ( $10^9$  UFC. g<sup>-1</sup>) a 4 ou 25 °C. A composição à base de alginato de sódio de baixa e alta viscosidade, pectina amidada de baixa esterificação, kappa-carragenina/goma de alfarroba e GL na presença ou ausência de o concentrado protéico de soro de leite, sendo que a inclusão de isolado de proteína de soro de leite aumentou a estabilidade de *L. rhamnosus* GG, mas os filmes de pectina/proteína de soro do leite apresentaram maior contagem de células,

enquanto os filmes carragenina/goma de alfarroba/proteína de soro do leite mostraram maior estabilidade de modo geral.

Diante do exposto, evidencia-se a importância de mensurar a quantidade de UFC no objeto de estudo com probióticos, uma vez que essa análise permite avaliar o impacto da metodologia aplicada sobre esses microrganismos e a eficiência de sua incorporação ao alimento. Além disso, os artigos destacam a necessidade de monitorar o comportamento dos probióticos ao longo do tempo, simulando condições reais de armazenamento, para verificar a eficácia do método utilizado. Paralelamente à análise dos microrganismos, é essencial avaliar o efeito da aplicação dos probióticos na estabilidade e em fatores relacionados à qualidade do alimento, quando pertinente ao estudo, como textura, composição química e segurança microbiológica, assegurando que a funcionalidade e a integridade do produto sejam preservadas.

### 3.2.3 Tratamento térmico

Entre os trabalhos discutidos neste artigo (Tabela 1), apenas um estudo avaliou o efeito da submissão das cepas a alta temperatura. Yao *et al.* (2018), ao expor microgéis de alginato-gelatina com *P. pentosaceus* a 63 °C em condições anaeróbicas verificaram que o mecanismo de proteção criado sobrepôs positivamente na sobrevivência do microrganismo analisado. As microcápsulas, que inicialmente estavam em  $10^{10}$  UFC. ml<sup>-1</sup>, tiveram perdas de  $10^2$  UFC. ml<sup>-1</sup>, enquanto as células livres tiveram uma redução de  $10^4$  UFC. ml<sup>-1</sup> após cinco minutos, é válido ressaltar que em tempo igual a dez minutos nenhum dos tipos de tratamento apresentaram contagem.

Resultado semelhante foi encontrado por Chen *et al.* (2023), quando analisado a resistência do *L. casei*, o encapsulando em gelatina e goma arábica e diacilglicerol. A cepa livre e encapsulada quando submetida a 60 °C, tiveram perdas de aproximadamente  $10^3$  UFC. g<sup>-1</sup> e  $10^2$  UFC. g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os microrganismos probióticos apresentam baixa resistência a altas temperaturas, tornando essencial avaliar sua sobrevivência sob exposição térmica. Essa análise é crucial para avaliar técnicas que objetivam aumentar a resistência desses microrganismos, viabilizando sua aplicação em alimentos que demandam processamento térmico. Dentre os estudos mais citados, o encapsulamento surge como uma estratégia eficaz, demonstrando ser uma abordagem viável para proteger os probióticos durante a exposição ao calor.

### 3.2.4 Bioacessibilidade

Atualmente os estudos têm apontado que estes microrganismos presentes nos alimentos promovem a melhora da saúde e do estado nutricional através do seu importante papel na digestão e absorção, modulação da microbiota e metabolismo de nutrientes e no combate ao estresse imunológico (Chen *et al.*, 2024; Zoldan *et al.*, 2023).

A principal forma de avaliação da viabilidade de cepas probióticas é a simulação do trato gastrointestinal e a análise da colonização da microbiota de hospedeiros nos trabalhos aqui avaliados (Tabela 1). Seis estudos analisam células probióticas viáveis a partir de simulações gastrointestinais, enquanto apenas um artigo aborda o potencial de colonização da microbiota.

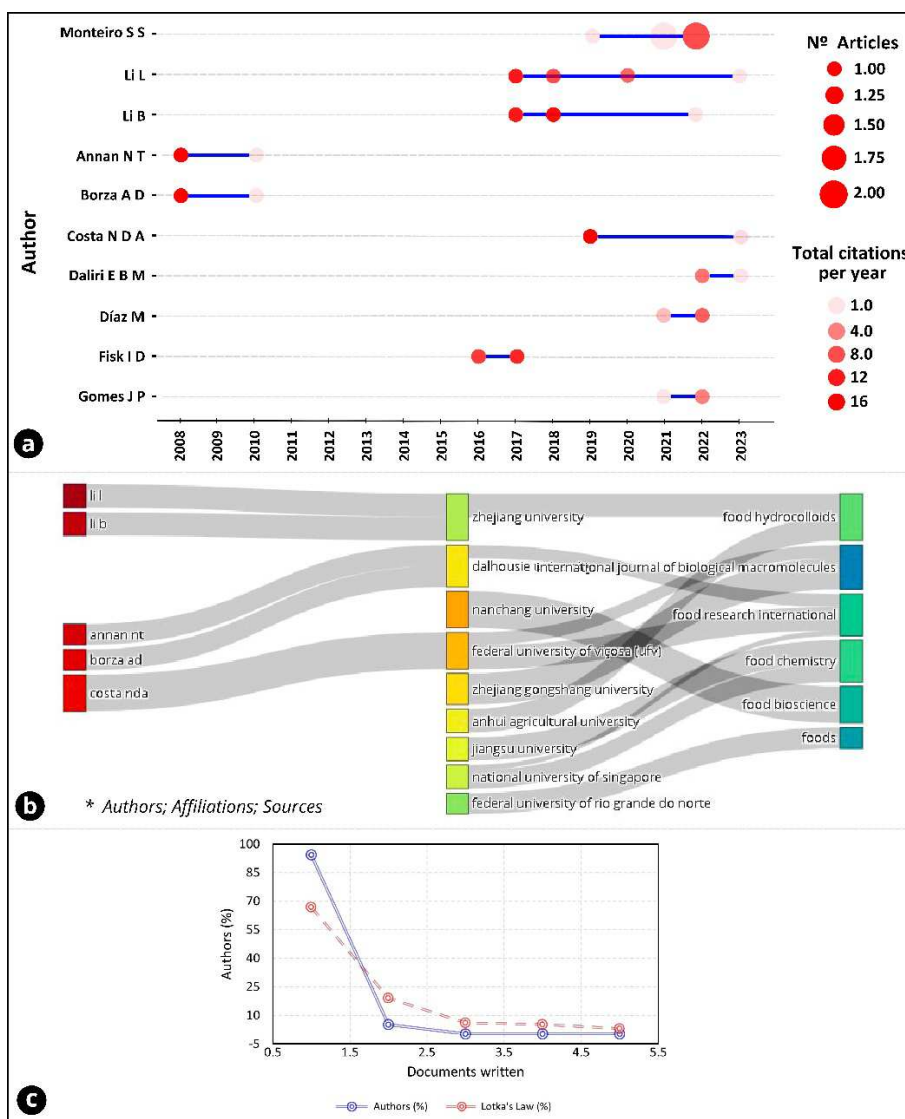
De maneira geral as análises de bioacessibilidade foram feitas em metodologias de avaliações distintas, o que pode implicar na efetividade da simulação dentro do processo digestivo. Annan *et al.* (2007), Arslan *et al.* (2015), Li *et al.* (2009) e Yao *et al.* (2018) utilizaram como modelo de estudo apenas a inoculação das cepas encapsuladas em soluções com diferentes pH. Enquanto, Paula *et al.* (2019) e Yao *et al.* (2017) simularam o processo digestivo utilizando não somente diferentes pH, como também sais, bile e enzimas envolvidas (pepsina, lipase, pancreatina). As distinções metodológicas apresentaram contagens finais por volta de  $10^6$ - $10^7$  UFC.  $\text{ml}^{-1}$ , o que está dentro do aceitável para que os probióticos apresentem efeitos benéficos a saúde do hospedeiro.

Considerando que os probióticos só exercem seus benefícios quando administrados em quantidades adequadas, é fundamental avaliar com precisão a bioacessibilidade dos produtos que contêm esses microrganismos. Essa análise permite afirmar, com maior exatidão, a eficácia das técnicas estudadas em garantir a entrega dos probióticos em quantidades desejáveis. Embora as metodologias que simulam apenas recortes do processo digestivo gastrointestinal não reproduzam fielmente a realidade, elas fornecem indicativos relevantes sobre a efetividade dessas técnicas, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes em trabalhos futuros. Ampliando o escopo dos trabalhos, pode ser implementando testes *in vivo* com administração do objeto de estudo em animais e avaliando o seu aspecto benéfico através da observação do comportamento, por exemplo.

### 4.3.3 Análise Cienciométrica de autores, afiliações e periódicos

Na Figura 6. Podemos identificar a relação dos autores com os diversos parâmetros bibliométricos.

Figure 6 - Produção científica dos autores.



Fonte: Próprio autor, 2024. a = Produção científica dos autores no decorrer do tempo;

b = Diagrama de Sankey com autores afiliações e periódicos; c = Lei de Lotka.

A Figura 6a apresenta a produção dos 10 principais autores e a força de produtividade destes no decorrer do tempo estudado (2008 – 2023). A análise foi realizada mediante marcadores que determinaram o número de publicações e citações, os círculos maiores representam a correlação com a quantidade total de manuscritos. A força de citação é mensurada pela cor, variando da mais clara (baixo índice de citação - 1) a mais escura (alto índice de citação - 14) (Oliveira et al., 2022; Sganzerla et al., 2021; Sganzerla and Silva, 2022).

É importante ressaltar que os autores apresentados no gráfico de produtividade no decorrer do tempo não são necessariamente os primeiros autores dos artigos, mas os mais

produtivos, e a rede de colaboração entre eles intensifica ainda mais a produtividade individual de cada um.

Dos 10 autores mais produtivos, 3 são brasileiros (Monteiro S.S.; Costa N.D.A., Gomes J.P.), 3 são canadenses (Annan N.T.; Borza A.D.; Hansen L.T.) e 4 são chineses (Li L.; Li B.; Huang T.) e um autor da Lituânia (Daliri E.B.M.), dados que indicam uma força grande nas pesquisas na China, Brasil e Canadá. Monteiro S.S. é a pesquisadora de maior representatividade sendo autora ou coautora de 5 artigos nos anos de 2019, 2021, 2022, seu maior índice de citação por ano foi em um artigo onde participou como autora principal, tendo um índice de citação por ano de 7.2 (36 citações) (MONTEIRO *et al.*, 2020). Já Costa N.D.A. é a autora/coautora com o maior índice de citação por ano ( $\approx 17$ ) entre os autores mais produtivos com um artigo de 2019 (Paula *et al.*, 2019).

O diagrama de Sankey ou diagrama de três campos é mais uma ferramenta bibliométrica do software bibliometrix e ajuda a entender a tendência dos campos científicos, este gráfico correlaciona um conjunto de dados através de um fluxo e descreve a força entre os parâmetros tais como afiliações, autores e revistas dentro do campo de investigação, como os relacionados na Figura 6b (Ampese *et al.*, 2023, 2022).

Das afiliações mais fortes, 5 são chinesas, 2 brasileiras, 1 canadense e 1 de Singapura, demonstrando haver um grupo muito bem estabelecido no Canadá e uma descentralização de grupos no Brasil e na China. É visto também uma descentralização nos periódicos mais procurados para publicação, sendo a Food Research International o periódico com mais versatilidade em relação as Universidades que estudam sobre o tema, estando correlacionado com 3 das 9 em evidência no diagrama (Dalhousie University – Canadá; Universidade Federal de Viçosa – Brasil; National University of Singapore – Singapura). Food Hydrocolloids, International Journal of Biological Macromolecules e Food Chemistry estão todas correlacionadas com 2 Universidades e Food Bioscience e Foods correlacionadas com uma universidade cada. A descentralização nas revistas é resultante das várias áreas de pesquisa já visualizadas na (Figura 5b).

A Lei de Lotka é uma das leis da bibliometria que descreve a distribuição da produtividade científica dos autores em um determinado campo. Formulada por Lotka (1926), a lei afirma que o número de autores fazendo “ $n$ ” contribuições é aproximadamente uma fração do número daqueles fazendo uma contribuição, seguindo uma distribuição inversamente proporcional ao quadrado do número de contribuições. A fórmula geral está expressa na Eq.1:

$$n(x) = C/x^a \quad (1)$$

onde,  $n(x)$  é o número de autores publicando “ $x$ ” artigos, “ $C$ ” é uma constante e “ $a$ ” é geralmente próximo de 2.

A Figura 6c apresenta o gráfico referente a Lei de Lotka e é possível identificar que os dados experimentais estão muito próximos da Lei o que indica que a distribuição da produtividade dos autores no campo analisado segue a tendência comum, ou seja, um pequeno número de autores domina a produção científica.

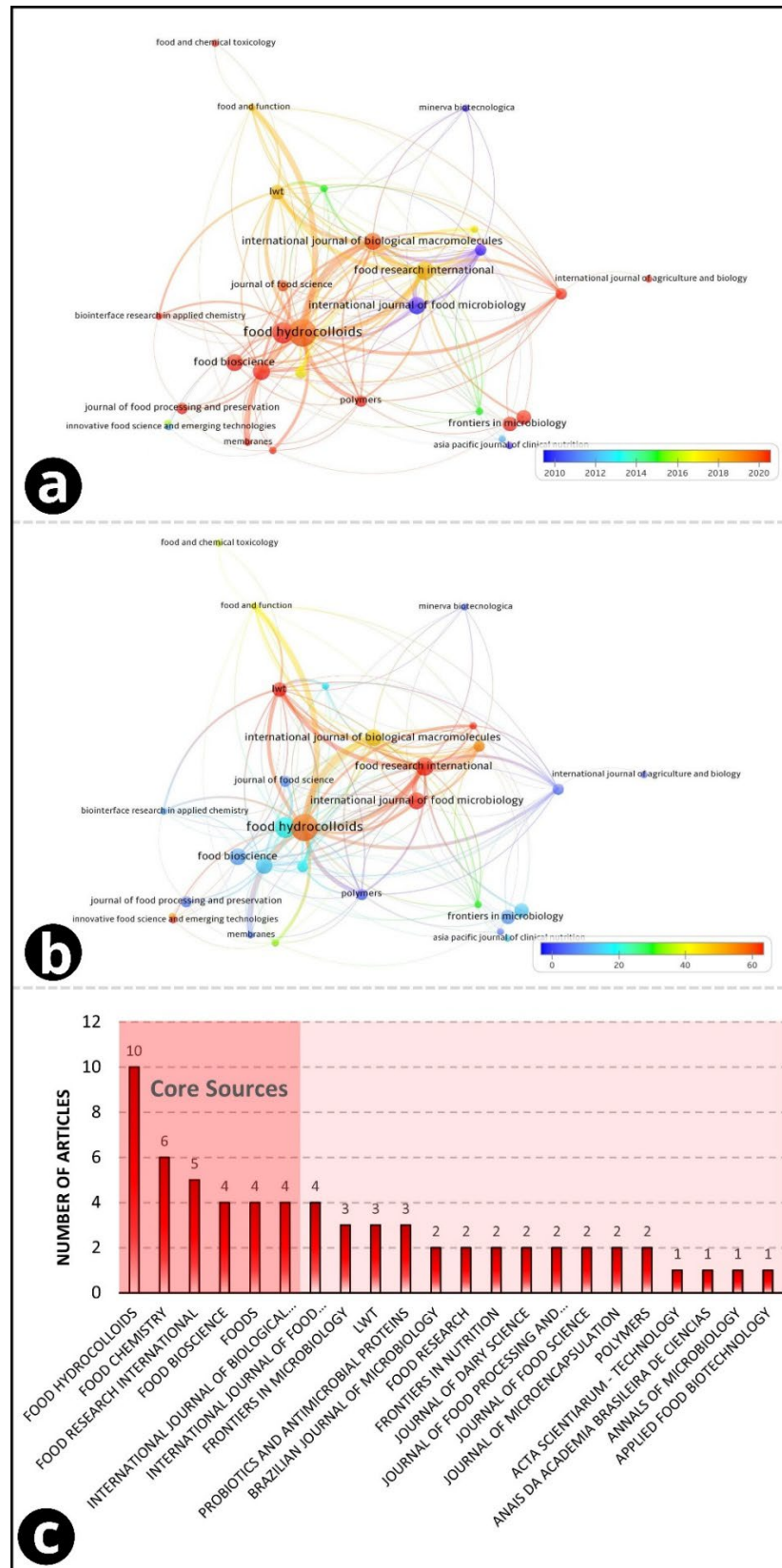
Primeiramente, observa-se uma distribuição desigual da produtividade entre os autores, onde poucos pesquisadores são extremamente produtivos, publicando a maioria dos trabalhos, enquanto muitos contribuem apenas esporadicamente (3 autores com 1 artigos, 2 autores com 26 artigos e 476 autores com 1 artigo). Esta situação aponta para uma estrutura hierárquica na comunidade acadêmica, com pesquisadores líderes que dominam a literatura e exercem grande influência nas direções de pesquisa. A Figura 6a corrobora com a Lei de Lotka e indica que Monteiro S.S, Li L. e Li B. os autores com 5, 4 e 3 documentos, respectivamente, liderando o campo de estudo.

Além disso, a conformidade pode indicar a existência de barreiras significativas que impedem novos pesquisadores de publicar frequentemente, o que pode ser devido a dificuldades em obter financiamento ou acessar redes de colaboração essenciais. Esse padrão também sugere que o campo alcançou um nível de maturidade e estabilidade, com padrões bem estabelecidos de pesquisa e publicação.

Do ponto de vista das políticas de pesquisa e gestão, entender essa distribuição permite aos formuladores de políticas e gestores acadêmicos desenvolver estratégias que promovam uma distribuição mais equitativa de recursos e oportunidades, apoiando especialmente aqueles pesquisadores menos estabelecidos. Para os pesquisadores individuais, essa análise destaca a importância de desenvolver redes eficientes e estratégias para aumentar a visibilidade de seus trabalhos, a fim de avançar competitivamente no campo.

A Figura 7 apresenta as interconexões entre os periódicos de maior impacto no campo estudado. De acordo com a Figura 4a o periódico Food Hydrocolloids e Food Chemistry aparecem com uma esfera nó maior, indicando alta relevância e impacto nas áreas de estudo relacionadas.

Figura 7 - Acoplamento bibliográfico de periódicos no decorrer do tempo.





Fonte: Próprio autor. a = Acoplamento bibliográfico de periódicos no decorrer do tempo por médias de documentos; b = Acoplamento bibliográfico de periódicos no decorrer do tempo por médias de citações; c = Lei de Bradford.

A tonalidade levemente laranja e amarela indica estudos mais recentes 2018 – 2023, sendo a Food Hydrocolloids, Food Chemistry, Foods, Food Bioscience e Food Research International as revistas de maior contribuição em intervalo de tempo recente. Já na Figura 5b é apresentado a média de citações dessas revistas e pode-se verificar que a Food Research International possui uma média de citações muito alta, o que não é comum, pois os documentos publicados nessas revistas, como visto, são recentes, significando que os artigos publicados nesses periódicos possuem alta relevância científica no campo estudado. A Food Hydrocolloids também possui uma média de citações alta, porém inferior à da Food Research International. Vale salientar que a Foods tem índices médios de citações baixos, porém ela é uma revista muito abrangente no sentido de escopo e completamente Open Access, o que é modestamente curioso, tendo em vista que todas as publicações têm um maior alcance e mesmo assim não obtiveram altos índices médios de citações.

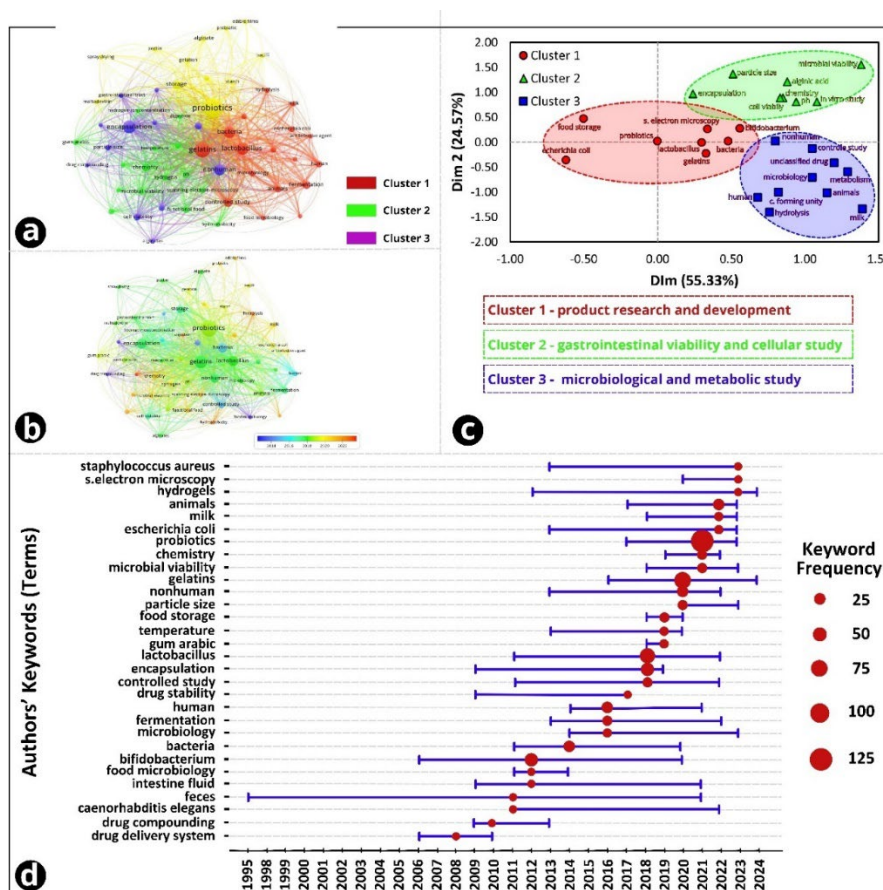
As figuras apresentadas do VOSViewer (Figura 7ab) corroboram diretamente com a Lei de Bradford (Figura 7c). A Lei de Bradford é uma das leis empíricas da bibliometria, formulada por Bradford (1934). Ela afirma que, se organizarmos periódicos científicos em zonas de produtividade decrescente de artigos relevantes, cada zona terá aproximadamente o mesmo número de artigos, mas o número de periódicos em cada zona aumentará exponencialmente. Food Hydrocolloids é o periódico de maior volume de publicações do campo em estudo com 7 documentos, seguido da Food Chemistry com 6, da Food Research International com 5 e da Food Bioscience, Foods, International Journal Of Biological Macromolecules e International Journal Of Food Microbiology com 4 documentos cada uma. A “core source” do gráfico é representada por 7 periódicos e a segunda zona por 17 periódicos. O gráfico demonstra claramente a Lei de Bradford, mostrando que um pequeno número de periódicos contribui com a maior parte das publicações em um campo de estudo, enquanto muitos outros periódicos têm uma contribuição significativamente menor. Esta distribuição é útil para os pesquisadores decidirem quais periódicos são mais relevantes para publicações de seus estudos.

#### 4.3.4 Análise Cienciométrica de palavras chaves e países

Estudos afirmam que as palavras-chaves são utilizadas como filtros para busca de arquivos, onde apresentam papel fundamental naquilo que os autores buscam enfatizar em seus estudos, indicando a frequência e a co-ocorrência dessas palavras (Melo *et al.*, 2021).

A Figura 8a mostra os resultados das análises de tendências das palavras-chaves utilizadas pelos autores entre 2018-2023, com no mínimo 20 ocorrências, totalizando 5 clusters distintos. O cluster é caracterizado pelo conjunto de palavras às quais se diferenciam por cores, resultando em grupos que se relacionam por meio dos temas abordados, buscando enfatizar o objetivo principal do estudo. O tamanho de cada nó (círculo) representa a ocorrência do seu uso; a quantidade de linhas adjacentes, por sua vez, indica suas conexões a outras palavras-chaves, sendo diferenciado pela cor que cada cluster se encontra. Com base na Figura 5a, observou-se que “probiotics”, “gelatins”, “lactobacillus”, “bacteria” e “encapsulation” são as palavras-chaves com maior grau de frequência de uso e de ligações, estando probiotics no cluster 1, “gelatins”, “lactobacillus” e “bacteria” no cluster 2 e “encapsulation” no cluster 3.

Figura 8 - Redes de conexões de palavras-chaves e tópicos de tendência de 1995 – 2024 e evolução temporal das médias de publicação.



Fonte: Próprio autor, 2024. a = análise de visualização de redes; b = evolução temporal das médias de publicação (overlay visualization); c = análise fatorial de palavras chaves e tópicos de tendência de 1995 – 2024.

Na Figura 8b é visto que as “probiotics”, “gelatins”, “encapsulation” e “lactobacillus” possuem documentos bem recentes (a partir de 2018) e que os estudos relacionados a digestão simulada in vitro (“digestion”), viabilidade microbiológica (“microbial viability”) e alimentos funcionais (“functional foods”) são temas mais atuais tendo relevância a partir de 2020. Interessante ressaltar que apenas 8 palavras chaves (“drug compounding”; drug delivery system”; intestine fluid”; “bifidobacterium”; “bacteria”; “controlled study”; “food microbiology” and “human”) estão com documentos em anos abaixo de 2016 o que demonstra uma força muito grande das tendências de pesquisa nos últimos anos.

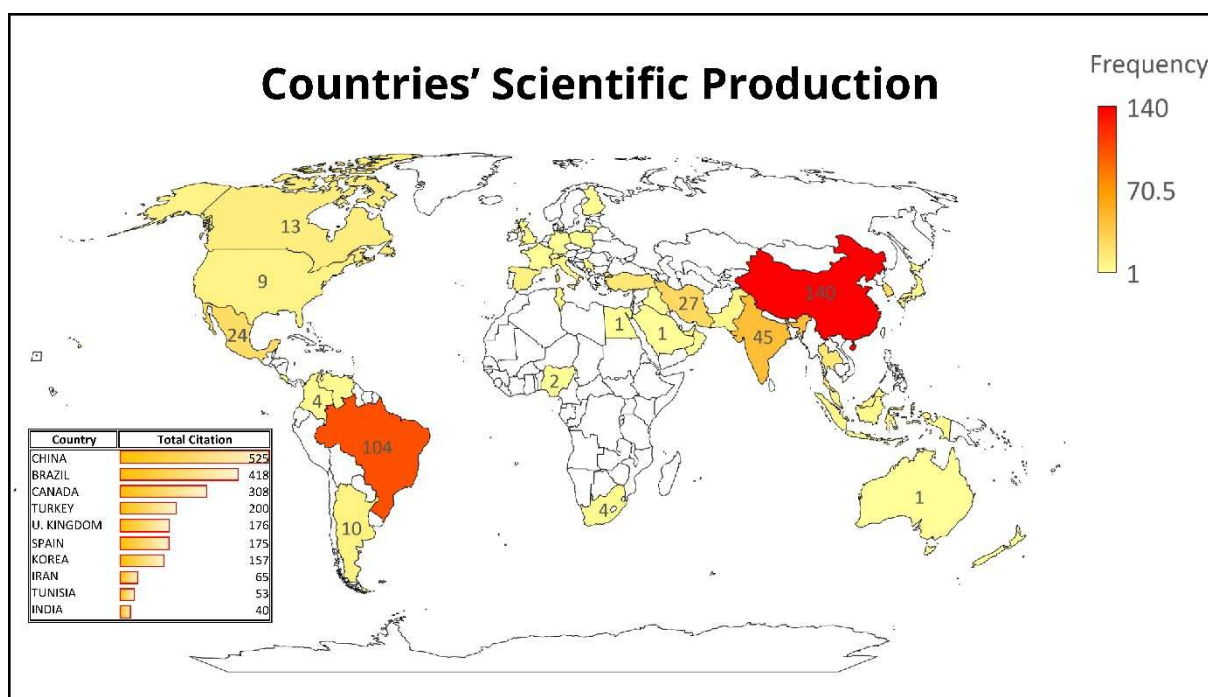
Na Figura 8c é visto a análise multivariada, onde 80% da variância total é explicada nas duas dimensões (Dimension 1 and 2) sendo 55, 33% explicada na Dim 1. Logo, pode-se correlacionar a Figura 8a e 8c sendo possível identificar padrões de correlação pelos clusters formados na Figura 8c (cluster 1 – product research and development; cluster 2 – gastrointestinal viability and cellular study; cluster 3 – microbiological and metabolic study). Temas relacionados “chemistry”, “pH”, “in vitro study” e “microbial viability” estão no mesmo cluster nas análises de network visualization (Figura 8a) quanto na multiple correspondence analysis (Figura 8c). Já os temas relacionados a “animals”, “human”, “microbiology”, “hidrolysis”, “colony forming unit”, “metabolism”, “controlled study” e “milk” estão também correlacionados no mesmo cluster nas análises de network visualization (Figura 8a) quanto na multiple correspondence analysis (Figura 8c). O cluster 1 da Figura 7c estão muito centralizado em ambas as Dimensões (o termo “probiotics” está completamente centralizado), logo, os temas (palavras chaves) quando correlacionadas com a análise de network visualization (Figura 8a) haverá certa diferença, pois a análise da Figura 8a estão associada a interação e força entre as palavras chaves, e a análise multivariada amplia mais as correlações (no caso em até duas dimensões), podendo ser mais fácil e coerente identificar áreas específicas pela análise multivariada. É possível ainda entender que as pesquisas relacionadas ao “food storage” estão intimamente relacionadas a “*escherichia coli*” o que é esperado, devido essa bactéria ser a principal representante do grupo de bactérias Gram negativas.

Na Figura 8d pode-se identificar a frequência das palavras chaves de maior força na evolução temporal (1995 – 2024) e é visto que nos últimos cinco anos (2019 – 2023) as palavras chaves mais frequentes foram: “*staphylococcus aureus*”, “s. electron microscopy”,

“hydrogels”, “animals”, milk, “*escherichia coli*”, “probiotics, chemistry”, “microbial viability”, “gelatins”, “nonhuman”, “particle size”, “food storage”, “temperature” gum arabic”. Identifica-se também que os termos de maiores frequências são “probiotics” e “gelatins”, com 130 e 76 menções, respectivamente. A palavra-chave “hydrogels” é o termo de maior tempo presente dos últimos 5 anos (2012 – 2024) e o único termo que está presente nos artigos de 2024, o que indica uma forte tendência/nicho de pesquisas na área em estudo.

A Figura 9 apresenta a participação dos países que mais contribuem com o estudo do campo.

Figura 9 - Contribuição científica dos países.



Fonte: Próprio autor, 2024.

É visualizado existem 532 documentos sendo a China e o Brasil os países de maior contribuição científica, com mais de 45.9% (244 documentos) e 936 citações (522 citações da China e 414 citações do Brasil), seguido da Canadá com 9 documentos e 308 citações. É importante ressaltar que mesmo o Canadá com aproximadamente 11 vezes menos documentos que o Brasil e 15 vezes menos que a China possui índices muito altos de citações, demonstrando muita força no campo em estudo. A Figura 8 corrobora com alguns indicativos já visualizados, como a forte influência dos autores chineses, brasileiros e canadenses.

Interessante ressaltar a presença de 4 países pertencentes ao bloco econômico BRICS entre os 5 países com mais publicações utilizando a gelatina como material de

incorporação de probióticos em alimentos, China, Brasil, Índia e Irã. O Irã entrou recentemente para o bloco, porém o grupo BRICS possui medidas de cooperação com medidas para superar os problemas de insegurança alimentar presente em seus países membros, principalmente após a publicação da Declaração Conjunta sobre Segurança Alimentar Global em 2009, onde os países BRICS firmaram acordo de ampla cooperação em ciência, tecnologia, informação e comércio e convocaram a Conferência Ministerial do BRICS sobre inovação científica e tecnológica, indústria, comunicações, agricultura e comércio visando o desenvolvimento de medidas de apoio nas diferentes áreas envolvendo segurança alimentar (Noort *et al.*, 2014).

Exista uma tendência de volatilidade e crescimento dos aspectos relacionados com a segurança alimentar global dos países que compõem o BRICS, com destaque para a taxa elevado de produção de cereais e baixa para produtos frescos (Ren *et al.*, 2022). Em 2022, os países BRICS dominaram a produção agrícola global, respondendo por mais da metade do volume total. Essa conquista destaca o poder da colaboração e reforça a importância de fortalecer ainda mais os laços entre as nações. Através da pesquisa conjunta, do compartilhamento de melhores práticas, do investimento em infraestrutura, do combate à fome e à desnutrição, e da promoção da agricultura sustentável, os BRICS podem liderar a construção de um sistema alimentar global (Tanima *et al.*, 2024).

A maior cooperação desses países na produção científica na utilização da gelatina para proteção e incorporação de probióticos em alimentos, pode ser um impulsionador na pesquisa científica sobre a produção de alimentos, visto que fazem parte deste bloco econômico os maiores produtores de estudos sobre esse tema com praticamente ausência de parcerias entre si.

#### ***4.3.5 Tendências para a indústria de alimentos***

A Tabela 3 apresenta os artigos publicados no ano de 2024 até o mês de junho, contendo informações mais detalhadas sobre os métodos, os probiótico e a composição utilizados nos materiais incorporados aos probióticos, bem como os principais resultados, servindo como indicador de tendências de publicações futuras sobre o presente tema.

Tabela 3 - Estudos publicados até junho de 2024 sobre o uso de gelatina como um material de proteção e incorporação de probióticos em alimentos.

Referência	Título - Objetivo	Metodologia	Principais Resultados
Haro-González, <i>et al.</i>	<p><b>Título:</b> <i>Type A gelatin-amidated low methoxyl pectin complex coacervates for probiotics protection: Formation, characterization, and viability.</i></p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolver e caracterizar coacervados obtidos a partir de gelatina tipo A e pectina amidada com baixo teor de metoxil e avaliar sua adequação para uso como sistema de liberação controlada de probióticos em condições gastrointestinais simuladas</p>	<p><b>Material:</b> Complexo de pectina amidada com baixo teor de metoxi; Gelatina tipo A.</p> <p><b>Probiótico:</b> <i>Bifidobacterium longum</i> BB536; <i>Lactobacillus acidophilus</i>.</p> <p><b>Análises:</b> Potencial Zeta dos biopolímeros; Medições de turbidez; Propriedades reológicas e textura; Propriedades de porosidade e inchaço; Viabilidade probiótica em fluidos gastrointestinais.</p>	<p>O hidrogel apresentou porosidade de 44% e capacidade de absorção de água de até 12 vezes. Perfis de absorção de água foram obtidos em diferentes valores de pH (2, 5 e 7). A influência do complexo de pectina amidada com baixo teor de metoxi dependeu do meio, que controlou a hidratação e a taxa de absorção de água. complexo de pectina amidada com baixo teor de metoxi promoveu a viabilidade das cepas <i>B. longum</i> BB536 e <i>L. acidophilus</i> sob condições gastrointestinais simuladas.</p>
Wang, <i>et al.</i>	<p><b>Título:</b> Probiotics encapsulated by gelatin and hyaluronic acid via layer-by-layer assembly technology for enhanced viability.</p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolvimento de microcápsula probiótica com gelatina e hialuronano como</p>	<p><b>Material:</b> Hialuronano; Gelatina.</p> <p><b>Probiótico:</b> <i>Lactobacillus rhamnosus</i> 6133.</p> <p><b>Análises:</b> Potencial zeta; Espectroscopia de fluorescência; Difração de raios X (XRD); Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR); Resistência celular das</p>	<p>Este estudo avaliou a eficiência de encapsulamento e a estabilidade de microcápsulas multicamadas contendo extrato celular de probióticos. A eficiência de encapsulamento variou entre 78% e 92%, demonstrando a capacidade do método de</p>

	<p>materiais de parede principal sendo preparada usando um encapsulador e montagem por camadas.</p>	<p>microcápsulas sob condições de pH, temperatura e NaCl; Armazenamento a longo prazo; Condições gastrointestinais; Atividade antioxidante dos probióticos encapsulados e a atividade do extrato celular foram medidas após digestão simulada in vitro.</p>	<p>revestimento multicamadas em proteger o material encapsulado. As análises de FT-IR e XRD confirmaram a formação de microcápsulas com estrutura multicamadas, estabilizadas por ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas. Durante a simulação da digestão gastrointestinal, a dissolução gradual do material da parede das microcápsulas expôs as células dos probióticos ao ambiente gástrico. No entanto, a alta cobertura proporcionada pelas microcápsulas multicamadas retardou esse processo, minimizando o efeito adverso na viabilidade celular. Além disso, as microcápsulas multicamadas promoveram um aumento significativo nas propriedades antioxidantes e na viabilidade do extrato celular dos probióticos quando submetidas a condições adversas, como temperatura elevada e oxidação.</p>
--	---	---	--

Ok, <i>et al.</i>	<p><b>Título:</b> Preparation and characterization of 3d printed objects based on different kefir gels.</p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolvimento de lanches contendo kefir através da técnica de impressão 3D de alimentos, estudando os parâmetros de preparação e avaliar as propriedades dos objetos impressos em 3D.</p>	<p><b>Material:</b> Amido; Gelatina; Alginato.</p> <p><b>Probiótico:</b> Kefir.</p> <p><b>Análises:</b> Determinação da concentração mínima de gelificação; Análise reológica e textura; Propriedades físico-químicas (umidade, gordura, proteína, cinzas, cor, pH e viscosidade); Análise sensorial.</p>	<p>Este estudo comparou a microbiota, propriedades sensoriais e aceitação do consumidor de filmes comestíveis à base de amido, gelatina e alginato encapsulando probióticos. A análise microbiológica revelou que as amostras à base de amido apresentaram significativamente menor quantidade de <i>Lactobacillus</i> spp. e <i>Lactococcus</i> spp. em comparação com o kefir fresco e as amostras à base de gelatina e alginato. As propriedades sensoriais e a avaliação sensorial da amostra à base de gelatina foram inferiores às demais. Em contrapartida, a amostra à base de alginato (contendo 3% de alginato) se destacou por apresentar alta qualidade de impressão (98% de capacidade de impressão e 99% de estabilidade dimensional), elevado teor de probióticos (7,81 e 8,13 log UFC/ml de <i>Lactobacillus</i> spp. e <i>Lactococcus</i> spp.,</p>
-------------------	---	---	--



			respectivamente) e excelente aceitação do consumidor (4,71 de 5 para aceitação geral).
Vojdani & Kazemeini	<p><b>Título:</b> Study on the effects of gelatin films containing <i>Lactobacillus hamnosus</i> and <i>Lactobacillus acidophilus</i> probiotics on the survival of <i>Staphylococcus aureus</i> and physicochemical characteristics of the carp fillets at refrigerator temperature.</p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolvimento de filme de gelatina contendo os probióticos <i>Lactobacillus rhamnus</i> e/ou <i>Lactobacillus acidophilus</i> e investigar seus efeitos em filés de <i>Cyprinus carpio</i>, melhorando seus fatores físico-químicos durante o armazenamento em temperatura de geladeira por 9 dias.</p>	<p><b>Material:</b> Gelatina.</p> <p><b>Probiótico:</b> <i>Lactobacillus rhamnus</i>; <i>Lactobacillus acidophilus</i>.</p> <p><b>Análises:</b> Viabilidade dos probióticos; Contagem de <i>Staphylococcus aureus</i>; pH; Quantidades de bases nitrogenadas voláteis; Índice de peróxido; Ácido tiobarbitúrico. Todas as análises foram realizadas a cada três dias por nove dias.</p>	<p>Neste estudo, avaliou-se a sobrevivência de <i>Lactobacillus acidophilus</i> e <i>Lactobacillus rhamnosus</i> em filmes de gelatina com e sem probióticos, e sua capacidade de controlar o crescimento de <i>Staphylococcus aureus</i> em filés de carpa. No final do experimento, a sobrevivência de <i>L. acidophilus</i> foi significativamente maior (7,88 log UFC/g) no filme com ambos probióticos em comparação ao filme com somente um deles (6,71 log UFC/g). Já a viabilidade de <i>L. rhamnosus</i> diminuiu em ambos os tratamentos, com valores de 7,03 e 6,01 log UFC/g para os filmes com ambos probióticos e somente um deles, respectivamente. Os filmes contendo probióticos demonstraram melhor controle do crescimento de <i>S. aureus</i> nos filés de carpa, quando comparados ao grupo controle e ao grupo filme sem probióticos. Além disso, os</p>

			filmes com probióticos apresentaram menores alterações nos parâmetros químicos dos filés de carpa em comparação aos demais grupos.
Zhang, <i>et al.</i>	<p><b>Título:</b> Effects of phospholipid content on the palatability and bacterial stability of oral-release probiotic mouth incense pills.</p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolvimento de pílula de desintegração oral contendo <i>Lactobacillus plantarum</i> P9 e óleo de coco, apresentando a gelatina como material de parede.</p>	<p><b>Material:</b> Gelatina; Óleo de coco.</p> <p><b>Probiótico:</b> <i>Lactobacillus plantarum</i> P9.</p> <p><b>Análises:</b> Aparência; Diâmetro; Textura; Armazenamento e a estabilidade dos probióticos no processo simulado de digestão oral.</p>	A adição de fosfolipídios não teve efeito significativo no diâmetro, dureza e elasticidade das pílulas com probiótico, e o aumento da adição de fosfolipídios poderia acelerar significativamente a taxa de fusão do núcleo lipídico sólido no fluido digestivo oral. A adição de fosfolipídios também aumentou as taxas de retenção da atividade bacteriana dos probióticos durante o processamento e armazenamento (25°C, 12 meses), que foram de 85,4% (quantidade de adição de fosfolipídios 1,5%) e 23,4% (quantidade de adição de fosfolipídios 1%), respectivamente.
Colmenares-Cuevas <i>et al.</i>	<b>Título:</b> Development and study of the functional properties of marshmallow	<b>Material:</b> Alginato de sódio; Gelatina; Mucilagem de nopal.	As propriedades físico-químicas dos <i>marshmallows</i> foram consideradas

	<p>enriched with bee (<i>Apis mellifera</i>) honey and encapsulated probiotics (<i>Lactobacillus rhamnosus</i>).</p> <p><b>Objetivo:</b> Desenvolvimento de <i>marshmallows</i> enriquecidos com mel de <i>Apis mellifera</i> e <i>Lactobacillus rhamnosus</i> e avaliar o efeito da concentração de mel e do grau de florescimento de gelatina nas propriedades do <i>marshmallow</i>.</p>	<p><b>Probiótico:</b> <i>Lactobacillus rhamnosus</i>.</p> <p><b>Análises:</b> Caracterização do mel de abelha (Hidroximetilfurfural, atividade antioxidante (DPPH) e compostos fenólicos totais); Cinética de crescimentos dos probióticos; Análises físico-químicas (densidade, atividade antioxidante (DPPH), compostos fenólicos totais e viabilidade dos probióticos).</p>	<p>adequadas e apresentaram boa estabilidade ao longo do tempo. A concentração de mel e os graus de florescimento de gelatina não afetaram significativamente a viabilidade dos probióticos. A densidade dos marshmallows diminuiu à medida que a porcentagem de mel aumentou. O pH foi menor em concentrações mais altas de mel. O marshmallow com 75% de mel e 265 graus de floração apresentou maior valor de sólidos solúveis totais. Os tratamentos com mel exibiram níveis mais elevados de atividade antioxidante total e compostos fenólicos totais do que os marshmallows somente com açúcar. Entretanto, os graus de florescimento não tiveram impacto significativo na atividade antioxidante e no teor de compostos fenólicos totais. Embora os probióticos não tenham atingido a viabilidade mínima necessária, seu uso com probióticos pode ser considerado.</p>
--	---	--	--

### 3.2.5 Encapsulamento

O principal destaque a ser mencionado é a aplicação do uso da GL como um material componente da estrutura de encapsulamento de probióticos, observamos a predominância dessa abordagem nos trabalhos descritos na Tabela 2, onde dois artigos fazem essa abordagem, onde a GL pode ser utilizada em conjunto com outros materiais e diferentes cepas probióticas. As informações expostas na Tabela 1 vem corroborando com esse destaque, pois os artigos mais citados estão fazendo esta abordagem. Ao evidenciar o volume de trabalhos produzidos com essa aplicação de GL, observamos o potencial que essa abordagem tem de produzir novos estudos.

Como podemos observar no trabalho de Haro-González *et al.* (2024) e Wang *et al.* (2024), Tabela 2, foram realizados encapsulamentos utilizando a GL com algum outro componente afim de oferecer maior proteção ao probiótico, sendo o complexo de pectina amidada com baixo teor de metoxi e hialuronano, respectivamente. Em ambos os casos o processo de encapsulamento foi bem-sucedido, indicando que a associação de gelatina com outro material de parede potencializa a proteção dos probióticos às condições ambientais e gastrointestinais simuladas.

Zhang *et al.* (2024) desenvolveram pílulas de desintegração oral com a gelatina sendo o material de parede, enquanto seu interior continha óleo de coco e *Lactobacillus plantarum* P9 e mostraram que a adição do óleo de coco não interferiu de maneira negativa na formação das pílulas, além de melhorar a sobrevivência probiótica. A presença do óleo no interior das pílulas possibilitou maior sobrevivência aos probióticos, a gelatina servindo como o material de parede de probióticos imersos em outras substâncias pode ser uma alternativa interessante para o desenvolvimento de novos produtos.

O encapsulamento de probióticos é uma tecnologia bastante consolidada e amplamente utilizada atualmente, no que diz respeito do emprego de GL, permitindo que os microrganismos sobrevivam a condições ambientais desfavoráveis, passagem pelo trato gastrointestinal e reduzam a interação com o alimento.

#### 3.2.5.1 Técnicas de encapsulamento de probióticos utilizando GL

Existem muitas técnicas e materiais para o encapsulamento de agentes bioativos, onde cada material possui sua particularidade de uso para que se tenha maior eficiência no processo, como em estruturas contendo probióticos, onde é de fundamental importância que o

processo não seja danoso aos microrganismos estudados, reduzindo as perdas e lesões nas unidades celulares, além das particulares finais serem adequadas para a finalidade em questão (Rodrigues *et al.*, 2020).

Os materiais utilizados na composição base das microesferas e das paredes das microcápsulas é diverso, além da GL, outros materiais também são bem estudados. Esses materiais podem se dividir através de sua composição, em materiais hidrofílicos como carboidratos (hidrocoloides, açúcares e gomas), celulose e proteínas (vegetais e animais), materiais de fosfolipídios surfactantes e materiais lipofílicos (ácidos graxos, ceras e polímeros) (Vasisht, 2023).

A GL de forma isolada pode ter sua resistência comprometida em ambientes aquosos devido sua alta solubilidade, assim é justificado a sua combinação com alginato e goma arábica, por exemplo, por permitirem a formação de hidrogéis compostos ainda mais estáveis, com boa biocompatibilidade, gerando ligações covalentes que consequentemente facilitam ligações com outros materiais, visto que a GL é considerada um dos melhores materiais para encapsulação conjunto com polissacarídeos aniônicos, podendo interagir fortemente com cargas negativas (Ghanbari *et al.*, 2021; Julaeha *et al.*, 2024; Paula *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2024), além do co-encapsulamento de algum composto bioativo com o probiótico.

A associação de alginato e goma gelana revestido por quitosana (Thinkohkaew *et al.*, 2024), mucilaginosas de tamarindo, mutamba, cássia tora, psyllium e konjac em pó para encapsular em esferas de alginato (Rodrigues *et al.*, 2022), goma gelana, isolado de proteína de soro de leite e acetato ftalato de celulose (Li *et al.*, 2019), co-encapsulados de *Lactobacillus rhamnosus* GG e inulina em esferas de alginato e pectina (Guo *et al.*, 2024). Esses são apenas alguns casos para exemplificar a vasta área a ser explorada.

Conforme Suave *et al.* (2006), a caracterização principal que diferencia os diversos métodos de encapsulamento é a natureza do processo utilizado da ligação entre o material de revestimento e o conteúdo a ser protegido. Essa ligação pode ser estabelecida através de processos físicos, químicos ou físico-químicos, influenciando diretamente as propriedades e o desempenho dessas estruturas.

Outra forma de categorizar os processos é através da morfologia da estrutura formada, que são as microesferas, onde possui a mistura do material a ser protegido com o material de proteção, formando uma estrutura com matriz única, e as microcápsulas, onde a matriz que é formada apenas pelo material a ser protegido é revestida por camada de material de parada de proteção (J. Oxley, 2023).

Diante do exposto, observa-se que há uma grande diversidade de métodos para a produção de encapsulamento de probióticos, consolidando-se como uma área de pesquisa bem estabelecida. Isso permite a exploração e o aprimoramento contínuo das técnicas já existentes. A seguir, serão descritos diversos métodos de encapsulamento que possibilitam o uso de gelatina (GL), destacando suas particularidades e exemplos de aplicação.

#### 3.2.5.1.1 Extrusão

A extrusão se destaca como uma técnica consolidada para a microencapsulação de probióticos (Etchepare *et al.*, 2015), inclusive com a utilização de GL como material no processo, como podemos observar nos trabalhos já mencionados no presente artigo, Li *et al.* (2009), Yao *et al.* (2017) e Yao *et al.* (2018), Tabela 1, e Wang *et al.* (2024), Tabela 2.

Nesse processo, uma suspensão coloidal é atomizada em um banho de gelificação, geralmente uma solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), formando uma rede tridimensional que encapsula as células probióticas (Gouin, 2004; Herrero *et al.*, 2006; Krasaekoopt *et al.*, 2013). Fatores como a viscosidade da mistura e as dimensões do sistema de extrusão influenciam diretamente o tamanho das microcápsulas, que podem variar de 0,5 a 3 mm (Heidebach *et al.*, 2009).

A extrusão apresenta diversas vantagens, como condições suaves, sem a necessidade de alta temperatura ou alta força, a estrutura dos encapsulados apresenta monodispersão, é um processo contínuo, baixo custo e simplicidade operacional, além de produzir microcápsulas maiores e com estrutura porosa em comparação com a emulsificação, o que favorece a proteção dos microrganismos encapsulados, no entanto, esse tamanho maior das microcápsulas pode ser uma desvantagem pois pode prejudicar a aceitação no consumo, sendo que esse tamanho se limita ao diâmetro do bico e da vazão. Outra questão é a necessidade de outro processo de secagem, além das partículas serem formadas somente pelo material matriz, deixando os probióticos dispersos em sua estrutura, dessa forma algumas células encontram-se mais protegidas no interior das microesferas enquanto outras se localizam próximo da superfície e da taxa de produção relativamente lenta limitando sua aplicação em escala industrial (Favaro-Trindade *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2018; Burgain *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2023).

#### 3.2.5.1.2 Coextrusão

A coextrusão é uma técnica de encapsulamento físico amplamente utilizada para a produção de microcápsulas. Esse processo consiste na pulverização simultânea de dois líquidos através de um sistema de bico coaxial, onde um líquido interno (núcleo) é envolvido por um líquido externo (casca) (Tu *et al.*, 2002). A configuração do sistema de bico coaxial, que pode incluir componentes como a unidade de vibração (Homar *et al.*, 2007), influencia diretamente as características das microcápsulas produzidas. A solidificação da casca, que pode ocorrer por diferentes mecanismos (gelificação, congelamento ou reações químicas), resulta na formação de microcápsulas com diversas aplicações.

Essa é uma técnica que permite a produção de microcápsulas com uma ampla gama de tamanhos (150  $\mu\text{m}$  a 8 mm) e alta capacidade de carga (acima de 90%). Essa técnica é capaz de encapsular uma variedade de materiais, desde líquidos aquosos até gases. A coextrusão apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de escalonar a produção através do uso de múltiplos bicos, o que permite altas taxas de produção (até 15 kg/h/bico). A flexibilidade e a eficiência da coextrusão a tornam uma técnica atrativa para diversas aplicações, como a encapsulação de fármacos, alimentos, cosméticos e produtos químicos (Oxley, 2012).

Chan & Pui (2020) realizaram o encapsulamento de *Lactobacillus acidophilus* 5 utilizando a técnica de coextrusão juntamente com isomalto-oligossacarídeo, um prebiótico, em que o alginato foi o material contido no interior das microesferas e a quitosana foi o material da superfície, testando concentrações diferentes de isomalto-oligossacarídeo e alginato, encontrando 3,0% (p/v) e 1,5% (p/v) como os valores ótimos, respectivamente, sendo bastante eficaz para preservação dos probióticos em condições gástricas, porém não é eficaz na digestão intestinal. Este achado mostra a aplicação recente desta técnica, onde podemos vislumbrar o potencial em pesquisas futuras, como por exemplo na utilização de GL.

As vantagens da utilização da coextrusão são as mesmas que a extrusão, além das partículas do tipo reservatório, ou seja, o conteúdo de probiótico fica confinado no interior da microesfera, revestido pela segunda camada, causando maior proteção das células e o potencial de reprodutibilidade da técnica, possibilitando aumento de escala. Em relação as desvantagens podemos pontuar como principal o tamanho dos encapsulados, por conta dos fatores limitantes do bico, da vazão e da frequência de vibração, podem não ser pequenos suficientes para evitar uma sensação granular ou arenosa na boca, mesmo podendo atingir tamanhos menores que a extrusão, além de requerer mais técnicas para secagem (Oxley, 2012; Chew & Nyam, 2016; Silva *et al.*, 2018).

#### 3.2.5.1.3 Flow-focusing

O flow-focusing, uma técnica que envolve a colisão de dois ou mais fluidos em um ponto de encontro estreito e através de instabilidade capilar induzida mecanicamente, por campos electrostáticos, tem se mostrado uma ferramenta poderosa para a produção de microcápsulas com tamanho e estrutura altamente controlados, alta precisão e reprodutibilidade (Loscertales *et al.*, 2002; Edd *et al.*, 2008; Gañán-Calvo *et al.*, 2015).

Ao submeter um microjato laminar a uma instabilidade capilar, é possível gerar microgotículas quase monodispersas que encapsulam uma ampla variedade de ingredientes ativos, como proteínas e microrganismos probióticos, em invólucros biocompatíveis. A versatilidade do flow-focusing permite um controle preciso sobre o tamanho e a forma das microcápsulas, tornando-o ideal para aplicações que exigem alta uniformidade do produto final. Essa técnica, que opera em números de Reynolds moderados a altos, tem sido amplamente explorada devido à sua simplicidade e eficiência (Gañán-Calvo *et al.*, 2015).

O tamanho das gotículas geradas em dispositivos microfluídicos de flow-focusing é um parâmetro crucial para a eficiência do encapsulamento de células. Ao aumentar o raio do orifício, é possível obter gotículas maiores, o que favorece a encapsulação de múltiplas células. No entanto, a relação entre o tamanho do orifício e o tamanho das gotículas não é simples, sendo influenciada por diversos fatores, como as propriedades dos fluidos e o regime de formação de gotículas (Nooranidoost *et al.*, 2019). Cubaud e Mason (2008) identificaram cinco regimes distintos de formação de gotículas, cada um com características específicas que afetam a distribuição de tamanho das gotículas e a eficiência do encapsulamento: jato, gotejamento, tubulação, rosqueamento e deslocamento viscoso. A escolha do regime de formação de gotículas mais adequado depende das características do sistema e das aplicações desejadas.

Ao variar as condições operacionais, como as taxas de fluxo e a viscosidade da fase dispersa, é possível obter micropartículas com um amplo intervalo de tamanhos, como demonstrado por Park *et al.* (2016). Moreira *et al.* (2022) complementaram esses estudos, investigando em detalhes os diferentes regimes de fluxo e a influência desses regimes no tamanho das microgotículas e das micropartículas finais. Os resultados obtidos por ambos os grupos de pesquisa indicam que o flow-focusing permite a produção de micropartículas de gelatina com alta monodispersidade.

Diante do exposto, conclui-se que a técnica de flow-focusing pode ser aplicada em diversas áreas, incluindo a encapsulação de probióticos. Essa abordagem permite o uso de GL em combinação com outros materiais, além de variar os métodos de fluxo para a formação de partículas, o que abre caminho para investigações mais aprofundadas em pesquisas futuras.



Essa versatilidade torna a técnica uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de novas soluções na área de encapsulação e proteção de microrganismos probióticos.

#### 3.2.5.1.4 Liofilização

A liofilização é uma técnica amplamente utilizada para a produção de cápsulas contendo probióticos. Nesse processo, uma solução aquosa contendo células probióticas e um polímero formador de matriz é inicialmente congelada. Em seguida, a água presente nos cristais de gelo é removida por sublimação sob vácuo, resultando em um produto seco e poroso. A sublimação ocorre quando a água passa diretamente do estado sólido para o gasoso, sem passar pela fase líquida (Somera *et al.*, 2024).

A liofilização é um processo crucial para a estabilidade de muitos produtos, incluindo probióticos encapsulados em hidrogéis. No entanto, a literatura científica reporta uma redução drástica na viabilidade de microrganismos após a liofilização (Yuan *et al.*, 2022). Etchepare *et al.* (2016), por exemplo, observaram uma redução de aproximadamente 3 log UFC/g na sobrevivência de *Lactobacillus acidophilus* encapsulado em alginato de cálcio após a liofilização.

A significativa perda de viabilidade durante a liofilização ressalta a importância de otimizar os protocolos desse processo e implementar estratégias eficazes para proteger os microrganismos. A adição de crioprotetores, substâncias capazes de minimizar os danos causados pela formação de cristais de gelo, como açúcares, polímeros e proteínas, é uma abordagem comum para aumentar a viabilidade de probióticos após a liofilização (Cui *et al.*, 2018; Shu *et al.*, 2018; Romyasamit *et al.*, 2022; Mafaldo *et al.*, 2022).

#### 3.2.5.1.5 Spray drying

A encapsulação por spray drying é uma técnica amplamente utilizada na indústria alimentícia para proteger e estabilizar compostos bioativos, como probióticos e enzimas. Esse processo consiste na atomização de uma mistura homogênea contendo o material a ser encapsulado e um material formador de matriz, seguida da evaporação rápida do solvente, resultando na formação de microcápsulas (Edris & Bergnståhl, 2001; Kaushik & Dureja, 2015). O spray drying se destaca por sua versatilidade, alta eficiência e capacidade de produzir grandes volumes de produto em pouco tempo (Santos *et al.*, 2019; Martín *et al.*, 2015).

No entanto, a exposição ao calor durante o processo de secagem pode comprometer a viabilidade e a atividade de compostos sensíveis ao calor, como probióticos e enzimas. Nesse sentido, o desenvolvimento de estratégias para minimizar o impacto térmico e garantir a proteção desses componentes é crucial para o sucesso da encapsulação por spray drying (Ngamekaue *et al.*, 2024; Carvalho *et al.*, 2024). A combinação de materiais carreadores, como maltodextrinas e gomas, com o ajuste dos parâmetros de processamento, permite a obtenção de microcápsulas que protegem os probióticos, garantindo sua estabilidade e viabilidade durante o armazenamento e a aplicação em alimentos.

No presente trabalho foi mencionado um artigo desenvolvido por Arslan *et al.*, 2015, Tabela 1, utilizou o método de encapsulamento por spray drying, outro trabalho que utilizou esta técnica recentemente foi o de Li *et al.* (2023), onde desenvolveram o encapsulamento de *Limosilactobacillus fermentum* NCU001464 utilizando produtos da reação de Maillard de gelatina e xilooligossacarídeos, comparando tempos variados de aquecido e obtiveram como resultado boa eficiência em proteção do probiótico a condições gastrointestinais simuladas, porém as amostras expostas aos tempos mais longos apresentaram rachaduras em sua estrutura, concluindo com 60 min o tempo que produz a maior viabilidade bacteriana e capacidade de adesão às células epiteliais intestinais após a digestão gastrointestinal, além de apresentar contagem de 9,00 Log UFC/g e 6,80 Log UFC/g após 10 semanas de armazenamento a 4 °C e 25 °C, respectivamente.

#### 3.2.5.1.6 Coacervação complexa

A coacervação complexa é um processo de encapsulação que envolve três etapas principais. Primeiramente, ocorre a separação do sistema em duas fases imiscíveis: uma fase rica em solvente e outra rica em biopolímeros. A substância a ser encapsulada é então incorporada à fase rica em polímeros. Por fim, a formação das microcápsulas se dá pela solidificação da interface entre as duas fases, através de reações de reticulação (Eghbal *et al.*, 2016; Agriopoulou *et al.*, 2023).

A seleção de materiais de parede para encapsulação de ingredientes funcionais via coacervação complexa na indústria alimentícia enfrenta desafios significativos. A estreita faixa de pH em que a coacervação ocorre, juntamente com a sensibilidade a íons, limita a aplicação de muitos sistemas. Além disso, a variabilidade de proteínas e polissacarídeos de origem biológica dificulta o controle de qualidade em escala industrial. A busca por alternativas à GL, como proteínas vegetais, ainda enfrenta obstáculos relacionados à solubilidade e à formação do

produto, abrindo margem para investigações sobre o aperfeiçoamento da utilização da GL neste processo, assim como a necessidade de reticuladores naturais e seguros também exige mais pesquisas (Ren *et al.*, 2023).

A coacervação complexa, embora apresente maior complexidade e custos em comparação com a spray-dryin, por exemplo, oferece vantagens significativas para o encapsulamento de ingredientes bioativos. Essa técnica permite alta carga de material ativo, reduzindo perdas durante o processo e proporcionando uma proteção mais eficaz ao produto final. As microcápsulas obtidas por coacervação complexa demonstram maior resistência mecânica, o que as torna ideais para a encapsulação de ingredientes sensíveis e de alto valor (Aziz *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2019; Kaushik *et al.*, 2015; Liu, 2012; Rojas-Moreno *et al.*, 2018).

#### 3.2.5.1.7 Emulsão

O método de emulsificação se baseia na formação de pequenas gotículas de uma fase (aquosa ou oleosa) dispersas em outra fase imiscível. Para encapsular probióticos, a fase aquosa, contendo os microrganismos, é dispersa em uma fase oleosa ou vice-versa. A configuração da emulsão (óleo em água ou água em óleo) pode ser ajustada para atender às necessidades específicas do produto final, permitindo a criação de sistemas mais complexos, como emulsões duplas (Xie *et al.*, 2023).

A encapsulação de probióticos em emulsões depende da estabilização da interface entre as fases oleosa e aquosa. Tensoativos desempenham um papel fundamental nesse processo, reduzindo a tensão interfacial e formando uma barreira que impede a coalescência das gotículas (Davarpanah & Vahabzadeh, 2012). Embora tensoativos convencionais sejam amplamente utilizados, novas abordagens como nanogéis e géis de emulsão estruturados têm sido combinadas com tensoativos para otimizar a encapsulação e a liberação dos probióticos (Haji *et al.*, 2022).

No presente trabalho foi apresentado o artigo de Annan *et al.* (2007) (Tabela 1) em que realizaram o encapsulamento de probiótico por emulsão, onde a mistura da solução de GL com o probiótico formavam a fase hidrofílica enquanto a outra fase era composta por óleo. Paula *et al.* (2019) realizaram o encapsulamento de *Lactobacillus plantarum* através de dupla emulsificação (W/O/W) seguida de coacervação complexa utilizando como material da fase aquosa interna GL juntamente com os probióticos, a fase intermediária composta por óleo de milho e a fase aquosa externa é formada pela mesma solução interna de GL, a solução com

essas estruturas foram adicionadas em solução de goma arábica, por fim utilizaram o processo de liofilização para retirar o excesso de fase aquosa. Diante do exposto podemos observar a aplicabilidade da GL como componente aquoso das emulsões.

#### 3.2.5.1.8 Emulsão Pickering

As emulsões Pickering, ao contrário das emulsões convencionais estabilizadas por surfactantes, utilizam partículas sólidas para estabilizar a interface entre fases líquidas. Essa abordagem confere maior estabilidade, eficiência de encapsulamento e custo-efetividade aos sistemas (Haji *et al.*, 2022). A ausência de surfactantes de baixo peso molecular e a adsorção irreversível das partículas sólidas tornam as emulsões Pickering uma alternativa mais segura e ecologicamente correta para aplicações alimentícias (Baek *et al.*, 2019; Anjali & Basavaraj, 2018).

Assim como as emulsões normais, as emulsões Pickering podem ser utilizadas através de única emulsificação (W/O) ou duplo (W/O/W), como o realizado por Eslami *et al.* (2017) que desenvolveram encapsulamento de *Lactobacillus delbrueckii* onde a fase hidrofílica externa era composta de  $\beta$ -ciclodextrina.

#### 3.2.5.1.9 Revestimento de célula probiótica única camada por camada

Para otimizar a combinação de materiais funcionais e probióticos, são utilizadas diversas técnicas biológicas e químicas. Essas técnicas levam em conta as características específicas de cada cepa probiótica, como sua carga superficial, capacidade de adesão e composição antigênica, garantindo assim uma sinergia perfeita entre os componentes (Wu & Liu, 2022).

O novo revestimento, comparado aos métodos tradicionais, oferece proteção superior aos probióticos, aumentando sua resistência e permitindo que desempenhem funções específicas. Além de proteger contra ambientes hostis, essa armadura pode reduzir a toxicidade e a resposta imune, tornando o tratamento mais seguro. A técnica também permite adicionar novas funcionalidades aos probióticos, como direcionamento a locais específicos do corpo, melhorando a eficácia da terapia (Zhao *et al.*, 2024).

Fang e Liu (2024) realizaram o revestimento de célula única, camada por camada, de *Escherichia coli* Nissle 1917 como modelo probiótico, recobrando-a com uma camada de GL modificada por alil, essa camada foi fixada à bactéria por meio de uma rede de polifenol-

$\text{Ca}^{2+}$  e, em seguida, fortalecida por uma reação química tiol-eno fotoiniciada. O revestimento na bactéria a tornou mais resistente às condições adversas do estômago, permitindo que colonize melhor o intestino e alivie significativamente os sintomas da colite em camundongos. Essa abordagem simplificada e eficaz demonstra um grande potencial para diversas aplicações na área da saúde.

#### 3.2.5.1.10 Lipossoma

Os lipossomas, vesículas esféricas compostas por uma bicamada de fosfolípidos, têm sido amplamente utilizados na indústria farmacêutica como sistemas de entrega de fármacos. Recentemente, essas estruturas vêm ganhando destaque no setor alimentício, onde são empregadas para encapsular, estabilizar e administrar moléculas ativas, como probióticos (de Deus *et al.*, 2024).

A estrutura única dos lipossomas, com sua bicamada lipídica composta por fosfolípidos anfipáticos, confere a essas vesículas uma notável versatilidade como transportadora. A porção hidrofílica da bicamada permite a encapsulação de moléculas solúveis em água, enquanto a porção lipídica acomoda substâncias oleosas. Essa capacidade de encapsular uma ampla variedade de compostos torna os lipossomas ferramentas promissoras para a entrega de nutrientes e bioativos na indústria alimentícia. No entanto, a aplicação dos lipossomas em formulações alimentícias e nutracêuticas enfrenta um desafio significativo: a instabilidade dos fosfolípidos em temperatura ambiente. Processos como hidrólise, oxidação, agregação e fusão podem comprometer a integridade dos lipossomas ao longo do tempo, limitando sua utilização em produtos alimentícios (Mirafzali *et al.*, 2023).

Han, Yang, *et al.* (2024) realizaram o revestimento de célula única de *Escherichia coli* Nissle 1917 através de lipossoma contendo curcumina em seu interior lipofílico e uma camada externa de quitosana e GL, obtendo como resultado o aumento da sobrevivência dos probióticos às condições gastrointestinais simuladas, apresentando maior adesão ao muco do cólon, além do fato do revestimento atuar como proteção eliminando os radicais reativos de oxigênio. No trabalho de Han, Shen, *et al.* (2024) realizaram o mesmo procedimento de revestimento de única célula de *Escherichia coli* Nissle 1917 e testaram o seu efeito ao administrar de forma oral em camundongos com colite induzida por DSS (Dextran sulfate sodium salt), apresentando como resultados o notável alívio dos efeitos da colite por reparar de forma efetiva a barreira intestinal, modulação da homeostase da microbiota intestinal e redução do trânsito de bactérias nas regiões inflamadas. Diante do exposto podemos observar a

aplicabilidade do método e a possibilidade de utilização da GL em seu processo e o caráter inovador.

### 3.2.6 Filmes comestíveis

Os filmes comestíveis representam uma alternativa promissora para a incorporação de probióticos em alimentos, conforme demonstrado no estudo de Vojdani e Kazemeini (2024). Nesse trabalho, foram desenvolvidos filmes de gelatina contendo os probióticos *Lactobacillus rhamnosus* e/ou *Lactobacillus acidophilus*, com o objetivo de avaliar seus efeitos quando aplicados em filés de *Cyprinus carpio* (Tabela 2). Os resultados mostraram uma melhora significativa nos parâmetros químicos de preservação dos filés revestidos com os filmes probióticos, em comparação tanto com os filés sem revestimento quanto com aqueles revestidos com filmes sem probióticos. Além de destacar o potencial dos filmes como método eficaz para a proteção e incorporação de probióticos em alimentos, o estudo também evidenciou a ação benéfica da combinação de diferentes probióticos na conservação de alimentos.

A incorporação de probióticos pode ser realizada por meio de revestimentos, conforme demonstrado por Temiz e Ozdemir (2021). Em seu estudo, os pesquisadores desenvolveram uma cobertura de gelatina e inulina contendo *Lactobacillus rhamnosus*, aplicada em morangos por imersão na solução. Os resultados mostraram que a inulina favoreceu a sobrevivência dos probióticos, enquanto as coberturas inibiram o crescimento de leveduras e bolores em comparação ao controle após 15 dias de armazenamento. Além disso, em relação às características físico-químicas dos morangos, a combinação de *L. rhamnosus* e inulina nas coberturas de gelatina apresentou melhores resultados, reduzindo a perda de peso, a decomposição e preservando os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante durante o armazenamento refrigerado.

Os filmes e revestimentos destacam-se como uma abordagem promissora para a incorporação de probióticos em alimentos, com a gelatina sendo um material especialmente vantajoso em sua composição, pois contribui para a preservação dos probióticos e a manutenção das características do alimento, retardando processos de degradação. O desenvolvimento de filmes e revestimentos que combinam a gelatina com outros materiais é um campo de estudo relevante, já que essa é a forma mais aplicada atualmente. Além de conservar o alimento e garantir a sobrevivência dos probióticos, essa técnica permite sua incorporação na superfície de alimentos sólidos, reduzindo riscos de danos físicos e ampliando as possibilidades de aplicação.

### 3.2.7 Adição direta no alimento

A incorporação direta de probióticos aos alimentos enfrenta obstáculos significativos, como a exposição a condições ambientais adversas, como pH baixo e altas temperaturas, que podem comprometer a viabilidade desses microrganismos. Apesar dessas limitações, a pesquisa nessa área é promissora, pois a otimização de etapas de proteção dos probióticos poderia tornar o processo mais simples e econômico.

No caso do trabalho de Colmenares-Cuevas *et al.* (2024) (Tabela 2) que desenvolveram marshmallows enriquecidos com mel de *Apis mellifera* e *Lactobacillus rhamnosus*, utilizando alginato de sódio, gelatina e mucilagem de nopal em sua composição. Apresentaram resultados promissores em relação a caracterização e estabilidade do alimento, além de conseguir preservar os probióticos, porém não na quantidade desejada para considerar um alimento rico em probióticos. Apesar disso, esses marshmallows são exemplos da possibilidade do uso da gelatina para o desenvolvimento de produtos sólidos que possuem probióticos.

Outro exemplo de produto alimentício foi o realizado por Miranda *et al.* (2020), que desenvolveram balas de gelatina enriquecidas com polpas de juçara e maracujá e *Bacillus coagulans* GBI-30 6086. As balas apresentaram sobrevivência dos probióticos às condições gastrointestinais e estabilidade durante 90 dias, com quantidades superiores de 6 log UFC/g, sem apresentar mudanças significativas nas características físico-químicas e capacidade antioxidante e boas aceitação sensorial.

Nesses produtos de confeitaria, a gelatina desempenha um papel fundamental como estabilizante e agente de batimento (Boran & Regenstein, 2010). Os marshmallows e balas são exemplos de produtos alimentícios que utilizam gelatina e foram realizados testes com adição de probióticos, porém é possível fazer outros doces e sobremesas com gelatina, abrindo margem para pesquisas sobre o desenvolvimento desses produtos contendo probióticos. Temperatura elevada é um problema importante para a sobrevivência das células probióticas no desenvolvimento desses produtos, pois a sua adição foi feita na formulação com temperaturas por volta de 70 °C. Investigações devem se atentar em aplicar alternativas de processamento buscando minimizar as perdas dos probióticos.

Uma alternativa para a incorporação de probióticos é a utilização de ultrassom em alimentos sólidos, como demonstrado no estudo de Gonçalves *et al.* (2023). Nesse trabalho, rodela de goiaba foram submetidas a um pré-tratamento com ultrassom, sendo imersas em uma solução contendo *Lactobacillus rhamnosus* GG. Após a secagem, observou-se que todos

os tratamentos com ultrassom reduziram o tempo necessário para a secagem e aumentaram a viabilidade dos probióticos. Essa técnica pode ser investigada para aplicação em produtos alimentícios à base de gelatina, mesmo após o produto estar pronto. No entanto, é essencial avaliar a composição do alimento e seu comportamento sob exposição ao ultrassom para garantir a eficácia do método.

### 3.2.8 Impressão 3D

Ok et al. (2024) investigaram uma solução para a produção de alimentos por impressão 3D, buscando identificar a melhor composição de um material à base de amido, gelatina e alginato, além de avaliar seu potencial para a produção de alimentos probióticos com a adição de kefir. O estudo demonstrou que a formulação selecionada apresentou alta concentração de probióticos no produto final, boa qualidade de impressão e aceitação satisfatória na análise sensorial. Além disso, o trabalho sugere que o desenvolvimento de materiais contendo gelatina e a aplicação de técnicas de impressão 3D para alimentos probióticos são viáveis e promissores, pois aumentam a sobrevivência dos probióticos, abrindo novas perspectivas para a inovação na indústria alimentícia.

A impressão 3D demonstra grande potencial para a produção de alimentos inovadores, com texturas e formatos personalizados, incluindo produtos probióticos que atendam a necessidades clínicas específicas dos consumidores. Um exemplo é o estudo de Zhang et al. (2024), que desenvolveram alimentos por impressão 3D contendo *Lactiplantibacillus plantarum*, com textura adequada para indivíduos com disfagia. Para isso, nanofibrilas de isolado de proteína de soro de leite foram revestidas na superfície bacteriana e incorporadas a uma solução de goma gelana de alto acil, isolado de proteína de soro de leite e frutooligosacarídeos. O resultado foi um produto com contagem de probióticos superior a 8 log UFC/g, adequado para o consumo de pessoas com disfagia, destacando a viabilidade da impressão 3D na criação de alimentos funcionais e acessíveis.

A versatilidade da impressão 3D no desenvolvimento de alimentos permite sua combinação com outras técnicas, abrindo novas abordagens na produção alimentícia. Um exemplo é o estudo de Kuo et al. (2022), que associaram o encapsulamento de *Bifidobacterium lactis* e *Lactobacillus acidophilus* em alginato e gelatina à impressão 3D, seguida de liofilização. A viabilidade celular dos probióticos apresentou comportamentos distintos: *B. lactis* manteve níveis superiores a 10<sup>9</sup> UFC/g após a impressão e permaneceu acima de 6 log UFC/g após 8 semanas de armazenamento em temperatura ambiente. Já *L. acidophilus*



demonstrou menor viabilidade, com  $10^6$  UFC/g após a impressão e uma redução de até 2,5 log ao final do estudo. Essa abordagem destaca o potencial da combinação de técnicas para a produção de alimentos probióticos inovadores, embora a viabilidade celular possa variar conforme a cepa utilizada.

#### **4.4 Considerações finais**

Com essa revisão cienciométrica foi possível verificar que existe uma tendência de alta na publicação de artigos no tema estudado, sendo o ano de 2023 o de maior volume de publicações (18 publicações). Monteiro S. S. é uma pesquisadora brasileira e possui os melhores índices de produtividade científica no decorrer dos estudados. As revistas Food Hydrocolloids, Food Research International e Food Chemistry são as que possuem mais artigos publicados sobre o tema estudado, 8, 7 e 6 artigos, respectivamente. O Brasil e a China são os dois países que mais publicam e os dois países mais citados sobre os estudos com probióticos e gelatina.

Dentre os trabalhos mais citados, a maior parte trata sobre a encapsulação do probiótico por diferentes técnicas e outra parte aponta para a colonização da microbiota de hospedeiros e sua aplicação no desenvolvimento de filmes e revestimentos.

Foi percebido que a utilização da gelatina isolada não atinge seu potencial máximo, o que foi corroborado com estudos recentes, pontuando que as combinações com outros materiais como, polissacarídeos e compostos bioativos, aumentam a sua performance e consequente viabilidade de microrganismos.

Isto posto, a gelatina possibilita uma diversidade de formas de aplicação quando relacionada aos probióticos, abrindo margem para pesquisas futuras, explorando suas aplicações como agentes de encapsulamento, filme, revestimento e tecnologias por impressão 3D podendo estar associada a diferentes materiais e diversas cepas probióticas.

## REFERÊNCIAS

ABDI-MOGHADAM, Zohreh *et al.* Functional yogurt, enriched and probiotic: A focus on human health. **Clinical nutrition ESPEN**, [s. l.], v. 57, p. 575–586, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.08.005>.

ABEDINIA, Ahmadreza *et al.* Characterization and cell viability of probiotic/prebiotics film based on duck feet gelatin: A novel poultry gelatin as a suitable matrix for probiotics. **Foods (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 1761, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods10081761>.

AGRIOPOULOU, Sofia *et al.* Application of encapsulation strategies for probiotics: From individual loading to co-encapsulation. **Microorganisms**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11122896>.

ALMEIDA, Francisco Lucas Chaves *et al.* Trends in lipase immobilization: Bibliometric review and patent analysis. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, [s. l.], v. 110, p. 37–51, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2021.07.005>.

AMPESE, Larissa Castro *et al.* Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. **Biomass conversion and biorefinery**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 3329–3347, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-021-01376-2>.

AMPESE, Larissa Castro *et al.* Research progress, trends, and updates on anaerobic digestion technology: A bibliometric analysis. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 331, n. 130004, p. 130004, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130004>.

ANDREO-MARTÍNEZ, Pedro *et al.* A descriptive bibliometric study on bioavailability of pesticides in vegetables, food or wine research (1976-2018). **Environmental toxicology and pharmacology**, [s. l.], v. 77, n. 103374, p. 103374, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2020.103374>.

ANJALI, Thriveni G.; BASAVARAJ, Madivala G. Influence of pH and salt concentration on Pickering emulsions stabilized by colloidal peanuts. **Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids**, [s. l.], v. 34, n. 44, p. 13312–13321, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b02913>.

ANNAN, N. T.; BORZA, A. D.; HANSEN, L. Truelstrup. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. **Food research international**

(Ottawa, Ont.), [s. l.], v. 41, n. 2, p. 184–193, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.001>.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. (2018). Resolução da diretoria colegiada – **RDC N° 241**, de 26 de julho de 2018. Disponível em [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379910/doi-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-241-de-26-de-julho-de-2018-34379900](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379910/doi-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-241-de-26-de-julho-de-2018-34379900).

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

ARSLAN, Sultan *et al.* Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 685–690, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.034>.

ASGARI, Shadi *et al.* Polymeric carriers for enhanced delivery of probiotics. **Advanced drug delivery reviews**, [s. l.], v. 161–162, p. 1–21, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2020.07.014>.

AZIZ, Sarya *et al.* Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 774–784, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3109/02652048.2014.932028>.

BAEK, Jiyoo *et al.* Phosphorylated-CNC/modified-chitosan nanocomplexes for the stabilization of Pickering emulsions. **Carbohydrate polymers**, [s. l.], v. 206, p. 520–527, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.006>.

BENTO DE CARVALHO, Teresa *et al.* Spray drying encapsulation of probiotics and enzymes. In: **SPRAY DRYING FOR THE FOOD INDUSTRY**. [s. l.]: Elsevier, p. 407–472, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819799-8.00003-X>.

BORAN, Gokhan; REGENSTEIN, Joe M. Fish gelatin. **Advances in food and nutrition research**, [s. l.], v. 60, p. 119–143, 2010. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526\(10\)60005-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526(10)60005-8).

BROOKES, B. C. “Sources of information on specific subjects” by S.C. Bradford. **Journal of information science**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 173–175, 1985. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/016555158501000406>.

BURGAIN, J. *et al.* Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 104, n. 4, p. 467–483, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>.

CHAMPAGNE, Claude P.; GOMES DA CRUZ, Adriano; DAGA, Monica. Strategies to improve the functionality of probiotics in supplements and foods. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 22, p. 160–166, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.008>.

CHAN, L. Y.; PUI, L. P. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* 5 with isomaltoligosaccharides. **Carpathian Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 26–36, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34302/crpjfst/2020.12.2.3>.

CHEN, Ying *et al.* Co-encapsulation of probiotics with acylglycerols in gelatin-gum arabic complex coacervates: Stability evaluation under adverse conditions. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. Pt 3, p. 124913, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124913>.

CHEN, Xiaoying *et al.* Probiotic breakthrough: *Clostridium butyricum* improved the intestinal SCFAs content, digestive enzymes and antioxidant activities, gut morphology and microbiota composition of largemouth bass. **Aquaculture reports**, [s. l.], v. 36, n. 102090, p. 102090, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102090>.

CHEW, Sook-Chin; NYAM, Kar-Lin. Microencapsulation of kenaf seed oil by co-extrusion technology. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 175, p. 43–50, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.002>.

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: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 103452, p. 103452, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103452>.

COLMENARES-CUEVAS, Saira Itzel *et al.* Development and study of the functional properties of marshmallow enriched with bee (*Apis mellifera*) honey and encapsulated probiotics (*Lactobacillus rhamnosus*). **Frontiers in nutrition**, [s. l.], v. 11, p. 1353530, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2024.1353530>.

CUBAUD, Thomas; MASON, Thomas G. Capillary threads and viscous droplets in square microchannels. **Physics of fluids (Woodbury, N.Y.: 1994)**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 053302, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2911716>.

CUI, Shumao *et al.* Effect of acids produced from carbohydrate metabolism in cryoprotectants on the viability of freeze-dried *Lactobacillus* and prediction of optimal initial cell concentration. **Journal of bioscience and bioengineering**, [s. l.], v. 125, n. 5, p. 513–518, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.12.009>.

DE DEUS, Cassandra *et al.* Co-encapsulation of *Lactobacillus plantarum* and bioactive compounds extracted from red beet stem (*Beta vulgaris* L.) by spray dryer. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 167, n. 112607, p. 112607, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112607>.

DE DEUS, Cassandra *et al.* Stability of probiotics through encapsulation: Comparative analysis of current methods and solutions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 197, n. 115183, p. 115183, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115183>.

DE SOUZA, Weysser Felipe Cândido *et al.* Isomaltulose: From origin to application and its beneficial properties - A bibliometric approach. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 155, n. 111061, p. 111061, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111061>.

DORON, Shira; SNYDMAN, David R. Risk and safety of probiotics. **Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America**, [s. l.], v. 60 Suppl 2, n. suppl\_2, p. S129-34, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/cid/civ085>.

EDD, Jon F. *et al.* Controlled encapsulation of single-cells into monodisperse picolitre drops. **Lab on a chip**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 1262–1264, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/b805456h>.

EDRIS, A.; BERGNSTÅHL, B. Encapsulation of orange oil in a spray dried double emulsion. **Die Nahrung**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 133–137, 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1002/1521-3803\(20010401\)45:2<133::AID-FOOD133>3.0.CO;2-C](http://dx.doi.org/10.1002/1521-3803(20010401)45:2<133::AID-FOOD133>3.0.CO;2-C).

EGHBAL, Noushin *et al.* Complex coacervation for the development of composite edible films based on LM pectin and sodium caseinate. **Carbohydrate polymers**, [s. l.], v. 151, p. 947–956, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.052>.

ESLAMI, Parisa; DAVARPANAH, Leila; VAHABZADEH, Farzaneh. Encapsulating role of  $\beta$ -cyclodextrin in formation of pickering water-in-oil-in-water (W 1 /O/W 2) double emulsions containing *Lactobacillus dellbrueckii*. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 64, p. 133–148, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.035>.

ETCHEPARE, Mariana de Araújo *et al.* Effect of resistant starch (Hi-maize) on the survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. **Journal of functional foods**, [s. l.], v. 21, p. 321–329, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.025>.

ETCHEPARE, Mariana Araújo *et al.* Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão. *Ciência e Natura*, [s. l.], v. 37, p. 97, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x19725>.

FANG, Taisong; LIU, Songbai. Metal-phenolic network directed coating of single probiotic cell followed by photoinitiated thiol-Ene click fortification to enhance oral therapy. **Small**, [s. l.], v. 20, n. 19, p. e2308146, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/smll.202308146>.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; HEINEMANN, R. J. B.; PEDROSO, D. L. Developments in probiotic encapsulation. **CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources**, [s. l.], v. 2011, n. 004, p. 1–8, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1079/pavsnr.20116004>.

FREDUA-AGYEMAN, Mansa. Surviving process and transit: Controlled freeze drying, storage and enteric coated capsules for targeted delivery of probiotic *Lactobacillus acidophilus*. **Heliyon**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. e28407, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28407>.

GAÑÁN-CALVO, Alfonso M. *et al.* Massive, generic, and controlled microencapsulation by flow focusing: Some physicochemical aspects and new applications. **Journal of flow chemistry**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 48–54, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1556/jfc-d-14-00022>.

GHANBARI, Mojgan *et al.* In vitro study of alginate-gelatin scaffolds incorporated with silica NPs as injectable, biodegradable hydrogels. **RSC advances**, [s. l.], v. 11, n. 27, p. 16688–16697, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/d1ra02744a>.

GONÇALVES, Daniele Juliana Rodrigues *et al.* Ultrasonic pre-treatment to enhance drying of potentially probiotic guava (*Psidium guajava*): Impact on drying kinetics, *Lactobacillus rhamnosus* GG viability, and functional quality. **Food research international (Ottawa, Ont.)**,

[s. l.], v. 173, n. Pt 2, p. 113374, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113374>.

GOUIN, Sébastien. Microencapsulation. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 15, n. 7–8, p. 330–347, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>.

GUO, Yunsu *et al.* Thermo-kinetic studies of in vitro digestion and colonic fermentation of inulin/Lactobacillus rhamnosus GG co-encapsulated composite beads. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 149, n. 109541, p. 109541, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109541>.

HAJI, Fatemah *et al.* Application of Pickering emulsions in probiotic encapsulation- A review. **Current research in food science**, [s. l.], v. 5, p. 1603–1615, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.013>.

HAN, Mengzhen *et al.* Layer-by-layer coated probiotics with chitosan and liposomes demonstrate improved stability and antioxidant properties in vitro. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 258, n. Pt 1, p. 128826, 2024a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128826>.

HAN, Mengzhen *et al.* Layer-by-layer coated probiotics with chitosan and liposomes exhibit enhanced therapeutic effects for DSS-induced colitis in mice. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 269, n. Pt 1, p. 132063, 2024b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132063>.

HARO-GONZÁLEZ, José Nabor *et al.* Type A gelatin-amidated low methoxyl pectin complex coacervates for probiotics protection: Formation, characterization, and viability. **Food chemistry**, [s. l.], v. 453, n. 139644, p. 139644, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139644>.

HERRERO, E.; VALLE, E.; GALAN, M. Development of a new technology for the production of microcapsules based in atomization processes. **Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)**, [s. l.], v. 117, n. 2, p. 137–142, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2005.12.022>.

HUANG, Xiang *et al.* Fabrication of gelatin-EGCG-pectin ternary complex stabilized W/O/W double emulsions by ultrasonic emulsification: Physicochemical stability, rheological properties and structure. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 338, n. 111259, p. 111259, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111259>.

HUBER, K. C. **Edible films and coatings for food applications**. New York: Springer, 2009.

JULAEHA, Euis *et al.* Optimization of Citrus aurantifolia peel extract encapsulation in alginate-gelatin hydrogel microbeads for antibacterial wound dressing applications. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 7, n. 100406, p. 100406, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100406>.

KAUSHIK, Pratibha *et al.* Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. **Journal of functional foods**, [s. l.], v. 19, p. 868–881, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.029>.

KAUSHIK, Deepak; DUREJA, H. Taste masking of bitter pharmaceuticals by spray drying technique. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://www.jocpr.com/articles/taste-masking-of-bitter-pharmaceuticals-by-spray-drying-technique.pdf>.

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHANDARI, Bhesh; DEETH, Hilton. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International dairy journal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 3–13, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00155-3).

KUO, Chih-Chun *et al.* Development of a shelf-stable, gel-based delivery system for probiotics by encapsulation, 3D printing, and freeze-drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 157, n. 113075, p. 113075, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113075>.

LAI J. T. *et al.* Microencapsulation of Lactobacillus plantarum 299v and its storage in kuini juice. **Malaysian journal of microbiology**, [s. l.], 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21161/mjm.190398>.

LEE, Jin *et al.* Evaluation of probiotic characteristics of newly isolated Lactobacillus spp.: immune modulation and longevity. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 148, n. 2, p. 80–86, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.003>.

LI, Xiao Yan *et al.* Microencapsulation of a probiotic bacteria with alginate-gelatin and its properties. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 315–324, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02652040802328685>.

LI, Kailing *et al.* Microencapsulation of Lactobacillus casei BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and**



**technology**], [s. l.], v. 116, n. 108521, p. 108521, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108521>.

LI, Huiyu *et al.* Preparation of probiotic microcapsules using gelatin-xylooligosaccharides conjugates by spray drying: Physicochemical properties, survival, digestion resistance and colonization. **Food bioscience**, [s. l.], v. 52, n. 102462, p. 102462, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102462>.

LIANG, Ting-Peng; LIU, Yu-Hsi. Research Landscape of Business Intelligence and Big Data analytics: A bibliometrics study. **Expert systems with applications**, [s. l.], v. 111, p. 2–10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.018>.

LIU, Nan-Nan. Study on Microcapsulation of Onion Oil with Complex Coacervation and Spray Drying Method. **Chinese Food Science**, [s. l.], v. 1, n. 4, 2012. Disponível em: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/study-on-microcapsulation-onion-oil-with-complex/docview/1347640149/se-2>.

LORDELLO, Virgínia Barreto *et al.* Orodispersible film loaded with *Enterococcus faecium* CRL183 presents anti-*Candida albicans* biofilm activity in vitro. **Pharmaceutics**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 998, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics13070998>.

LOSCERTALES, I. G. *et al.* Micro/nano encapsulation via electrified coaxial liquid jets. **Science (New York, N.Y.)**, [s. l.], v. 295, n. 5560, p. 1695–1698, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1067595>.

LOTKA, Alfred J. The frequency distribution of scientific productivity. **Journal. Washington Academy of Sciences, Washington, D. C.**, [s. l.], v. 16, n. 12, p. 317–323, 1926. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/24529203>.

MAFALDO, Ísis Meireles *et al.* Survival during long-term storage, membrane integrity, and ultrastructural aspects of *Lactobacillus acidophilus* 05 and *Lactocaseibacillus casei* 01 freeze-dried with freshwater microalgae biomasses. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 159, n. 111620, p. 111620, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111620>.

MARTÍN, María José *et al.* Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. **Innovative food science & emerging technologies: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 27, p. 15–25, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>.

MELO, Anely Maciel de *et al.* Garcinia brasiliensis fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 112, p. 325–335, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.005>.

MIRAFZALI, Zahra; THOMPSON, Courtney S.; TALLUA, Karim. Application of liposomes in the food industry. *In*: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 195–207.

MIRANDA, Jéssica Soares *et al.* Probiotic jelly candies enriched with native Atlantic Forest fruits and Bacillus coagulans GBI-30 6086. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 126, n. 109275, p. 109275, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109275>.

MOREIRA, A. I.; CAMPOS, J. B. L. M.; MIRANDA, J. M. Characterization of gelatin microparticle production in a flow focusing microfluidic system. **Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects**, [s. l.], v. 647, n. 129079, p. 129079, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129079>.

MUÑOZ-ATIENZA, Estefanía *et al.* Phenotypic and genetic evaluations of biogenic amine production by lactic acid bacteria isolated from fish and fish products. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 146, n. 2, p. 212–216, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.024>.

NATARAJ, Basavaprabhu Haranahalli *et al.* Safety evaluation of indigenous probiotic Limosilactobacillus fermentum NCDC 400 using whole genome sequences and in vitro approaches. **Food bioscience**, [s. l.], v. 56, n. 103101, p. 103101, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103101>.

NEZAMDOOST-SANI, Narmin *et al.* A comprehensive review on the utilization of biopolymer hydrogels to encapsulate and protect probiotics in foods. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 254, n. Pt 2, p. 127907, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127907>.

NGAMEKAUE, Narisara *et al.* Improving probiotic survival through encapsulation in coconut oil in whey protein isolate emulsions during spray drying and gastrointestinal digestion. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 198, n. 116061, p. 116061, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116061>.

NOORANIDOOST, Mohammad *et al.* Cell encapsulation modes in a flow-focusing microchannel: effects of shell fluid viscosity. **Microfluidics and nanofluidics**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-019-2196-z>.

NOORT, Mark. Smart seeds for a sustainable future. **Geospatial World Januar**, [s. l.], p. 78–85, 2014.

OK, Selçuk; YILMAZ, Emin; DEMIREL ZORBA, Nükhet Nilüfer. Preparation and characterization of 3D printed objects based on different Kefir gels. **Food biophysics**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 453–470, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-024-09839-5>.

OLIVEIRA, Tatiane C. G. *et al.* Sustainable valorization of apple waste in a biorefinery: a bibliometric analysis. **Biofuels, bioproducts & biorefining: Biofpr**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 891–919, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2343>.

OXLEY, J. D. Coextrusion for food ingredients and nutraceutical encapsulation: principles and technology. *In*: **ENCAPSULATION TECHNOLOGIES AND DELIVERY SYSTEMS FOR FOOD INGREDIENTS AND NUTRACEUTICALS**. [S. l.]: Elsevier, 2012. p. 131–150.

OXLEY, James. Overview of microencapsulation process technologies. *In*: **MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY**. [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 35-46.

PARK, Ki-Su *et al.* Synthesis and characterization of thermosensitive gelatin hydrogel microspheres in a microfluidic system. **Macromolecular research**, [s. l.], v. 24, n. 6, p. 529–536, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13233-016-4069-6>.

PAULA, Daniele de Almeida *et al.* Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from *Lactobacillus plantarum* by a dual process combining double emulsification followed by complex coacervation. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 133, p. 722–731, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.110>.

PENHA RODRIGUES PEREIRA, Eliene *et al.* What are the main obstacles to turning foods healthier through probiotics incorporation? a review of functionalization of foods by probiotics and bioactive metabolites. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 176, n. 113785, p. 113785, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113785>.

RASTOGI, Sonakshi; MITTAL, Vineeta; SINGH, Aditi. In vitro evaluation of probiotic potential and safety assessment of *Lactobacillus mucosae* strains isolated from donkey's lactation. **Probiotics and antimicrobial proteins**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 1045–1056, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12602-019-09610-0>.

REN, Yufeng *et al.* Development and prospect of food security cooperation in the BRICS countries. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 2125, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su12052125>.

REN, Xiang *et al.* Microencapsulation by complex coacervation processes. *In: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY*. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 169–193.

RODRIGUES, Fábio J. *et al.* Effect of natural polymers on the survival of *Lactobacillus casei* encapsulated in alginate microspheres. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 431–439, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02652048.2017.1343872>.

RODRIGUES, F. J. *et al.* Effective encapsulation of reuterin-producing *Limosilactobacillus reuteri* in alginate beads prepared with different mucilages/gums. **Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands)**, [s. l.], v. 34, n. e00737, p. e00737, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00737>.

ROJAS, Adriana Rodríguez *et al.* ¿What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 85, p. 252–261, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.016>.

ROJAS-MORENO, Sandra *et al.* Effects of complex coacervation-spray drying and conventional spray drying on the quality of microencapsulated orange essential oil. **Journal of Food Measurement & Characterization**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 650–660, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-017-9678-z>.

ROMYASAMIT, Chonticha *et al.* Optimization of cryoprotectants for freeze-dried potential probiotic *Enterococcus faecalis* and evaluation of its storage stability. **Drying technology**, [s. l.], v. 40, n. 11, p. 2283–2292, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2021.1931294>.

ŞANLIBABA, Pınar. Fermented nondairy functional foods based on probiotics. **Rivista italiana di scienza degli alimenti [Italian journal of food science]**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 91–105, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15586/ijfs.v35i1.2279>.

SANTOS, Douglas Xavier dos *et al.* Improved probiotic survival to in vitro gastrointestinal stress in a mousse containing *Lactobacillus acidophilus* La-5 microencapsulated with inulin by spray drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 99, p. 404–410, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.010>.

SANTOS MONTEIRO, Shênia *et al.* Production of Probiotic Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) Drink Using *Lactobacillus reuteri* and Microencapsulation via Spray Drying. **Foods (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 335, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods9030335>.

SAXELIN, M.; PESSI, T.; SALMINEN, S. Fecal recovery following oral administration of *Lactobacillus* strain GG (ATCC 53103) in gelatine capsules to healthy volunteers. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 199–203, 1995. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00091-j](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605(94)00091-j).

SGANZERLA, William G. *et al.* A bibliometric analysis on potential uses of brewer's spent grains in a biorefinery for the circular economy transition of the beer industry. **Biofuels, bioproducts & biorefining: Biofpr**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 1965–1988, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2290>.

SGANZERLA, William Gustavo; DA SILVA, Aline Priscilla Gomes. Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess – Myrtaceae): An overview from the origin to recent developments in the food industry – A bibliometric analysis. **Journal of agriculture and food research**, [s. l.], v. 10, n. 100369, p. 100369, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100369>.

SHU, Guowei *et al.* Characterization of freeze-dried *Lactobacillus acidophilus* in goat milk powder and tablet: Optimization of the composite cryoprotectants and evaluation of storage stability at different temperature. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 90, p. 70–76, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.013>.

SILVA, Marluci P. *et al.* Comparison of extrusion and co-extrusion encapsulation techniques to protect *Lactobacillus acidophilus* LA3 in simulated gastrointestinal fluids. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 89, p. 392–399, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.008>.

SILVA, Ramon *et al.* Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing. **Food bioscience**, [s. l.], v. 46, n. 101517, p. 101517, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101517>.

SOARES, Mariana B. *et al.* Review - Sporeforming probiotic bacteria: Characteristics, health benefits, and technological aspects for their applications in foods and beverages. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 138, p. 453–469, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.029>.

SOMERA, Tânia *et al.* Unconventional foods and by-products as sustainable encapsulating materials carrying probiotic cultures: An overview of the encapsulation methods, and incorporation on food products. **Food bioscience**, [s. l.], v. 61, n. 104892, p. 104892, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104892>.

SOTOUDEGAN, Farzaneh *et al.* Reappraisal of probiotics' safety in human. **Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, [s. l.], v. 129, p. 22–29, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.032>.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Compositional and physicochemical factors governing the viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG embedded in starch-protein based edible films. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 52, p. 876–887, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.025>.

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, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014>.

SUAVE, J. *et al.* Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, [s. l.], n. 2, p. 12–20, 2006.

SUN, Qiqi *et al.* Biomaterials and encapsulation techniques for probiotics: Current status and future prospects in biomedical applications. **Nanomaterials (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 15, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nano13152185>.

TANIMA, Dutta *et al.* The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: A case of the BRICS countries. **E3S web of conferences**, [s. l.], v. 494, p. 04043, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202449404043>.

TEMIZ, Naime Nur; ÖZDEMİR, Kübra Sultan. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest biology and technology**, [s. l.], v. 173, n. 111433, p. 111433, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111433>.

THINKOHKAEW, Korlid *et al.* Microencapsulation of probiotics in chitosan-coated alginate/gellan gum: Optimization for viability and stability enhancement. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 151, n. 109788, p. 109788, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109788>.

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, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/polym14225018>.

TOPLU, Melike Seda; TUNCER, Banu Özden. Evaluation of the functional properties and safety of enterocin-producing *Enterococcus faecium* BT29.11 isolated from Turkish Beyaz cheese and its inhibitory activity against *Listeria monocytogenes* in UHT whole milk. **Rivista italiana di scienza degli alimenti [Italian journal of food science]**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 54–70, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15586/ijfs.v35i2.2316>.

TU, L. Sze; DEHGHANI, F.; FOSTER, N. R. Micronisation and microencapsulation of pharmaceuticals using a carbon dioxide antisolvent. **Powder technology**, [s. l.], v. 126, n. 2, p. 134–149, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0032-5910\(02\)00045-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0032-5910(02)00045-1).

VASISHT, Niraj. Selection of materials for microencapsulation. *In: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY*. [S. l.]: Elsevier, p. 215–223, 2023.

VÁZQUEZ, José Antonio *et al.* Microbial bioconversion of chemical waste effluents from marine gelatin isolation: Production of probiotics under circular economy philosophy. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 416, n. 137952, p. 137952, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137952>.

VIANA, Carolina Carvalho Ramos *et al.* Microencapsulamento de bactérias probióticas: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 13, p. e242101320814, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20814>.

VOJDANI, Maede.; KAZEMEINI, Hamidreza. Study on the Effects of Gelatin Films Containing *Lactobacillus hamnosus* and *Lactobacillus acidophilus* Probiotics on the Survival of *Staphylococcus aureus* and Physicochemical Characteristics of the Carp Fillets at Refrigerator Temperature. **Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 109–123, 2024.

WANG, Bo *et al.* Anchovy oil microcapsule powders prepared using two-step complex coacervation between gelatin and sodium hexametaphosphate followed by spray drying. **Powder technology**, [s. l.], v. 358, p. 68–78, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.034>.

WANG, Leran *et al.* Probiotics encapsulated by gelatin and hyaluronic acid via layer-by-layer assembly technology for enhanced viability. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 153, n. 109967, p. 109967, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109967>.

WU, Chien-Hui *et al.* Improving acid resistance and characteristics of microencapsulated *Lactobacillus brevis* RK03 using top fluid bed drying technology. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, [s. l.], v. 110, p. 1–8, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2021.07.010>.

WU, Feng; LIU, Jinyao. Decorated bacteria and the application in drug delivery. **Advanced drug delivery reviews**, [s. l.], v. 188, n. 114443, p. 114443, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2022.114443>.

XIE, Aijun *et al.* Polysaccharides, proteins, and their complex as microencapsulation carriers for delivery of probiotics: A review on carrier types and encapsulation techniques. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. Pt 1, p. 124784, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124784>.

YAO, Mingfei *et al.* Enhanced viability of probiotics (*Pediococcus pentosaceus* Li05) by encapsulation in microgels doped with inorganic nanoparticles. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 83, p. 246–252, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.024>.

YAO, Mingfei *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus salivarius* Li01 for enhanced storage viability and targeted delivery to gut microbiota. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 72, p. 228–236, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.033>.

YONG, Agnes Kai Lin *et al.* Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 with mannitol. **Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology**, [s. l.], p. 32–42, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35118/apjmbb.2020.028.2.04>.

YUAN, Yongkai *et al.* Effect of calcium ions on the freeze-drying survival of probiotic encapsulated in sodium alginate. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 130, n. 107668, p. 107668, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107668>.

ZHANG, Kui *et al.* Effects of phospholipid content on the palatability and bacterial stability of oral-release probiotic mouth incense pills. **Food and Fermentation Industries**, [s. l.] v. 50, n. 2, p. 126–131, 2024. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036937>.

ZHANG, Ye *et al.* Biointerfacial supramolecular self-assembly of whey protein isolate nanofibrils on probiotic surface to enhance survival and application to 3D printing dysphagia foods. **Food chemistry**, [s. l.], v. 460, n. Pt 3, p. 140720, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140720>.



ZHAO, Runan *et al.* Single-cell encapsulation systems for probiotic delivery: Armor probiotics. **Advances in colloid and interface science**, [s. l.], v. 332, n. 103270, p. 103270, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2024.103270>.

ZOLDAN, Jocelane *et al.* Evaluation of viability to simulated gastrointestinal tract passage of probiotic strains and pioneer bioaccessibility analyses of antioxidants in chocolate. **Food bioscience**, [s. l.], v. 52, n. 102494, p. 102494, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102494>.

## 5 DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*) ADICIONADO DE *Lactobacillus rhamnosus* GG.

### RESUMO

Nos últimos anos, o crescente interesse na busca por opções alimentícias funcionais tem impulsionado a investigação e o desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, os estruturados de frutas são excelentes alternativas para a ingestão diária de vitaminas e compostos bioativos, sendo o cajá-umbu, fruta característica do nordeste brasileiro, uma matéria-prima promissora para o desenvolvimento destes produtos devido às suas qualidades sensoriais e potencial nutricional. O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um estruturado de cajá-umbu utilizando goma gelano de baixa e alta acilação como hidrocoloides adicionado de probiótico, visando fornecer alternativa de consumo dessa fruta e produto funcional probiótico. Inicialmente, estudo da viabilidade dos probióticos *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Lactobacillus rhamnosus* GG foi realizado utilizando diferentes métodos de incorporação ao estruturado: probiótico livre ou encapsulado (alginato) adicionado em revestimento de gelatina ou diretamente no estruturado. O método que possibilitou viabilidade mínima do probiótico em  $10^6$  UFC/g foi selecionado para o desenvolvimento do estruturado seguido de caracterização e estudo da viabilidade por 28 dias a 10 °C. Os estruturados (adicionado ou não do probiótico) foram elaborados a partir da polpa de cajá-umbu adoçada até atingir 12 °Brix, de acordo com análise sensorial realizada previamente (grupo de foco), adicionada a uma mistura de goma gelano de alta (HA) e baixa acilação (LA) (75%LA:25%HA) na concentração de 1,0% do peso da polpa. Análises físico-química, química, física (cor e textura) e sensorial (teste afetivo e CATA) foram realizadas. *Lactobacillus rhamnosus* GG livre em revestimento comestível de gelatina foi o método selecionado para adicionar probiótico ao estruturado de cajá-umbu, uma vez que para o BB-12, bem como para os demais métodos testados foram observados uma redução da viabilidade celular em valores inferior a  $10^6$  UFC/g. Os estruturados com probiótico apresentaram pH mais elevado em relação ao controle. Em relação aos compostos bioativos nos estruturados, não foi observada diferença significativa no conteúdo de vitamina C e de flavonoides amarelos, mas o conteúdo dos polifenóis totais foi maior no grupo controle, o que consequentemente promoveu uma maior atividade antioxidante total. Foi observado uma diferença significativa da cor e da textura entre os estruturados adicionado do probiótico e o controle (sem probiótico), embora essa diferença não tenha interferido na aceitação do estruturado adicionado do probiótico. Contudo, a cor e a aparência já foram determinantes para sua menor aceitação sensorial. No

estudo da estabilidade do probiótico no estruturado, observamos um crescimento na contagem de probióticos até o sétimo dia ( $10^7$  UFC/g), seguido por uma queda aos 28 dias ( $10^5$  UFC/g). O estruturado de cajá-umbu adicionado de probiótico por revestimento de gelatina apresenta potencial como alimento funcional, embora mais estudos sejam necessários visando garantir a estabilidade dos probióticos por maior tempo de armazenamento e aceitação sensorial.

**Palavras-chave:** alimento funcional; cajá-umbu; probiótico; revestimento comestível; gelatina.

## ABSTRACT

In recent years, the growing interest in the search for functional food options has driven the research and development of new products. In this way, structured fruit products are excellent alternatives for the daily intake of vitamins and bioactive compounds, and cajá-umbu, a fruit characteristic of northeastern Brazil, is a promising raw material for the development of these products due to its sensory qualities and nutritional potential. The aim of this study was to develop a structured cajá-umbu product using low and high acylation gellan gum as hydrocolloids and added probiotics, with the aim of providing an alternative way of consuming this fruit and meeting the growing demand for functional plant products. Initially, a study of the viability of the probiotics *Bifidobacterium animalis* BB-12 and *Lactobacillus rhamnosus* GG was carried out using different methods of incorporation into the structured product: free or encapsulated probiotic (alginate) added to a gelatine coating or directly into the structured product; the method that allowed the minimum viability of the probiotic to be  $10^6$  UFC/g was selected for the development of the structured product followed by characterization and a 28-day stability study at 10 °C. The structured products with or without the probiotic were made from cajá-umbu pulp sweetened to 12 °Brix, according to a previous sensory analysis, and a mixture of high (HA) and low acylation (LA) gellan gum (75%LA:25%HA) at a concentration of 1.0% of the weight of the pulp. Physico-chemical, chemical, sensory and physical analyses (color and texture) were carried out. Free *Lactobacillus rhamnosus* GG in an edible gelatine coating was the method selected to add the probiotic to the cashew-umbu structured product, since for BB-12 and the other methods tested there was a reduction in cell viability of less than  $10^6$  CFU/g. The structured products had a higher pH than the pulp, possibly due to the gellan gum. Regarding the bioactive compounds in the structured products, no significant difference was observed in the content of vitamin C and yellow flavonoids, but the content of total polyphenols was higher in the control group, which consequently promoted greater total antioxidant activity. During storage, we observed an increase in the probiotic count until the seventh day ( $10^7$  UFC/g), followed by a drop at 28 days ( $10^5$  UFC/g). In addition, there was a significant difference in color and texture between the structured product added with the probiotic and the control (without probiotic), which may have led to a lower sensory acceptance of the structured product added with the probiotic. The cajá-umbu structured food with probiotics added by gelatine coating has potential as a functional food, although more studies are needed to guarantee the stability of the probiotics for a longer storage time and sensory acceptance.

**Keywords:** functional food; cajá-umbu; probiotic; edible coating; gelatine.

## 5.1 Introdução

Os probióticos são reconhecidos por promover saúde e bem-estar, estando relacionados a efeitos benéficos ao hospedeiro, como modulação da microbiota intestinal através da inibição de patógenos, produção de compostos com ação anticarcinogênica, além da modulação da resposta imune (Rodrigues *et al.*, 2020). Embora, geralmente, associados a alimentos lácteos, há um crescente interesse na sua adição em matrizes alimentares vegetais, sendo uma alternativa promissora devido a presença de nutrientes (vitamina e minerais) e compostos bioativos, permitindo atender uma demanda do mercado que apresenta restrições ao consumo de produtos lácteos (Dias *et al.*, 2018).

Para garantir a atividade probiótica, a escolha da matriz alimentar é uma parte essencial para manter a viabilidade do probiótico no produto e os sucos e derivados de frutas consistem em matrizes desafiadoras, uma vez que os ácidos orgânicos e compostos fenólicos presentes nesses alimentos podem promover perdas das células devido a sua atividade antimicrobiana (de Oliveira Ribeiro *et al.*, 2020). Desta forma, para promover a sobrevivência dos microrganismos probióticos a exposição dos fatores extrínseco e intrínseco do alimento, sendo capazes de colonizar e manter atividade metabólica no trato gastrointestinal humano, a encapsulação em matrizes hidrocoloides consiste em uma técnica eficiente para melhorar a sua resistência as condições adversas e reduzir suas perdas (Rodrigues *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2018).

Os filmes e revestimentos comestíveis vem sendo utilizados para o melhoramento da qualidade, segurança e funcionalidade dos alimentos, tendo encontrado larga aceitação. A utilização desta tecnologia emerge como uma estratégia promissora como carreadores de vários compostos bioativos, bem como de microrganismos probióticos promovendo a sua proteção e adição nos alimentos, permitindo um impacto significativo na saúde do consumidor. Diversos estudos se dedicaram a otimizar o desenvolvimento de filmes e revestimentos comestíveis visando a viabilidade de microrganismos com característica probiótica e a efetividade da sua entrega ao consumidor (Alvarez *et al.*, 2021; Temiz; Özdemir, 2021; Dias *et al.*, 2023) e a gelatina está entre os polímeros naturais que apresenta requisitos favoráveis, como boa biocompatibilidade e digestibilidade, garantindo a entrega das cepas probióticas (Vázquez *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024), além de estabilidade térmica (Chen *et al.*, 2023).

Os alimentos frescos e minimamente processados, de consumo imediato, além de ricos nutricionalmente e com potencial efeitos benéficos à saúde humana, vem ganhando

mercado (Osborn; Marley, 2016; Verruck; Prudencio; Silveira, 2018) e os filmes e revestimentos comestíveis tem se mostrado alinhado com essa crescente demanda (Silva *et al.*, 2023). Os estruturados de frutas podem ser uma alternativa promissora, pois considerando que são produzidos a partir da adição de pequenas quantidades de hidrocolóides às polpas de frutas, as suas características de sabor, bem como estabilidade dos seus nutrientes, são preservadas (Parn *et al.*, 2015). Desta forma, considerando os efeitos benéficos dos probióticos e a importância da diversificação da sua aplicação usando matrizes não lácteas, esse estudo objetivou avaliar a adição de probiótico aplicado em revestimento comestível de gelatina sobre estruturado de cajá-umbu (*Spondias bahiensis*), uma fruta promissora nativa do nordeste brasileiro, visando fornecer alternativa de consumo dessa fruta e o desenvolvimento de um produto vegetal probiótico.

## 5.2 Metodologia

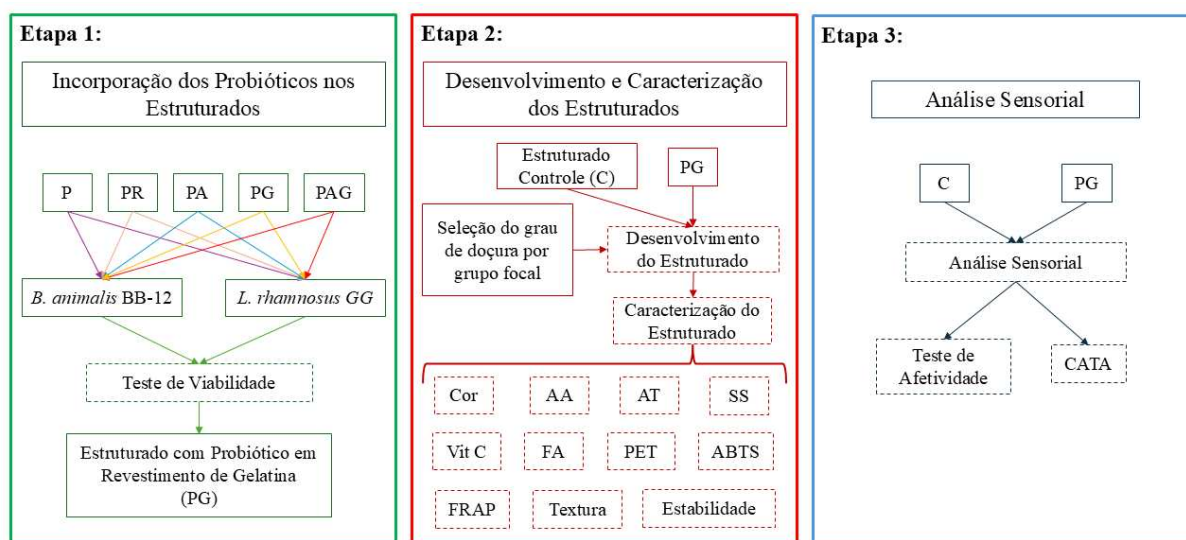
### 5.2.1 Materiais

Para o desenvolvimento dos estruturados foram utilizadas polpas de frutas de cajá-umbu, as quais parte delas foram doadas pela empresa Nossa Fruta, localizada no município de Eusébio - Ceará, outra parte foi adquirida comercialmente pelos pesquisadores, porém todas as polpas eram da mesma marca. Os probióticos *Bifidobacterium animalis* BB-12 e *Lactobacillus rhamnosus* GG e os materiais utilizados no preparo desses microrganismos foram fornecidos pelo Laboratório de Microbiologia dos Alimentos, sendo cultivadas em caldo Man, Rogosa e Sharp (MRS) adicionado de cisteína a 0,1% (durante 24 horas a 37 °C), onde uma alíquota de 0,1 mL foi inoculada no mesmo meio de cultura e cultivada sob as mesmas condições por 16 horas, repetindo esse processo por duas vezes consecutivas. Em seguida, as culturas foram lavadas duas vezes em tampão fosfato salino (1,0 M, pH 7,4), centrifugadas (a 3300 g, por 15 minutos, a 5 °C) e ressuspensas em uma solução de maltodextrina a 10% e glicose a 10% até atingir a concentração final de  $10^{11}$  UFC/mL. Alíquotas de 1 mL da suspensão foram congeladas e mantidas a -80 °C até o momento do uso nas demais etapas do projeto.

O processo de seu encapsulamento e o material necessário para essas etapas foram fornecidos pelo Laboratório de Embalagens, ambos pertencentes à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizada na cidade de Fortaleza - Ceará. A gelatina (4Well, GFI Nutrition Ind. e Com. Ltda, Brasil), comestível, incolor, sem sabor e com BLOOM 250, utilizada no desenvolvimento do revestimento comestível, a goma gelana de baixa acilação (KELCOGEL® GELLAN GUM, CP Kelco) e alta acilação (KELCOGEL® F GELLAN GUM,

CP Kelco), utilizados como hidrocoloides para desenvolvimento do estruturado, foram cedidos pelo Laboratório de Frutos e Hortaliças (LAFRUTH) da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde também foram realizadas as etapas de processamento, caracterização e análise sensorial dos estruturados. A Figura 10 mostra o fluxograma das etapas realizadas neste trabalho.

Figura 10 - Organização experimental relativo ao desenvolvimento da dissertação.



Fonte: Autor (2022). EC = Estruturado Controle; P = Grupo estruturado com probióticos livres; PR = Grupo estruturado probióticos em revestimento de gelatina por imersão; PA = Grupo estruturado com probióticos encapsulados em alginato; PG = Grupo estruturado com probióticos livres no revestimento de gelatina; PAG = Grupo estruturado com probióticos encapsulados em alginato na revestimento de gelatina; AA = Atividade de água; AT = Acidez titulável; SS = Sólidos solúveis; Vit C = Vitamina C; FA = Flavonoides amarelos; PET = Polifenóis extraíveis totais; ABTS = Análise de antioxidante por ABTS; FRAP = Análise de antioxidante por FRAP; CATA = *Check-All-That-Apply*.

### 5.2.2 Incorporação dos probióticos ao estruturado

Os grupos analisados neste trabalho foram: Grupo controle, que consiste no estruturado de cajá-umbu sem a presença de probióticos (C); Grupo com adição de probióticos livres (P); Grupo com adição de probióticos encapsulados com alginato (PA); Grupo estruturado probióticos em revestimento de gelatina (PR); Grupo contendo revestimento comestível de gelatina probiótica (PG); Grupo contendo revestimento comestível de gelatina com probiótico encapsulado com alginato (PGA). Em todos os grupos foram testados com *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* BB-12 ou *Lactobacillus rhamnosus* GG. A especificação de cada grupo está exposta na Tabela 4.



Tabela 4 - Especificação dos grupos de amostras analisadas.

Grupos Analisados	<i>Probióticos</i>	
	<i>Bifidobacterium animalis subsp. lactis</i> BB-12	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG
Grupo estruturado com probióticos livres.	P	P
Grupo estruturado probióticos em revestimento de gelatina por imersão.	PR	PR
Grupo estruturado com probióticos encapsulados em alginato.	PA	PA
Grupo estruturado com probióticos livres no revestimento de gelatina por sobreposição.	PG	PG
Grupo estruturado com probióticos encapsulados em alginato no revestimento de gelatina por sobreposição.	PGA	PGA

Fonte: Próprio autor, 2024.

Nos grupos P e PA os probióticos foram adicionados ao estruturado no momento antes da gelificação nas formas, quando ainda apresentava forma de uma solução pastosa, após atingir as temperaturas necessárias para sua produção. Os grupos com revestimento de gelatina foi preparado inicialmente com o desenvolvimento dos estruturados, em seguida foram incorporados os revestimentos de gelatina com os probióticos, 3 mL de solução. As amostras foram armazenadas em embalagens laminadas, identificadas e sob refrigeração até o momento das análises.

No processo de encapsulamento dos probióticos foram utilizadas duas formas de encapsulamento dos probióticos, uma com material de parede contendo alginato de sódio. O processo foi realizado com a técnica de gelificação iônica externa associada à vibração mecânica e extrusão utilizando o Encapsulador B-395 (Büchi, Essen, Alemanha), com as seguintes especificações de operação: um bocal de gotejamento de 120 µm, 300 V (carga eletrostática), pressão da bomba de pressão de ar de 200 mbar, sistema de regulação do equipamento de pressão de ar de 0,5 kPa e vazão de 1,7 mL min<sup>-1</sup>. A distância entre o bocal e o banho de gelificação foi de 20 cm. Foram preparados 100 mL de solução com 1,2% (m/v) de alginato de sódio e 2 g do probiótico, sendo homogeneizados por 30 min, agitação mecânica,

ela será gotejada em outra solução de cloreto de cálcio 1,3% (m/v), sob agitação até 5 min após a formação das partículas. Em seguida foram lavadas com água destilada (Castelo *et al.*, 2020).

O revestimento comestível probiótica foi preparada com base na metodologia descrita por Yang *et al.* (2023) para o revestimento utilizando gelatina, com algumas modificações. Inicialmente, foram gradualmente adicionados 5 g de gelatina a 100 mL de água a 60 °C, sob agitação constante em uma placa com agitador magnético até a completa dissolução. Após resfriamento até atingir a temperatura de 50 °C, o probiótico foi adicionado à solução, ainda sob agitação constante.

### **5.2.3 Viabilidade dos probióticos**

A viabilidade dos probióticos foi avaliada em todas os grupos que houve a incorporação desses microrganismos, avaliando através da quantidade de UFC/g, objetivando selecionar o método mais adequado para preservar as células probióticas ao incorporá-las às amostras. Para a contagem de *B. animalis* BB-12 e *L. rhamnosus* GG foram misturados 25 g de amostra e 225 mL de água peptonada tamponada, produzindo-se a primeira diluição, a partir da qual serão feitas as diluições seriadas necessárias para facilitar a contagem do probiótico. Em seguida, a partir das diluições consideradas, alíquotas de 0,1 mL serão inoculadas em duplicata na superfície do ágar MRS, para *B. animalis* BB-12 foi suplementado com L-cisteína 0,05%. Por fim, a incubação será realizada a 37 °C por 72 horas, dentro de um frasco de polycarbonato anaeróbico com sachês de indicador anaeróbico (Sabikhi *et al.*, 2010; Soukoulis *et al.*, 2014).

A estabilidade da viabilidade dos probióticos incorporados aos estruturados foi avaliada somente nas amostras do método que foi mais eficiente em preservar as células probióticas ao estruturado. A análise foi realizada durante o período de 28 dias, com intervalo de 7 dias, onde a primeira análise foi realizada no T0, dia da finalização do processamento do estruturado.

### **5.2.4 Seleção do grau de doçura da polpa de cajá-umbu**

A análise sensorial foi conduzida por meio de um grupo focal composto por 10 participantes e foi conduzida por duas pessoas, onde uma estava responsável por conduzir a dinâmica e outra para auxiliar registrando todas as impressões dos participantes, realizado no Laboratório de Frutos e Hortaliças (LAFRUTH) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O objetivo era avaliar as características sensoriais de estruturados de cajá-umbu com diferentes quantidades de açúcar para selecionar a formulação mais adequada para o prosseguimento do trabalho. Os estruturados foram divididos em três grupos: o grupo 1 representando o controle, sem adição de açúcar, apresentando aproximadamente 10 °Brix; o grupo 2 representando a formulação com adição de açúcar até atingir 12 °Brix; o grupo 3 representando a formulação com 15 °Brix.

Todos os participantes foram orientados de como a análise seria realizada, receberam uma porção de cada grupo, cada amostra consistia em estruturados de aproximadamente 7 g, dividida ao meio, servidas em copinhos descartáveis com um espeto descartável, na ordem que o mediador iria conduzir o processo, tendo duração de aproximadamente 30 minutos. A Figura 11 mostra o local da realização da atividade com as respectivas amostras distribuídas para a análise.

Figura 11 - Realização do grupo focal dos estruturados de cajá-umbu com diferentes graus de doçura, localizado no Laboratório de Processamento, UFC, Fortaleza, Ceará.



Fonte: próprio autor, 2023.

As questões levantadas seguiram o roteiro exposto na Quadro 1, que avalia os parâmetros de sabor, aroma, uso do produto e tipo de embalagem. A coleta dos dados foi feita através de registro escrito por um dos responsáveis do grupo focal e gravação de áudio, as respostas transcritas foram usadas como resultado dessa análise, assim como os comentários envolvendo o produto em questão que foram levantados além dos aspectos planejados.

Quadro 1 - Roteiro de perguntas utilizadas nas sessões de grupo de foco para avaliação das formulações de estruturado de cajá-umbu.

1. Qual a sua primeira impressão ao observar a amostra?

2. Você já tinha provado/comprado esse tipo de produto?

3. O que você acha da cor?
4. O que você acha da consistência/viscosidade?
5. O que você acha do aroma?
6. Você prefere estruturados à base de frutas mais ou menos homogêneas?
7. Qual a sua sensação ao provar as amostras?
8. O que você acha da acidez?
9. O que você acha da doçura?
10. Você consegue identificar quais frutas estão presentes nas amostras de estruturados de frutas?
11. Com qual produto comercial os estruturados assemelham-se?
12. Qual quantidade (g) você acha ideal por embalagem?
13. Você compraria esse tipo de estruturado?
14. Quanto você pagaria por este produto?
15. Você melhoraria algo nas amostras?
16. Dentre as amostras, qual a sua preferida?

Fonte: próprio autor, 2023.

### ***5.2.5 Desenvolvimento dos estruturados de cajá-umbu com probiótico***

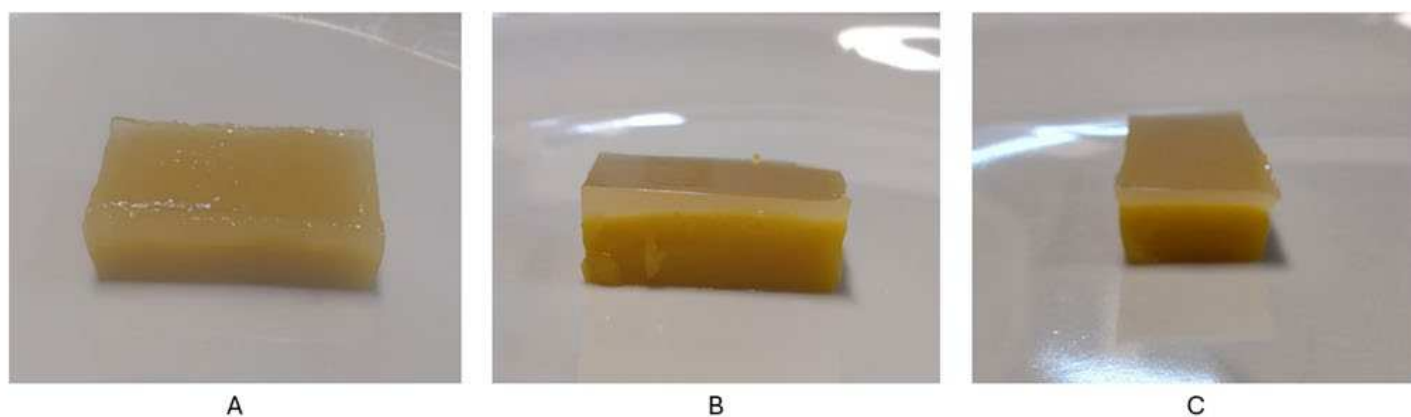
#### ***5.2.5.1 Preparo do estruturado***

O processamento dos estruturados foi realizado com a mistura da polpa de cajá-umbu, hidrocoloide e açúcar, o probiótico foi adicionado nas etapas finais, variando de acordo com o método de cada grupo analisado (com e sem encapsulação ou fixado em revestimento comestível), que serão mais bem descritas em seções posteriores.

O desenvolvimento dos estruturados utilizou como base a metodologia de Danalache e colaboradores (2015) que consistia na utilização da proporção de 1% de hidrocolóide, sendo uma mistura de 75% de goma gelana de baixa acilação (*Low Acil* - LA) e 25% de alta acilação (*High Acil* - HA), em polpa (contendo ou não a adição açúcar).

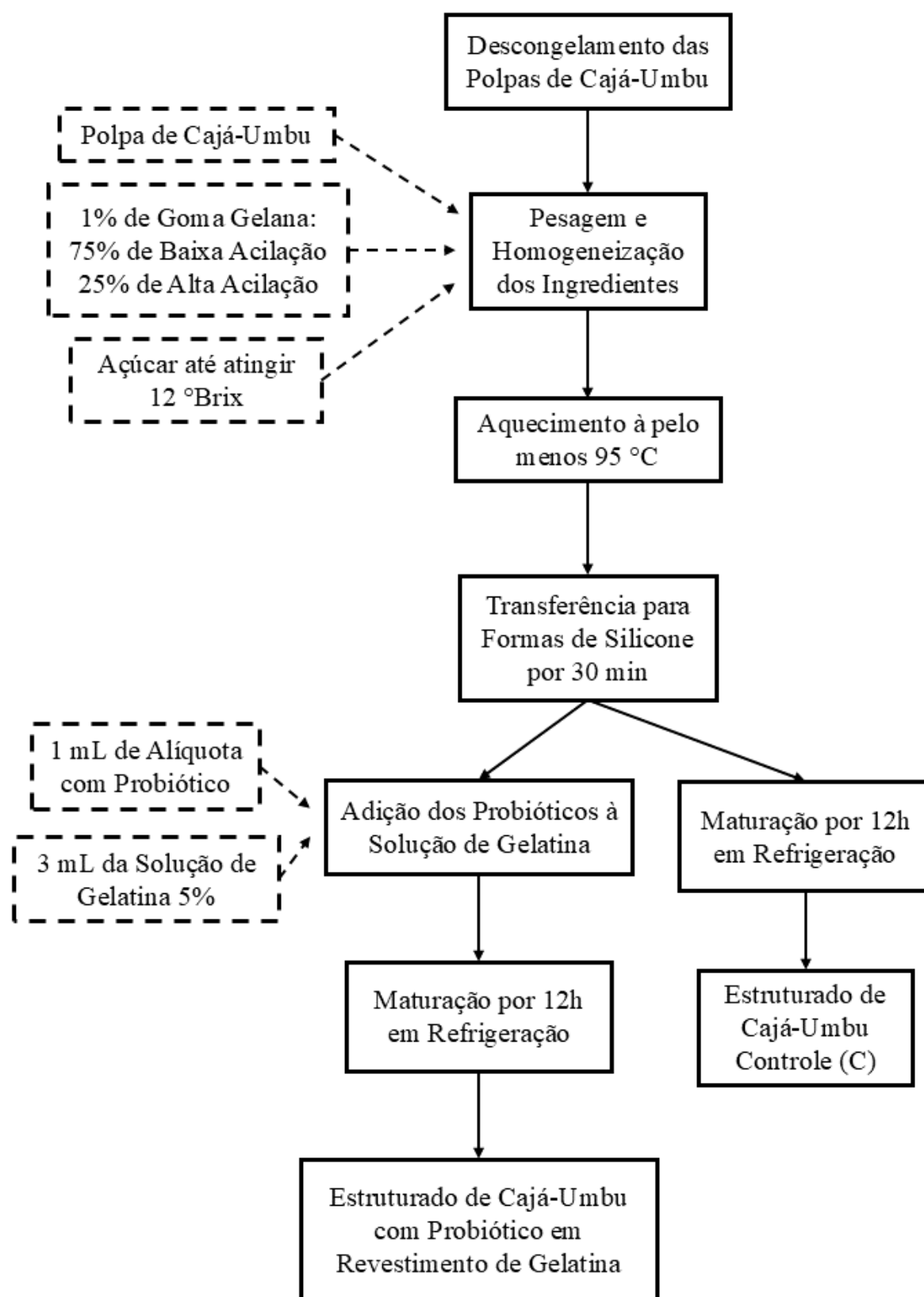
Após a pesagem (polpa de cajá-umbu, açúcar e hidrocoloides), todos os componentes foram homogeneizados com bastão de vidro até completa dissolução, foram aquecidos gradualmente, intercalado com agitação, em micro-ondas até aproximadamente 90 °C, temperatura necessária para gelificação desejada do produto estudado. Em seguida foram vertidos para formas de silicone, onde permaneceram em temperatura ambiente por 30 min, depois retirados, acondicionados em embalagens, laminada em apenas um lado, fechadas e em temperatura de 5 °C (refrigeração) por 12 horas para completar a maturação do gel. A Figura 12 mostra o estruturado com a revestimento de gelatina probiótica numa visão transversal, lateral e frontal, enquanto as etapas do processamento estão ilustradas no esquema da Figura 13.

Figura 12 - Estruturado de cajá-umbu com probiótico em revestimento de gelatina na visão transversal, lateral e frontal, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2023. A = Visão transversal; B = Visão lateral; C = Visão frontal.

Figura 13 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento do estruturado PG (com probiótico no revestimento de gelatina) e C (estruturado controle).



Fonte: Autor (2022). \*Adição de probióticos somente nos grupos necessários.

### **5.2.6 Caracterização físico-química dos estruturados**

#### **5.2.6.1 Atividade de água (AA)**

A atividade de água foi avaliada utilizando o aparelho Aqua-lab (modelo 4TE) a 25 °C, leitura diretamente no equipamento.

#### **5.2.6.2 pH**

As amostras foram avaliadas a partir de leitura direta em pHmetro digital (Mettler Toletto, modelo F20, Ohio, EUA) com ajuste automático de temperatura, padronizado com soluções tampões pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia preconizada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### **5.2.6.3 Sólidos solúveis (SS)**

Após a homogeneização das amostras, os sólidos solúveis (SS) foram determinados por leitura direta em um refratômetro digital portátil (Modelo Pocket PAL-3, Atago, Tóquio, Japão), com compensação automática de temperatura. Os resultados foram expressos em °Brix, conforme especificado pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### **5.2.6.4 Acidez titulável (AT)**

A acidez titulável (AT) das amostras foi determinada de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando a técnica titulométrica com fenolftaleína a 1% como indicador. Uma solução de NaOH 0,1 M foi adicionada até que ocorresse a mudança de cor para levemente rósea. Os resultados foram expressos em percentagem (%) de ácido cítrico.

### **5.2.7 Açúcares redutores e totais dos estruturados**

As quantidades de açúcares redutores e totais foram determinadas pelo método de DNS (Miller, 1959; Maldonado; Carvalho; Ferreira, 2013). A preparação do extrato para a quantificação de açúcares redutores, consistiu em pesar 2g de amostra, adicionar 20 mL de água e colocar em banho-maria com temperatura entre 60 °C e 70 °C, por 5 min, em seguida foi resfriado ao contato com água gelada, transferido para balão de 50 mL e completado com água, por fim foi filtrado. O extrato para açúcares totais foi preparado com 2g de amostra com 20 mL de água misturados com 2 mL de HCl e levado para banho-maria com temperatura entre 70 °C



e 80 °C, por 30 min, em seguida foi esfriado em água fria e neutralizado o pH com NaOH 20%, transferido para balão de 50 mL e filtrado.

A leitura foi realizada após a mistura de 5 mL do extrato, açúcar redutor ou total, com 1 mL de água e 1 mL de DNS, levado a banho-maria com temperatura de 100 °C por 5 min, depois foi esfriado, adicionado 7,5 mL de água e por fim feita a leitura em espectrofotômetro em 540 nm.

### **5.2.8 Compostos bioativos a atividade antioxidante**

#### **5.2.8.1 Vitamina C**

A vitamina C foi quantificada utilizando o Método *Tillman* (Strohecker; Henning, 1967). A solução de DFI (2,6-diclorofenolindofenol) a 0,02% (m/v) foi previamente padronizada com ácido ascórbico, até que uma coloração rósea clara permanente fosse observada. A amostra foi diluída em ácido oxálico a 0,5% (m/v) e uma alíquota de 5 mL foi utilizada para a titulação. Os resultados foram expressos em mg/100g de massa fresca.

#### **5.2.8.2 Flavonoides amarelos**

Os flavonoides amarelos foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Francis (1982), que consiste na utilização de solução extratora de etanol 95% + HCl 1,5 mol/L (85:15) na mistura com as amostras. Foram pesados 1 g de cada amostra e foi adicionado aproximadamente 30 mL da solução extratora etanol-HCl, o conteúdo foi transferido para balões volumétricos de 50 mL e aferidos com solução extratora, em seguida foram transferidos para frascos de vidro âmbar e deixados descansar por 16 h em refrigeração.

Após esse período foram filtrados em béqueres revestidos de alumínio, para evitar ao máximo o contato das soluções com a luz. As soluções foram transferidas para cubetas de vidro de 3 mL e a aferição foi realizada em espectrofotômetro com comprimento de onda 374 nm, sendo o equipamento zerado previamente com solução extratora de etanol-HCl. Os resultados foram expressos em mg/100 g de amostra.

#### **5.2.8.3 Extrato de compostos fenólicos e atividade antioxidante**

Para a determinação do conteúdo de polifenóis extraíveis totais (PET) foram elaborados extratos segundo metodologia descrita por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto

(1997). A amostra foi homogeneizada com etanol 50% em agitador tipo Vórtex, durante 30 segundos, depois ficou em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente (25 °C) e na ausência de luz. Após o repouso, a solução foi centrifugada a 15.000 rpm, durante 15 minutos, e o sobrenadante (designado como 1) foi filtrado e recolhido em um balão volumétrico. Ao resíduo dessa primeira extração, foi adicionado acetona 70% e todo o processo de homogeneização, repouso e centrifugação se repetiu. O novo sobrenadante (designado como 2) foi filtrado, recolhido e misturado ao sobrenadante 1 em balão volumétrico, completando-se o volume do extrato com água destilada. Por fim, os extratos foram armazenados em frascos plásticos escuros até a realização das análises.

#### 5.2.8.4 Compostos fenólicos extraíveis totais

Foi medido utilizando método de *Folin-Ciocalteu*, de acordo com Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997), com modificações. A absorbância foi medida em espectrofotômetro à 700 nm, após 30 min de reação entre o extrato anteriormente citado, 500 µL do folin ciocalteau (1:3), 1 mL de carbonato de sódio 20% e 1 mL de água destilada. O conteúdo de PET foi calculado a partir de uma curva padrão de ácido gálico (0-50 µg), sendo os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG).Kg<sup>-1</sup> de massa fresca (MF).

#### 5.2.8.5 Atividade antioxidante por ABTS

A atividade antioxidante foi avaliada pelo método de captura dos radicais 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) (RE *et al.*, 1999; RUFINO *et al.*, 2007), com algumas adaptações. Para isso, uma amostra de 30 µL do extrato das amostras de frutas estruturadas previamente preparadas foi combinada com 3 mL da solução resultante do radical ABTS, em condições de escuridão. O decréscimo na absorbância a 734 nm foi medido após 6 minutos, utilizando uma curva padrão estabelecida entre 500-1500 µM de Trolox. Os resultados foram expressos como µM de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) por grama de massa fresca.

#### 5.2.8.6 Atividade antioxidante por FRAP

A atividade antioxidante pelo método FRAP foi avaliada de acordo com a metodologia proposta por Rufino *et al.* (2006). Para isso, uma amostra contendo 3 mL de uma solução FRAP recém-preparada, composta por tampão acetato a 0,3 M (pH 3,6), 10 mM de

2,4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) e 40 nM de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , foi combinada com 100  $\mu\text{L}$  de extrato preparado para a determinação de fenol. Essa mistura foi então incubada a 37 °C por 4 minutos. A mudança na absorbância foi registrada a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco. A atividade antioxidante foi calculada com base na curva padrão de sulfato ferroso (500 - 2.000  $\mu\text{M}$ ) e os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  de sulfato ferroso por kg de matéria fresca.

#### **5.2.9 Parâmetros de cor**

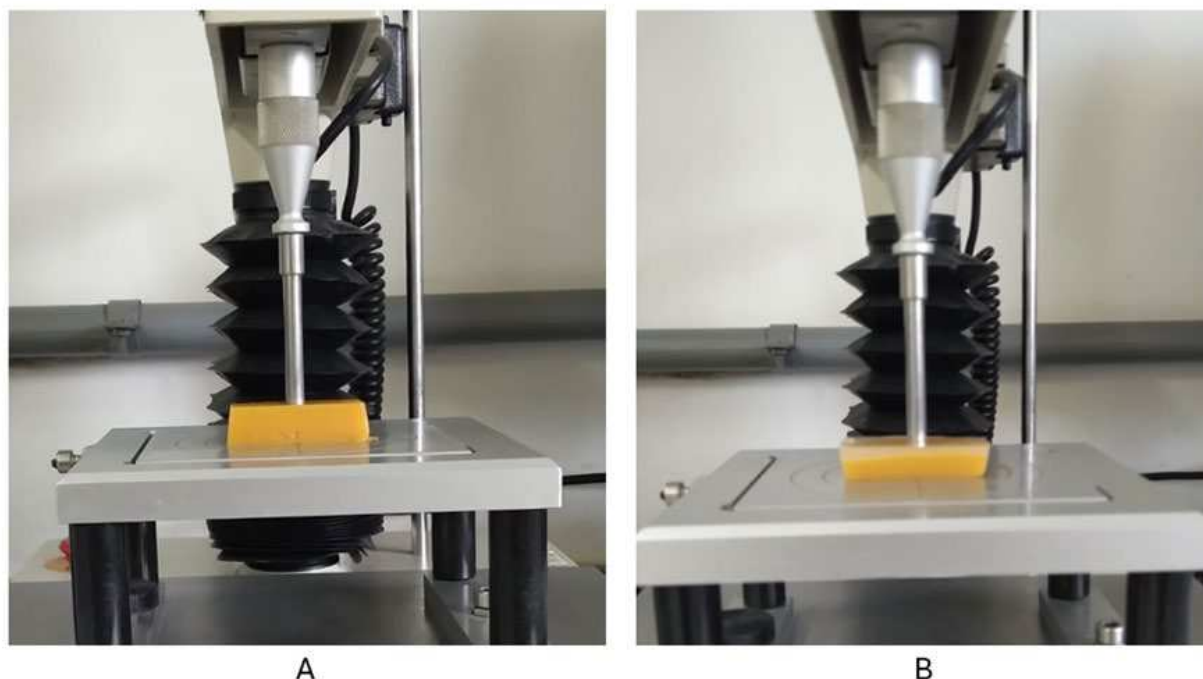
A obtenção dos parâmetros relacionados à cor das amostras foi realizada através da medição de sua reflectância utilizando um colorímetro (ColorQuest XE da HunterLab). Cada amostra foi colocada em uma cubeta com 1 cm de espessura e área de leitura de 5,31  $\text{cm}^2$ . As medidas de cor foram expressas em termos de luminosidade  $L^*$ , variando de 0 (preto) a 100 (branco), cromaticidade  $a^*$ , indo de verde (-) a vermelho (+), e  $b^*$ , de azul (-) para amarelo (+).

#### **5.2.10 Avaliação instrumental de textura (APT)**

A avaliação do perfil de textura instrumental é um teste com objetivo de simular a ação de mordida humana que foi realizado no Laboratório de Análise de Alimentos, na EMBRAPA. Como na metodologia adotada por Mandala, Palogou e Kostaropoulos (2002), as amostras de estruturado a base de cajá-umbu foram avaliadas através de um analisador de textura (TA-XT2i, marca Stable Micro Systems), a Figura 14 mostra os estruturados no momento da análise.

No teste houve compressão das amostras até a deformação de 60% da altura original por um êmbolo de alumínio com 6 mm de diâmetro, processo se repetindo duas vezes por 5 segundos. Os parâmetros extraídos deste teste foram os valores de dureza (em gf), adesividade (em gf/s), elasticidade e coesividade. Todo o processo ocorreu em temperatura ambiente ( $20 \pm 2$  °C) em triplicata, com 10 repetições de cada.

Figura 14 - Amostras de estruturado de cajá-umbu controle e com probiótico em texturômetro, submetido a análise de textura.



Fonte: próprio autor, 2023. A = Análise de textura no estruturado controle; B = Análise de textura no estruturado com probiótico no revestimento de gelatina.

### 5.2.11 Análise sensorial

A análise sensorial foi conduzida com o objetivo de obter o perfil sensorial do estruturado de cajá-umbu probiótico pelos provadores. Essa avaliação foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), conforme parecer nº ..... As análises foram realizadas com 70 provadores no Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Cultura e Arte da Universidade Federal do Ceará. Todos os julgadores eram voluntários, não treinados, recrutados aleatoriamente entre estudantes e servidores da referida universidade, e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme as diretrizes da Resolução no 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que regula pesquisas envolvendo seres humanos (BRASIL, 2013).

Foram analisadas duas amostras de estruturados de cajá-umbu: um grupo controle e outro contendo revestimento de gelatina com *Lactobacillus rhamnosus* GG. Cada participante recebeu amostras de aproximadamente 4 cm<sup>2</sup> em copos plásticos descartáveis de 50 mL. As amostras foram identificadas com números aleatórios de três dígitos.

A aceitação sensorial foi avaliada utilizando uma ficha com escala hedônica estruturada em nove categorias, onde 1 correspondia à nota mínima "desgostei muitíssimo" e 9 à nota máxima "gostei extremamente" (Stone; Sidel, 2004) para os atributos de textura (maciez), sabor e impressão global.

O teste *Check-All-That-Apply* (CATA) foi baseado nas respostas dos consumidores a uma pergunta para descrever as amostras, seguindo a abordagem sugerida por Plaehn (2012).

### **5.2.12 Análise estatística**

Para a análise estatística descritiva dos dados, as análises foram realizadas em triplicata, com duas repetições por amostra, e os dados expressos com valores  $\pm$  desvio padrão. Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para identificar se as médias das amostras apresentavam distribuição normal, para  $p > 0,05$ , em seguida foi aplicado o teste t de Student, com  $p < 0,05$ , para avaliar a diferença estatisticamente significativa entre as amostras, para as análises de caracterização físico-química, compostos bioativos, cor e textura. Para o teste de aceitação da análise sensorial foi aplicado o teste de ANOVA seguido de teste de Tukey, com  $p < 0,05$ , para avaliar a diferença estatisticamente significativa entre as amostras. Para o CATA foi aplicado o teste de Cochran Q que foi realizado para identificar diferenças significativas de cada atributo indicados na análise e Análise de Componentes Principais (ACP). Todos os testes estatísticos serão realizados usando o programa Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA) e XLSTAT (2024.1) software para Windows (Adinsoft, Paris, França).

## **5.3 Resultados e discussão**

### **5.3.1 Viabilidade dos probióticos**

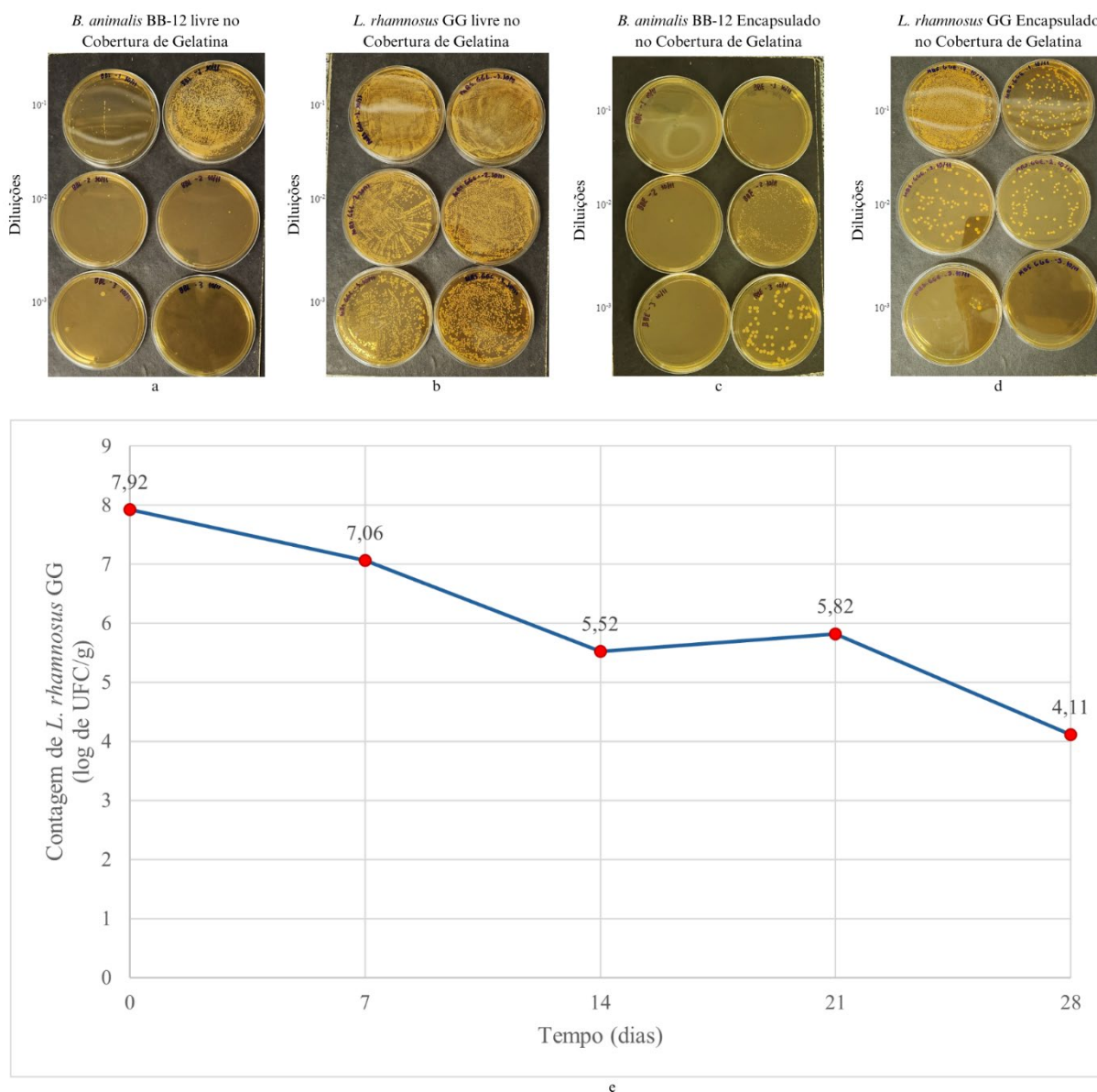
A viabilidade dos probióticos foi realizada previamente às demais análises nos grupos de amostras de estruturados contendo probióticos em suas formulações como forma de selecionar o método de incorporação mais adequado para preservá-los em quantidades na ordem de  $10^6$  UFC/g, valor mínimo para ser considerado um alimento com alegação funcional de probiótico. Os resultados estão expostos na Tabela 5 e as placas de Petri analisadas estão na Figura 15abcd.

Tabela 5 - Contagem de UFC/g das amostras com diferentes métodos de incorporação do probiótico.

Amostras	<i>B. animalis</i> BB-12 UFC/g	<i>L. rhamnosus</i> GG UFC/g
P	-	-
PA	$1,47 \cdot 10^5$	$< 10^4$
R	$< 10^2$	$< 10^2$
PG	$> 10^4$	$> 10^6$
PGA	$3,6 \cdot 10^5$	$7,85 \cdot 10^4$

Fonte: próprio autor, 2024. P = Estruturado com probióticos livres; PA = Estruturado com probióticos encapsulados em alginato; R = Estruturado com probióticos livres em revestimento de gelatina; PG = Estruturado com probióticos livres em revestimento de gelatina; PGA = Estruturado com probióticos encapsulados em alginato no revestimento de gelatina.

Figura 15 - Placas de Petri contendo a contagem de células probióticas em UFC/g das amostras com diferentes métodos de incorporação de *B. animalis* BB-12 e *L. rhamnosus* GG.



Fonte: próprio autor, 2024. a = Contagem de *B. animalis* BB-12 livre aplicado ao revestimento de gelatina do estruturado; b = Contagem de *L. rhamnosus* GG livre aplicado ao revestimento de gelatina do estruturado; c = Contagem de *B. animalis* BB-12 encapsulado aplicado ao revestimento de gelatina do estruturado; d = Contagem de *L. rhamnosus* GG encapsulado aplicado ao revestimento de gelatina do estruturado; e = Viabilidade de *L. rhamnosus* GG do estruturado de cajá-umbu ao longo de 28 dias; UFC/g = Unidades formadora de colônias por grama; log de UFC/g = Contagem de *L. rhamnosus* GG em logaritmo de base 10 das unidades formadoras de colônias.

O método de incorporação dos probióticos de melhor resultado foi o grupo PG, a gelatina sendo o material selecionado para constituir o revestimento comestível do estruturado com probiótico. O teste mostrou que o revestimento de gelatina conseguiu preservar as células

probióticas, principalmente *L. rhamnosus* GG na forma livre, apresentando crescimento superior a ordem de  $10^6$ , por isso foi o procedimento escolhido pelos autores como melhor método de incorporação. Temiz e Özdemir (2021) desenvolveram formulações de filmes de gelatina com resíduos agroalimentares e *Lactobacillus rhamnosus* HN001, dentre as análises estudadas, a viabilidade dos probióticos foi uma delas. Apesar da drástica perda da viabilidade,  $> 3,5 \log \text{ UFC/g}$ , porém apresentou boa capacidade de manter boa quantidade dos probióticos, da ordem necessária para considerar um alimento probiótico. Dessa forma podemos concluir que a gelatina é um material bom para fazer revestimento comestível de alimentos com probióticos, sendo o *L. rhamnosus* GG o mais adequado.

Um resultado importante a ser discutido é o comportamento da sobrevivência dos probióticos nos métodos de incorporá-los ao estruturado, ambos os probióticos do grupo P não sobreviveram à exposição do calor de  $95^\circ\text{C}$ , temperatura da preparação das amostras, resultado esperado pois foram adicionados na forma livre diretamente nos estruturados. O processo de encapsulamento gerou resistência a alta temperatura nas duas cepas quando adicionadas na forma encapsulada com alginato diretamente nos estruturados, grupo PA, com melhor resultado para *B. animalis* BB-12, porém não o suficiente para ter contagem superior de  $10^6 \text{ UFC/g}$ .

A incorporação de probióticos por meio do revestimento de gelatina apresentou os melhores resultados para as amostras com *L. rhamnosus* GG. O grupo PG foi o único que manteve uma contagem acima de  $10^6 \text{ UFC/g}$  (Figura 8b), valor superior até mesmo ao grupo PGA (Figura 14d). Esse resultado pode parecer contraditório, uma vez que o encapsulamento é geralmente utilizado para aumentar a resistência dos probióticos a fatores adversos, como processamento, armazenamento e condições extremas de pH no trato gastrointestinal (Atraki; Azizkani, 2021; Mozaffarzogh *et al.*, 2020). No entanto, a concentração da solução de gelatina utilizada na preparação das amostras pode justificar essa diferença. A gelatina, quando combinada com alginato de sódio, forma uma estrutura semelhante a uma rede, o que otimiza a encapsulação e a liberação dos compostos (Dou *et al.*, 2018).

No caso do grupo PGA, a baixa contagem de probióticos pode ser explicada pela fragilidade da estrutura formada pela solução de gelatina com os probióticos encapsulados. Parte do revestimento de gelatina se desprendia das amostras e aderiu à embalagem durante o armazenamento, comprometendo a eficiência do encapsulamento. Em contraste, o trabalho de Ghalehjooghi, Tajik e Shahbazi (2023), que desenvolveram esteiras de nanofibras de embalagem utilizando gelatina e alginato de sódio com probióticos, utilizou uma proporção de 7 g de gelatina para 2 g de alginato de sódio. No presente estudo, para o grupo PG, foram



utilizados 10 g de encapsulados em 15 mL de solução de gelatina a 5%. Esse método demonstra potencial para futuras investigações, visando oferecer melhores condições de proteção e liberação dos probióticos, otimizando sua viabilidade e eficácia.

As análises da estabilidade da viabilidade dos probióticos (Figura 14e) apresentaram resultados desejáveis nos tempos T0 e T7, contendo a quantidade dos microrganismos na ordem de  $10^7$  UFC/g, o que indica que durante esse período o produto consegue manter as células viáveis numa quantidade adequada para ter efeitos benéficos ao corpo humano, porém a partir do tempo T14 apresenta redução, caindo para a ordem de  $10^5$  UFC/g, indicando que o produto não consegue manter a sobrevivência dos microrganismos na quantidade mínima desejável para apresentar efeitos benéficos.

Segundo Temiz e Özdemir (2021), que avaliaram a aplicação de coberturas de gelatina e inulina com *L. rhamnosus* HN001 em morangos, observou-se que os filmes de gelatina com probióticos e gelatina com inulina e probióticos mantiveram a viabilidade dos microrganismos sem diferenças significativas até o 5º dia. A partir do 10º dia, houve redução na contagem, mas o grupo com inulina preservou melhor os probióticos, mantendo 2,52 log UFC/g e 3,00 log UFC/g no 15º dia, em comparação à contagem inicial. A gelatina mostrou-se um material promissor para a incorporação de probióticos em alimentos, capaz de proteger as células microbianas por algumas semanas, especialmente quando combinada com outros componentes, como a inulina, que favorecem a sobrevivência dos probióticos. Esse destaque reforça o potencial da gelatina como uma alternativa eficaz para a proteção e incorporação de probióticos em produtos alimentícios.

### ***5.3.2 Seleção do grau de doçura da polpa de cajá-umbu para desenvolvimento dos estruturados***

A Quadro 2 descreve o resumo da transcrição dos relatos dos participantes sobre as questões relacionadas à impressão sensorial dos estruturados de cajá-umbu com diferentes teores de açúcar, registrados através de gravação de áudio.

Quadro 2 - Resumo dos relatos coletados no grupo de foco relacionados às formulações de estruturado de cajá-umbu.

Perguntas	Comentários
1. Qual a sua primeira impressão ao observar a amostra?	<p>Todos os participantes relataram que a primeira impressão de todas as amostras dos estruturados foi positiva, com aparência homogênea, opaca e encorpada.</p> <p>De modo geral relataram aparência brilhosa, com divergência no grupo de destaque dessa característica.</p>
2. Você já tinha provado/comprado esse tipo de produto?	A grande maioria não havia provado esse tipo de produto, alguns relatam não ter conhecimento dele, com exceção um participante, que trabalha com estruturados.
3. O que você acha da cor?	A percepção sobre a cor das diferentes amostras foi a mesma para cada participante, porém, foi divergente no grupo. A maioria relatou cor amarelo vívida sobre as três amostras diferentes, uma parcela menor relatou cor amarelo clara para as mesmas três amostras, enquanto duas pessoas relataram cor alaranjada para as mesmas amostras.
4. O que você acha da consistência/viscosidade?	Ao consumir o estruturado se desfaz rapidamente na boca, necessitando pouca mastigação. Uma parte dos participantes falaram que o produto poderia ser mais consistente, inclusive com algumas pessoas relatando que o grupo controle ou o grupo de 12 °Brix era menos consistente, uma pessoa relatou que a amostra de doçura intermediária era mais quebradiça. Por outro lado, parte dos provadores concordaram que estavam satisfeitos com esse aspecto nas amostras.
5. O que você acha do aroma?	As características de aroma frutado e cítrico foram predominantes em todos os grupos, aroma de cajá foi unânime no grupo controle e bastante presente nos demais grupos, porém foi relatado a percepção do aroma de

	outras frutas (caju, manga, maracujá ou abacaxi), não sendo conclusivo qual fruta seria, além de um relato de não identificação do aroma.
6. Você prefere estruturados à base de frutas mais ou menos homogêneas?	Não foi conclusiva pois os participantes relataram não ter preferência nesse quesito.
7. Qual a sua sensação ao provar as amostras?	Relataram a percepção marcante do sabor de uma fruta natural, não remetendo à um produto ultraprocessado, com o sabor de cajá predominante, porém, nos grupos com maior grau de doçura, relataram o sabor de outras frutas (caju, manga, maracujá ou abacaxi), sendo o grupo mais doce com a maioria dos participantes concordando, mas não concordam qual fruta, além de um relato de não identificação do sabor.
8. O que você acha da acidez?	Foi relatado que a acidez foi diminuindo na sequência das amostras provadas, resultando no grupo controle o mais ácido, incomodando alguns participantes, e o grupo com 15 °Brix o menos ácido, sendo que o grupo com 12 °Brix apresenta acidez intermediária, mas que não incomoda.
9. O que você acha da doçura?	Foi percebido que o aumento do grau de doçura foi aumentando na sequência das amostras provadas, resultando na maior preferência ao grupo com 15° Brix, seguido pelo grupo com 12 °Brix.
10. Você consegue identificar quais frutas estão presentes nas amostras de estruturados de frutas?	Não foi identificado a presença do cajá-umbu em nenhuma das amostras, porém, relataram que as amostras eram à base de cajá, sendo no grupo controle a presença somente de cajá. No segundo relataram a presença marcante de cajá, porém, alguns participantes relataram a presença de outras frutas (caju, manga, maracujá ou abacaxi), e todos concordaram que no terceiro grupo havia a presença de outras frutas.

11. Com qual produto comercial os estruturados assemelham-se?	Relataram que os produtos semelhantes eram gelatina, doce de goiaba e outras sobremesas semelhantes.
12. Qual quantidade (g) você acha ideal por embalagem?	Foi relatado que consumir o estruturado em pequena quantidade não seria interessante, mesmo que consumido como sobremesa. Concordaram que comercializar em maior quantidade seria o ideal, como um doce de goiaba, por exemplo.
13. Você compraria esse tipo de estruturado?	Todos os participantes responderam que comprariam as amostras com 12 e 15 °Brix. No grupo controle não foi unânime, alguns participantes responderam talvez e outros que não comprariam.
14. Quanto você pagaria por este produto?	Não relataram um valor conclusivo, porém, associaram bastante a outros doces e sobremesas, relatando que o preço deveria ser análogo a esses produtos, dependendo da quantidade a ser comercializada.
15. Você melhoraria algo nas amostras?	Alguns participantes falaram sobre a acidez da amostra controle, mas as outras amostras estavam boas em relação a esse ponto.  Outro ponto levantado foi sobre a consistência, onde uma parte dos participantes falaram que o produto poderia ser mais consistente.
16. Dentre as amostras, qual a sua preferida?	Por unanimidade, a amostra com 15 °Brix (o grupo com maior valor) foi a mais aceita, acompanhada de perto pela amostra com 12 °Brix e em último lugar a amostra controle.

Fonte: próprio autor, 2023.

No estudo, todos os participantes relataram que a primeira impressão de todas as amostras dos estruturados foi positiva, com aparência homogênea, opaca e encorpada. De modo geral relataram aparência brilhosa, com divergência no grupo de destaque dessa característica. Os provadores tiveram uma percepção marcante do sabor de uma fruta natural, não remetendo

a um produto ultraprocessado, sendo o sabor de cajá predominante citado, porém, nos grupos com maior grau de doçura, relataram o sabor de outras frutas (caju, manga, maracujá ou abacaxi), sendo o grupo mais doce com a maioria dos participantes concordando com essa afirmação, porém não concordam qual fruta seria, além de um relato de não identificação do sabor.

Os julgadores relataram uma sensação de redução da acidez à medida que provavam as amostras, sendo o grupo controle considerado o mais ácido, o que causou desconforto em alguns participantes. O grupo com 15 °Brix foi percebido como o menos ácido, enquanto o grupo com 12 °Brix apresentou uma acidez intermediária, que não gerou incômodo. Por unanimidade, a amostra com 15 °Brix foi a preferida, seguida de perto pela de 12 °Brix, enquanto o grupo controle ficou em último lugar em preferência.

Conforme destacado nas respostas do grupo focal, a adição de açúcar influenciou significativamente a percepção dos provadores, tornando as amostras adoçadas as mais bem aceitas. No entanto, o consumo excessivo de açúcar não é recomendado para o dia a dia, o que reforça a importância de estratégias para redução de açúcares em alimentos, como reformulações com substituição parcial ou total, redução gradual ou integração multissensorial (Di Monaco et al., 2018).

A escolha do estruturado com 12 °Brix, que teve aprovação intermediária no grupo focal, foi feita pelos pesquisadores por preservar melhor o sabor da polpa de cajá-umbu, mesmo com menor quantidade de açúcar. Embora o grupo com 15 °Brix tenha sido o mais bem aceito, a maior quantidade de açúcar em sua formulação descaracterizou o sabor da fruta, levando muitos provadores a relatarem a percepção de mistura com outras frutas. Essa decisão buscou equilibrar aceitação sensorial e manutenção das características originais do produto.

O grupo focal, além de definir a quantidade ideal de açúcar na formulação dos estruturados de cajá-umbu, também avaliou outros aspectos sensoriais do produto, permitindo uma conclusão sobre sua aceitação. De maneira geral, a textura e a aparência dos estruturados receberam comentários positivos, embora alguns provadores tenham sugerido uma maior consistência. Quanto à intenção de compra, houve uma preferência unânime pelas amostras adoçadas, evidenciando um potencial de mercado para o produto, caso fosse comercializado. Esses resultados indicam que o estruturado apresenta características promissoras para se tornar um alimento bem aceito pelos consumidores.

### 5.3.3 Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante dos estruturados

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos sobre a caracterização do estruturado de cajá-umbu com probiótico (PG) e do estruturado controle (C), em relação aos parâmetros físico-químicos, quantidade de açúcares redutores e totais, polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante. Dentre os resultados, observa-se que atividade água (AA) e pH foram maiores na amostra PG, enquanto para os parâmetros sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) a amostra C apresentou valores maiores.

Tabela 6 - Caracterização físico-química do estruturado de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG).

Parâmetros	C	PG	p-valor
AA	0,9818 ± 0,002 b	0,9893 ± 0,001 a*	0,000005
pH	2,98 ± 0,001 b	3,15 ± 0,05 a	0,000000
SS (°Brix)	13,5 ± 0,45 a	10,5 ± 0,84 b	0,000016
AT (% ácido cítrico)	1,30 ± 0,03 a	1,05 ± 0,02 b	0,000000
AcR (%)	14,34 ± 0,61 b	19,04 ± 1,24 a	0,000008
AcT (%)	17,01 ± 0,74 a	19,11 ± 2,49 a	0,075614
Vit C (mg/100g)	7,53 ± 0,75 a	6,32 ± 1,36 a	0,084429
FA (mg/100g)	3,44 ± 0,15 a	3,18 ± 0,61 a	0,373976
PET (µg ác. gálico/100g)	70,14 ± 4,24 a	43,99 ± 2,95 b	0,000000
ABTS (µM de Trolox/g)	6,51 ± 0,78 a	2,27 ± 0,17 b	0,000000
FRAP (µM sulfato ferroso/g)	21,27 ± 4,06 a	7,75 ± 0,79 b	0,000012

Fonte: próprio autor, 2024. \*Médias ± Desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey (p<0,05). AA = Atividade água; SS = Sólidos solúveis, AT = Acidez titulável; AcR = Açúcares Redutores; AcT = Açúcares Totais; FA = Flavonoides amarelos; PET =

Polifenóis extraíveis totais; C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado de cajá-umbu com probióticos livres em revestimento de gelatina.

O valor da atividade de água (AA) no estruturado de cajá-umbu com probiótico foi de  $0,9893 \pm 0,001$ , considerado elevado e, em teoria, um fator que poderia comprometer a sobrevivência dos microrganismos probióticos. No entanto, o produto manteve a quantidade desejável de probióticos viáveis por 7 dias sob refrigeração, demonstrando boa estabilidade e viabilidade desses microrganismos durante esse período. Esse resultado contrasta com a atividade de água do grupo C, que apresentou valores ainda mais altos. Em um estudo realizado por Jesus *et al.* (2016), estruturados à base de umbu combinado com outras frutas (como melão, ciriguela e romã), utilizando pectina, alginato e gelatina na formulação, apresentaram valores de AA mais baixos, variando entre 0,6 e 0,8. Esses dados sugerem que, embora o estruturado de cajá-umbu com probiótico apresente uma AA elevada, o processo de preparação e a refrigeração podem ter influenciado positivamente na manutenção da viabilidade dos probióticos, garantindo sua estabilidade durante o período analisado.

A atividade de água é um parâmetro crucial em alimentos, especialmente em produtos probióticos secos, pois valores mais baixos, na faixa de 0,1 a 0,3, tendem a favorecer a sobrevivência das células bacterianas benéficas. Conforme destacado por Burca-Busaga *et al.* (2020), quanto menor o valor de AA, maior é a probabilidade de preservação da viabilidade dos probióticos. No caso do estruturado de cajá-umbu, apesar da AA elevada, a combinação de fatores como a formulação do produto e as condições de armazenamento refrigerado mostrou-se eficaz para manter a estabilidade dos probióticos, reforçando o potencial desse alimento como uma alternativa funcional e inovadora.

O grupo PG apresentou um pH de  $3,15 \pm 0,05$ , valor considerado desfavorável para a viabilidade de probióticos. No entanto, observou-se um bom crescimento das colônias bacterianas, possivelmente devido à concentração dos probióticos no revestimento de gelatina, cuja solução apresentava pH 7,4, resultando em um produto final com pH mais elevado que o grupo C. A espécie *L. rhamnosus* tem um pH ideal de crescimento em torno de 6,9, mas demonstra capacidade de adaptação a condições ácidas, modulando seu metabolismo para reduzir a produção de lactato e aumentar a de acetil-CoA, além de produzir antígenos de superfície que favorecem sua sobrevivência em ambientes adversos, como o trato gástrico (Koponen *et al.*, 2012; Liew *et al.*, 2005).

A viabilidade de *L. rhamnosus GG* em filmes com resíduos agroindustriais é influenciada pelo pH, com maiores perdas celulares em filmes de pH mais baixo, como aqueles com casca de marmelo (pH ~4,0) e casca de laranja (pH ~4,8) (COIMBRA et al., 2023). Filmes de pectina com pH entre 6 e 6,3 apresentaram menores perdas, enquanto valores próximos a 4 resultaram em reduções drásticas de viabilidade (SOUKOULIS et al., 2017). Por outro lado, pH inferior a 4,5 em polpas pode aumentar a resistência a contaminações microbianas, preservando a qualidade sem necessidade de tratamentos térmicos intensos (Azeredo et al., 2012; Castro et al., 2015).

Em relação à acidez titulável, os valores inferiores de PG em comparação ao grupo C eram esperados, devido à solução probiótica com pH 7,4. Já os sólidos solúveis menores em PG podem ser atribuídos à presença do revestimento de gelatina, que reduz a proporção de polpa no estruturado. Carvalho et al. (2008) analisaram 50 amostras de cajá-umbu, encontrando valores médios de pH 2,8, 10,1 °Brix de sólidos solúveis e 1,7% de ácido cítrico. O pH do estruturado deste estudo foi intermediário ao da polpa, enquanto a acidez titulável foi próxima, porém menor, e os sólidos solúveis foram superiores devido à adição de açúcar. Esses resultados reforçam a viabilidade do estruturado de cajá-umbu como um produto funcional, capaz de manter a estabilidade dos probióticos mesmo em condições desafiadoras.

As quantidades de açúcares redutores apresentaram diferenças significativas entre as amostras, enquanto os açúcares totais não variaram, sendo ambos superiores aos valores reportados por Santos et al. (2010), que encontraram 7,49% para açúcares totais e 4,12% para redutores. A presença de glicose desempenha um papel crucial na proteção dos probióticos, aumentando a viabilidade de *L. rhamnosus GG* em condições adversas, como no suco gástrico simulado com pH 2,0. Estudos demonstram que a adição de glicose (19,4 mM) elevou a sobrevivência das células em até 6 log UFC/g após 90 minutos de exposição, sendo esse açúcar o principal responsável pelo aumento da viabilidade, mesmo em contato direto com ácido clorídrico diluído. Esse efeito protetor da glicose foi observado em diversas cepas de *Lactobacillus*, embora em diferentes faixas de pH. O mecanismo envolvido sugere que a glicose fornece ATP à enzima F0F1-ATPase por meio da glicólise, facilitando a expulsão de prótons e, consequentemente, aumentando a resistência das células durante o trânsito gástrico (Corcoran et al., 2005). Assim, a presença de açúcares no produto não apenas contribui para suas características sensoriais, mas também atua como um fator protetor essencial para a viabilidade dos probióticos, reforçando o potencial funcional do alimento.



O valor de vitamina C (Vit C) encontrado no grupo PG foi de  $6,32 \pm 1,36$  mg/100 g, o que demonstra a capacidade do produto em conservar esse nutriente essencial mesmo após o processamento. É importante destacar que os teores de vitamina C em frutas podem variar significativamente, dependendo das condições de cultivo e do processamento da polpa. Um exemplo disso é o estudo de Carvalho *et al.* (2008), que analisou 50 amostras de cajá-umbu de diferentes localidades e encontrou uma média de 10,4 mg/100 g, com valores variando entre 3,8 mg/100 g e 16,4 mg/100 g. Essa variação evidencia a influência de fatores ambientais e de manejo na composição nutricional das frutas. O valor obtido para PG está dentro da faixa descrita na literatura, reforçando que o processo de desenvolvimento do estruturado preserva adequadamente a vitamina C do cajá-umbu, um aspecto crucial para a qualidade nutricional do produto.

Em relação aos flavonoides amarelos (FA), o grupo PG apresentou um resultado de  $3,18 \pm 0,61$  mg/100 mL, sem diferença significativa em comparação ao grupo C. Esse valor foi superior ao encontrado por Oliveira *et al.* (2020), que reportou 2,94 mg/100 g para a polpa de cajá-umbu. Esse resultado indica que o processo de elaboração do estruturado de cajá-umbu com probióticos não compromete a quantidade de flavonoides amarelos, mantendo assim suas propriedades funcionais. A presença desses compostos bioativos, aliada à conservação da vitamina C, reforça o potencial do estruturado como um alimento funcional.

Em relação aos teores de polifenóis e à atividade antioxidante, avaliados pelos métodos ABTS e FRAP, as amostras PG apresentaram valores inferiores aos observados em C. Esses resultados sugerem que, durante o desenvolvimento dos estruturados, ocorrem perdas desses compostos funcionais, seja pela incorporação de probióticos ou pela adição do revestimento de gelatina, que ocupa uma porção do estruturado, reduzindo assim as concentrações dos compostos bioativos. Apesar disso, a análise de polifenóis realizada por Gondim (2012) indica que o valor encontrado para as amostras PG (40,26 mg EAG/100 g) é positivo, aproximando-se dos valores descritos na literatura para o cajá-umbu. Em relação à atividade antioxidante, Dutra *et al.* (2017) observaram que a polpa de cajá-umbu apresentou um valor de FRAP de 12,715  $\mu$ M sulfato ferroso/g, superior ao do estruturado deste estudo. Já no método ABTS, Oliveira *et al.* (2020) encontraram um valor intermediário de 4,93  $\mu$ M de Trolox/g, reforçando o potencial antioxidante dessa fruta.

Os antioxidantes desempenham um papel fundamental em produtos alimentícios, sendo sua eficácia influenciada por fatores como temperatura, composição, estrutura e exposição ao oxigênio. A faixa de temperatura em que a atividade antioxidante é relevante varia

amplamente, desde 180 a 200°C para óleos de fritura até aproximadamente 5°C para produtos refrigerados, como margarina e maionese (Gordon, 2001). Estudos demonstram que o tratamento térmico pode potencializar a atividade antioxidante em certos alimentos. Por exemplo, a exposição de extratos de cascas de frutas cítricas a 150°C por 60 minutos aumentou significativamente sua atividade antioxidante (Jeong *et al.*, 2004). No caso do mel, a atividade antioxidante e a formação de pigmentos marrons são intensificadas com o aumento da temperatura e do tempo de tratamento, sendo 70°C mais eficaz do que 50°C ou 60°C (Turkmen *et al.*, 2006). Da mesma forma, no mel de jujuba iraniano, o aquecimento a 65°C mostrou-se mais eficaz no aumento da atividade antioxidante, do conteúdo fenólico e da formação de pigmentos marrons em comparação com temperaturas mais baixas (Molaveisi *et al.*, 2019).

Esses dados reforçam o potencial do cajá-umbu como matéria-prima para o desenvolvimento de alimentos funcionais, destacando-se não apenas por seus compostos bioativos e atividade antioxidante, mas também por seu apelo gastronômico. A combinação de suas propriedades funcionais com a versatilidade culinária abre caminho para a criação de produtos inovadores, que atendam tanto às demandas por saúde e bem-estar quanto às expectativas sensoriais dos consumidores.

### 5.3.4 Parâmetros de cor

Os parâmetros de cor (Tabela 7) analisados no presente trabalho foram realizados nas faces voltadas ao revestimento de gelatina contendo os probióticos (PGe) e na porção do estruturado contendo cajá-umbu e goma gelana (PGg), tendo em vista que o revestimento contendo probiótico se encontra na parte de superior do estruturado e a parte inferior (PGg) ser idêntico ao controle, não precisando assim da comparação da mesma.

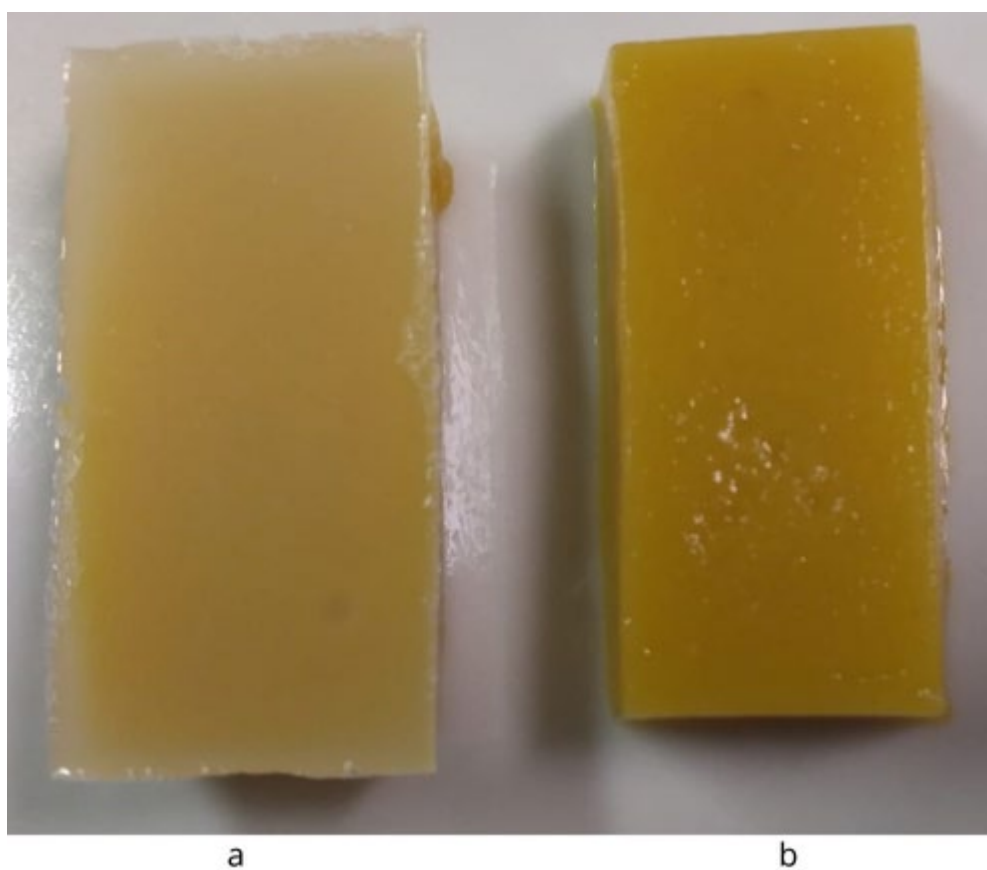
Tabela 7 - Parâmetros de cor do estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG).

Parâmetros	PGe	PGg	p-valor
L*	41,23 ± 0,39 a*	38,96 ± 0,82 b	0,000057
a*	4,20 ± 0,04 a	3,97 ± 0,10 b	0,000327
b*	30,67 ± 0,29 a	26,32 ± 1,10 b	0,000003
C*	30,96 ± 0,29 a	26,63 ± 1,09 b	0,000003
h	82,16 ± 0,05 a	81,11 ± 0,24 b	0,000001

Fonte: próprio autor, 2024. \*Médias ± Desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de t de Student ( $p < 0,05$ ). PGe = Estruturado com probióticos livres no revestimento de gelatina, superfície de goma gelana e polpa; PGg = Estruturado com probióticos livres no revestimento de gelatina, superfície do revestimento de gelatina.

A amostra PGg apresentou os valores menores em todos os aspectos, como o valor de  $L^*$  indicando a menor luminosidade da matéria comparada a PGe. Para os valores de  $a^*$  que são os níveis de vermelho, enquanto os valores de  $b^*$  são os níveis de amarelo,  $C^*$  significa a saturação e por fim os valores de  $h$  que representa a tonalidade. Os resultados obtidos indicam que o estruturado de cajá-umbu com probiótico é um produto com luminosidade evidente, principalmente na porção com cajá-umbu, e maior presença predominância da cor amarela em oposição da baixa presença da cor vermelha, porém, a diferença significativa entre as duas porções formadoras do estruturado são perceptíveis e podem influenciar na percepção dos futuros consumidores, como podemos observar na Figura 16.

Figura 16 - Superfícies do estruturado de cajá-umbu com probiótico em revestimento de gelatina.



Fonte: Próprio autor, 2024. a = Superfície do estruturado de cajá-umbu contendo revestimento de gelatina (PGg); b = Superfície do estruturado de cajá-umbu contendo mistura de polpa de cajá-umbu com goma gelana LA e HA (PGe).

Carvalho, Mattietto e Beckman (2017) obtiveram valores de  $L^*$ , 32,52,  $a^*$ , 11,01 e  $b^*$ , 5,11 para bebida de frutas tropicais contendo 10% de cajá-umbu e Oliveira *et al.* (2014), obtiveram  $L^*$ , 12,24,  $a^*$ , 12,08 e  $b^*$ , 20,17, para geleia de cajá-umbu (60%). Os produtos

citados apresentam valores de  $a^*$  superiores e  $b^*$  inferiores que o estruturado de cajá-umbu com probiótico e a indicação de que esses produtos possuem cor amarelo-alaranjada, grau de luminosidade também é inferior. Em relação a esses parâmetros de cor discutidos, podemos observar que o estruturado de cajá-umbu com probiótico é um produto que preserva as características de cor superiores aos outros produtos aqui citados.

Leal et al. (2021) desenvolveram estruturados de mix de frutas, utilizando como base a manga em combinação com outras frutas (manga com cajá, manga com caju e manga com acerola), além de diferentes proporções de goma gelana de baixa e alta acilação e um grupo com ágar. O estudo demonstrou que a composição dos estruturados, em relação às frutas e hidrocoloides, influenciou significativamente os parâmetros de cor do produto. A escolha das frutas impactou diretamente nas características cromáticas, evidenciada pelos valores distintos encontrados: o grupo de manga com caju apresentou maior luminosidade ( $L^*$ ), enquanto o de manga com acerola obteve o menor valor. No parâmetro  $a^*$ , que indica a intensidade do vermelho, o grupo de manga com acerola destacou-se com o maior valor, enquanto, em  $b^*$ , que representa o amarelo, o grupo de manga com cajá obteve o maior valor. Em relação à saturação de cor ( $C^*$ ), o grupo de manga com cajá também apresentou o maior valor, seguido pelo de manga com caju. Já no parâmetro  $h$  (matiz), o comportamento foi inverso, com o maior valor registrado para o grupo de manga com caju, enquanto o de manga com acerola apresentou valores significativamente inferiores nos dois últimos parâmetros. Quanto às diferentes proporções de hidrocoloides, destacou-se o grupo de manga com cajá, por sua semelhança com o objeto de estudo do presente trabalho. Nesse grupo, os valores de  $L^*$  e  $a^*$  foram superiores nos estruturados em comparação ao mix das polpas de frutas, enquanto os demais parâmetros foram inferiores. Vale ressaltar que os valores encontrados no estruturado de cajá-umbu com probiótico foram inferiores em todos os parâmetros analisados. Esses resultados evidenciam que as características de cor dos estruturados de frutas podem variar conforme os componentes utilizados em sua formulação, o que pode influenciar diretamente na aceitação do produto pelo consumidor, uma vez que a cor é um atributo sensorial crucial na percepção e preferência do mercado.

#### **5.3.5 Avaliação instrumental de textura (APT)**

A análise de textura dos estruturados de cajá-umbu com probiótico foi medida no lado voltado para o revestimento de gelatina e apresentou diferença significativa em todos os parâmetros estudados, conforme exposto na Tabela 8. O valor de dureza medido no grupo C foi inferior comparado ao PG, o outro parâmetro em que o valor de PG foi superior foi a

elasticidade, enquanto a adesividade e coesividade do revestimento de gelatina superiores em C, isso indica que é necessário aplicação de maior força para romper a superfície de PG, que adere com menor intensidade à estrutura que fez seu rompimento e que a superfície da amostra retorna a sua forma antes da aplicação de força em comparação ao grupo C. É evidente a diferença de textura entre o estruturado de cajá-umbu com probiótico do controle, muito devido ao revestimento de gelatina que contém os probióticos, principalmente pelo fato do estruturado possuir duas fases com texturas diferentes e bem definidas,

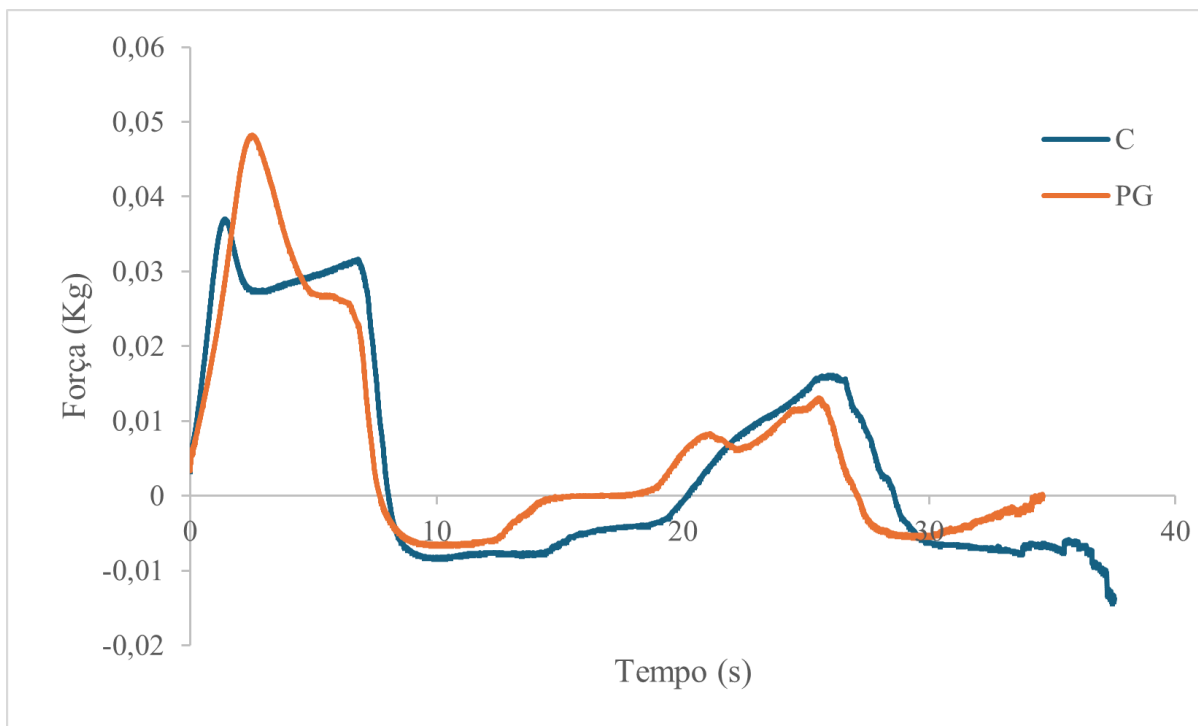
Tabela 8 - Parâmetros de textura do estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG).

Parâmetros	C	PG	p-valor
Dureza (gf)	38,51 ± 6,21 b	49,69 ± 7,55 a	0,000000
Adesividade (gf/s)	75,49 ± 17,51 a	33,68 ± 8,62 b	0,000000
Coesividade	0,40 ± 0,02 a	0,30 ± 0,03 b	0,000000
Elasticidade	0,96 ± 0,02 b	1,06 ± 0,21 a	0,009179

Fonte: próprio autor, 2024. \*Médias ± Desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de t de Student ( $p < 0,05$ ). C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado de cajá-umbu com probióticos livres em revestimento de gelatina.

A Figura 17 ilustra graficamente o comportamento da força aplicada aos estruturados pelo texturômetro ao longo do tempo, revelando diferenças significativas entre as amostras. No início da análise, registra-se a força necessária para romper a superfície dos estruturados, com a penetração de um êmbolo, marcando o primeiro pico do gráfico. Em um segundo momento, ao retirar o êmbolo, observa-se que é necessário aplicar uma força maior no sentido contrário para a amostra C, indicando maior resistência em comparação à PG, além de uma adesão mais intensa ao êmbolo. No terceiro momento, quando o êmbolo penetra novamente nas amostras, nota-se que é necessária menos força e menos tempo para causar a mesma deformação inicial, sugerindo que a amostra C mantém maior resistência à segunda deformação. Esses resultados indicam que a percepção de textura ao mastigar pode variar entre as amostras, com C apresentando uma textura mais firme e aderente, enquanto PG demonstra uma consistência menos resistente, o que pode influenciar na experiência sensorial do consumidor.

Figura 17 - Comportamento da aplicação de força no teste de textura do estruturados de cajá-umbu controle e no contendo revestimento de gelatina com probiótico.



Fonte: próprio autor, 2024. C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado com probióticos livres em revestimento de gelatina.

O trabalho desenvolvido por Danalache *et al.* (2015) analisaram os parâmetros de textura de estruturado de manga com diferentes proporções de goma gelana de baixa e alta acilação e encontraram que a dureza apresentava maior valor nos grupos com prevalência da goma gelana de baixa acilação, porém a mistura das duas tem o maior valor, comportamento contrário a coesividade onde os grupos com a prevalência de goma gelana de alta acilação apresentaram maiores valores, para elasticidade o grupo que apresentou maior elasticidade foi da misturada de goma gelana de baixa e alta acilação, na proporção 25% e 75%, respectivamente. Os diferentes componentes presentes, no caso proporções diferentes de goma gelana, influenciam nos parâmetros de textura dos estruturados, podendo interferir na aceitação do produto.

Segundo o trabalho de da Costa *et al.* (2020) que desenvolveram estruturado de goiaba com ágar como o hidrocoloide de um grupo e dos outros a goma gelana, variando a proporção de baixa e alta acilação mostrou diferença nos parâmetros de textura entre os grupos estudados. A amostra com ágar apresentou o menor valor de dureza enquanto a amostra com goma gelana 75L/25H teve 1,21, valor intermediário em relação às demais amostras, a adesividade do grupo 75L/25H também apresentou valor intermediário em relação as outras

amostras, 59,39, porém os valores foram maiores com a maior proporção de goma gelana de baixa acilação, já os parâmetros de elasticidade e coesividade, 0,98 e 0,33, respectivamente, não apresentaram diferença significativa entre os grupos. Utilizar hidrocoloides de natureza diferentes também influenciam na textura dos estruturados e a utilização da mistura de goma gelana de baixa e alta acilação, na proporção 75% e 25%, respectivamente se mostra um interessante para a produção desse tipo de produto, apesar de não apresentar os maiores valores em todos os aspectos.

Leal *et al.* (2021) desenvolveram estruturados de mix de polpas, mas tendo a manga como base (cajá, caju e acerola), além de testaram diferentes proporções de goma gelana de baixa e alta acilação e um grupo com ágar e observaram diferenças nos parâmetros de textura. A dureza do estruturado de manga com cajá não teve diferença significativa entre os diferentes hidrocoloides, já para o estruturado de manga com caju somente o grupo com 100% de goma gelana de baixa acilação teve valor diferente dos demais e superior, no estruturado de manga com acerola as amostras com 100% e 75% de goma gelana de baixa acilação apresentaram valores maiores que os demais, a elasticidade e coesividade não houve diferença significativa entre as amostras. A presença de frutas diferentes na produção de estruturados pode interferir na dureza desses produtos, a predominância da manga pode ser um fator mais impactante na estabilidade da elasticidade e coesividade dos estruturados.

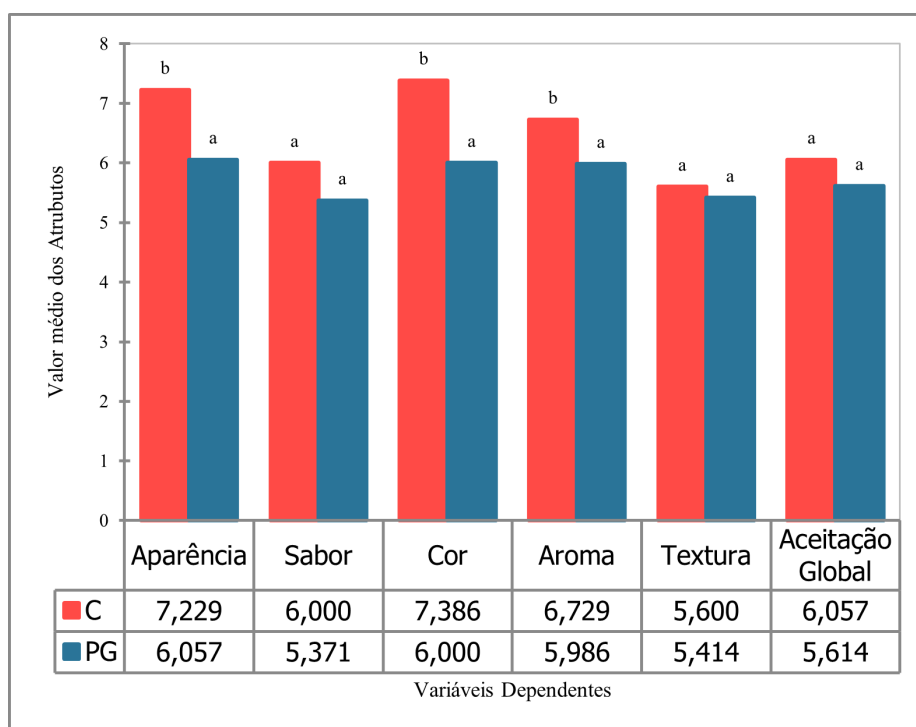
A comparação dos valores de textura dos estruturados deste estudo com outros trabalhos não é direta, pois as condições analíticas diferem, como o uso de um êmbolo de 6 mm de diâmetro, enquanto outros estudos utilizaram êmbolos de 60 mm. No entanto, é possível discutir o comportamento da textura com base nos resultados obtidos. Observa-se que os diferentes componentes dos estruturados, como frutas e hidrocoloides, além das proporções utilizadas, influenciam significativamente os parâmetros de textura, o que explica as diferenças entre o grupo C (probiótico) e PG. Essas diferenças são evidentes no comportamento da força aplicada ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 17. Nota-se que é necessária maior força para penetrar o revestimento de gelatina, seguida de maior resistência na retirada do êmbolo, enquanto a segunda penetração exige menos força. Essa variação de textura entre os lados da mesma amostra pode impactar a aceitação ao consumo, destacando a importância da consistência e da firmeza do estruturado probiótico como fatores sensoriais relevantes.

### 5.3.6 Análise sensorial

#### 5.3.6.1 Teste de aceitação

No teste de aceitação foram obtidos como resultados as médias das avaliações correspondentes de cada amostra, como expostos na Figura 18. Apenas 3 atributos diferiram significativamente entre as amostras, “Aparência”, “Cor” e “Aroma”, em que todos apresentaram médias superiores para o grupo C. As notas do atributo “Aparência” foram entre 7 e 8 para C e entre 6 e 7 para PG, para “Cor” foi entre 7 e 8 para C enquanto para PG foi 6, o “Aroma” apresentou nota entre 6 e 7 para C e entre 5 e 6 para PG. O valor médio das notas dos demais atributos foram entre 5 e 6 para ambas as amostras. Dessa forma concluímos que nos aspectos relacionados com o visual e aroma as amostras contendo probióticos apresentaram menor aprovação do produto, porém não afetou na aceitação global.

Figura 18 - Histograma comparando as médias dos valores de cada atributo do teste de aceitação do estruturado de cajá-umbu controle (C) e estruturado de cajá-umbu com probióticos livres no revestimento de gelatina (PG).



Fonte: próprio autor, 2024. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado com probióticos livres no revestimento de gelatina.



Silva, Carvalho e Pinto (2009) desenvolveram estruturados com mix entre cajá e goiaba, três amostras que diferiram pela proporção das frutas, preparados com a adição de açúcar, pectina, alginato e gelatina, os resultados da análise sensorial foram notas entre 7 e 8 para os atributos de “Aparência”, “Aroma”, “Textura”, “Sabor” e “Impressão Global”. No trabalho de Oliveira *et al.* (2010) foi feito estruturado de cupuaçu os demais ingredientes utilizados foram os mesmo que o citado anteriormente, onde o resultado foi parecido com notas entre 6 e 8 dos mesmos atributos, resultados similares a estes também foram encontrados por Oliveira *et al.* (2012) que desenvolveram estruturados de abacaxi. Ao comparar, estruturados desenvolvidos no presente trabalho apresentaram aceitação um pouco inferior aos citados neste parágrafo, porém próximos, isso indica que apesar de serem produzidos com materiais diferentes e frutas diferentes, o produto estruturado de fruta tem boa aceitação, inclusive o de cajá-umbu com probiótico.

Da Costa *et al.* (2020b) desenvolveram estruturados de goiaba com diferentes proporções de goma gelana de baixa e alta acilação, além de um grupo composto somente por ágar e observaram que os atributos “Cor”, “Aroma”, “Sabor” e “Aceitação Global” não divergiram em notas entre as amostras, sendo “Cor” com nota por volta de 7, “Aroma” 6, “Sabor” e “Aceitação Global” por volta de 5. Em relação a “Aparência” e “Textura”, o único grupo que em média teve nota inferior aos demais, 5 para ambos os atributos, foi o contendo goma gelana 50% de baixa e 50% de alta acilação apresentou a menor avaliação, apresentando nota inferior de 1 ponto em relação aos demais grupos. De modo geral os estruturados de goiaba apresentaram as notas dos atributos “Sabor” e “Aceitação Global” inferiores aos estruturados de cajá-umbu com probióticos e os atributos “Aparência” e “Cor” foram superiores, podemos inferir que os estruturados desenvolvidos no presente estudo apresentam boa aceitação comparado a outros produtos parecidos, menos aos aspectos visuais pois tem menor aprovação.

No que diz respeito ao atributo “Textura”, a amostra com revestimento de gelatina não apresentou diferença significativa na aceitação em comparação ao grupo controle, divergindo dos resultados apresentados na Tabela 8 e no comportamento resultante da aplicação de força nas amostras no decorrer do tempo, Figura 17. Esse resultado ressalta o potencial gastronômico do produto estruturado, uma vez que, mesmo com a percepção de diferenças texturais, isso não comprometeu a aceitação pelos provadores, indicando que a textura pode ser ajustada sem prejudicar a experiência sensorial. Portanto, o estudo evidencia a viabilidade do estruturado probiótico como um produto alimentício com boa aceitação ao consumi-lo.

O estruturado de cajá-umbu com probiótico se consolida como um produto alimentício de qualidade, embora sua aceitação sensorial tenha sido levemente boa. Os atributos "Aparência" e "Cor" obtiveram avaliações um pouco abaixo em comparação ao grupo controle, principalmente devido à presença do revestimento de gelatina, que impactou a percepção visual do produto. Esse revestimento resultou em uma amostra com duas fases distintas, diferentemente do controle, que apresentava um aspecto homogêneo. Em relação aos parâmetros de cor, observou-se que todas as características analisadas no revestimento de gelatina diferiram significativamente das do estruturado de cajá-umbu, o que corrobora os dados do teste de aceitação, que destacaram a percepção clara das duas fases na amostra com probiótico. Dessa forma, o aspecto visual mostrou-se o fator mais determinante na aceitação do produto, sendo a divisão em duas fases e a influência da gelatina os elementos que podem ter reduzido seu apelo estético. Apesar disso, o estruturado de cajá-umbu com probiótico mantém boa aceitação global e assim apresentando características que o destacam como um bom produto alimentício, com potencial para ajustes visuais que possam ampliar sua atratividade junto ao consumidor.

#### 5.3.6.2 Teste CATA

O teste CATA, realizado com um total de 32 atributos, identificou que 12 deles apresentaram diferenças significativas entre as amostras, conforme detalhado na Tabela 9. Esses atributos destacam características distintas, porém complementares, que reforçam a qualidade das amostras C e PG como opções viáveis para um novo alimento. No grupo C, foram associados atributos como "Cor amarela vívida", "Homogêneo", "Encorpado", "Aroma frutado", "Aroma de cajá", "Aroma de cajá-umbu", "Gosto ácido" e "Sabor de umbu", que evidenciam uma aparência vibrante, textura consistente e aromas e sabores marcantes e identificáveis. Por sua vez, o grupo PG foi relacionado a atributos como "Cor amarela clara", "Heterogêneo", "Aroma não identificado" e "Sabor diluído", que sugerem um perfil sensorial mais suave e diferenciado.

Tabela 9 - Atributos do teste CATA indicados pelos provadores avaliando os estruturados de cajá-umbu controle (C) e potencialmente probiótico (PG) utilizando o teste de Cochran Q para diferenciar as amostras.

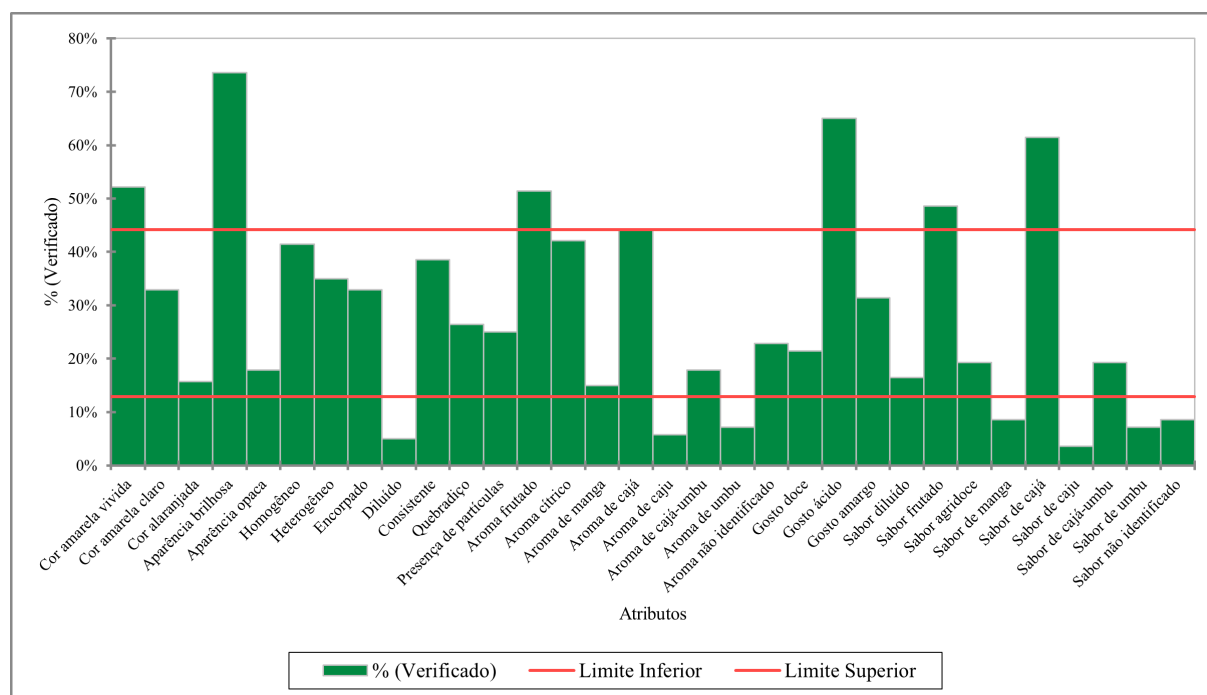
Atributos	Quantidade de provadores que		p-valor
	indicaram cada atributo		
	C	PG	
Cor amarela vivida	48 a*	27 b	<0,0001

<b>Cor amarela claro</b>	<b>11 b</b>	<b>36 a</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Cor alaranjada	16 a	6 a	0,012
Aparência brilhosa	52 a	56 a	0,835
Aparência opaca	11 a	14 a	0,491
<b>Homogêneo</b>	<b>43 a</b>	<b>15 b</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Heterogêneo</b>	<b>7 b</b>	<b>42 a</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Encorpado</b>	<b>32 a</b>	<b>15 b</b>	<b>0,001</b>
Diluído	3 a	4 a	0,705
Consistente	29 a	26 a	0,549
Quebradiço	17 a	21 a	0,371
Presença de partículas	16 a	19 a	0,439
<b>Aroma frutado</b>	<b>43 a</b>	<b>30 b</b>	<b>0,005</b>
Aroma cítrico	34 a	27 a	0,144
Aroma de manga	11 a	10 a	0,782
<b>Aroma de cajá</b>	<b>38 a</b>	<b>25 b</b>	<b>0,028</b>
Aroma de caju	3 a	5 a	0,414
<b>Aroma de cajá-umbu</b>	<b>16 a</b>	<b>9 b</b>	<b>0,020</b>
Aroma de umbu	6 a	4 a	0,414
<b>Aroma não identificado</b>	<b>8 b</b>	<b>24 a</b>	<b>0,002</b>
Gosto doce	14 a	16 a	0,564
<b>Gosto ácido</b>	<b>51 a</b>	<b>41 b</b>	<b>0,025</b>
Gosto amargo	22 a	23 a	0,827
<b>Sabor diluído</b>	<b>7 b</b>	<b>17 a</b>	<b>0,008</b>
Sabor frutado	36 a	34 a	0,637
Sabor agridoce	12 a	15 a	0,467
Sabor de manga	8 a	4 a	0,206
Sabor de cajá	47 a	40 a	0,162
Sabor de caju	3 a	2 a	0,655
Sabor de cajá-umbu	15 a	12 a	0,366
<b>Sabor de umbu</b>	<b>7 a</b>	<b>3 b</b>	<b>0,046</b>
Sabor não identificado	5 a	7 a	0,414

Fonte: próprio autor, 2024. Valores seguidos da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Cochran Q ( $p < 0,05$ ). C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado de cajá-umbu com probióticos livres em revestimento de gelatina.

A Figura 19 apresenta a porcentagem de marcação de cada atributo no formulário CATA em relação ao total, destacando as diferenças entre as duas amostras. Atributos como “Diluído”, “Aroma de caju”, “Aroma de umbu”, “Sabor de manga”, “Sabor de caju”, “Sabor de umbu” e “Sabor não identificado” tiveram poucas marcações, indicando que possuem baixa relevância na caracterização das amostras. Por outro lado, os atributos “Cor amarela vívida”, “Aparência brilhosa”, “Aroma frutado”, “Gosto ácido”, “Sabor frutado” e “Sabor de cajá” foram amplamente marcados, demonstrando sua forte associação com o produto. Esses atributos, que destacam a cor vibrante, a aparência atrativa, os aromas e sabores frutados e a acidez equilibrada, são os que melhor caracterizam e definem a identidade sensorial do produto, reforçando suas qualidades e apelo ao consumidor.

Figura 19 - Percentual de marcação total dos atributos do CATA (*Check-All-That-Apply*).



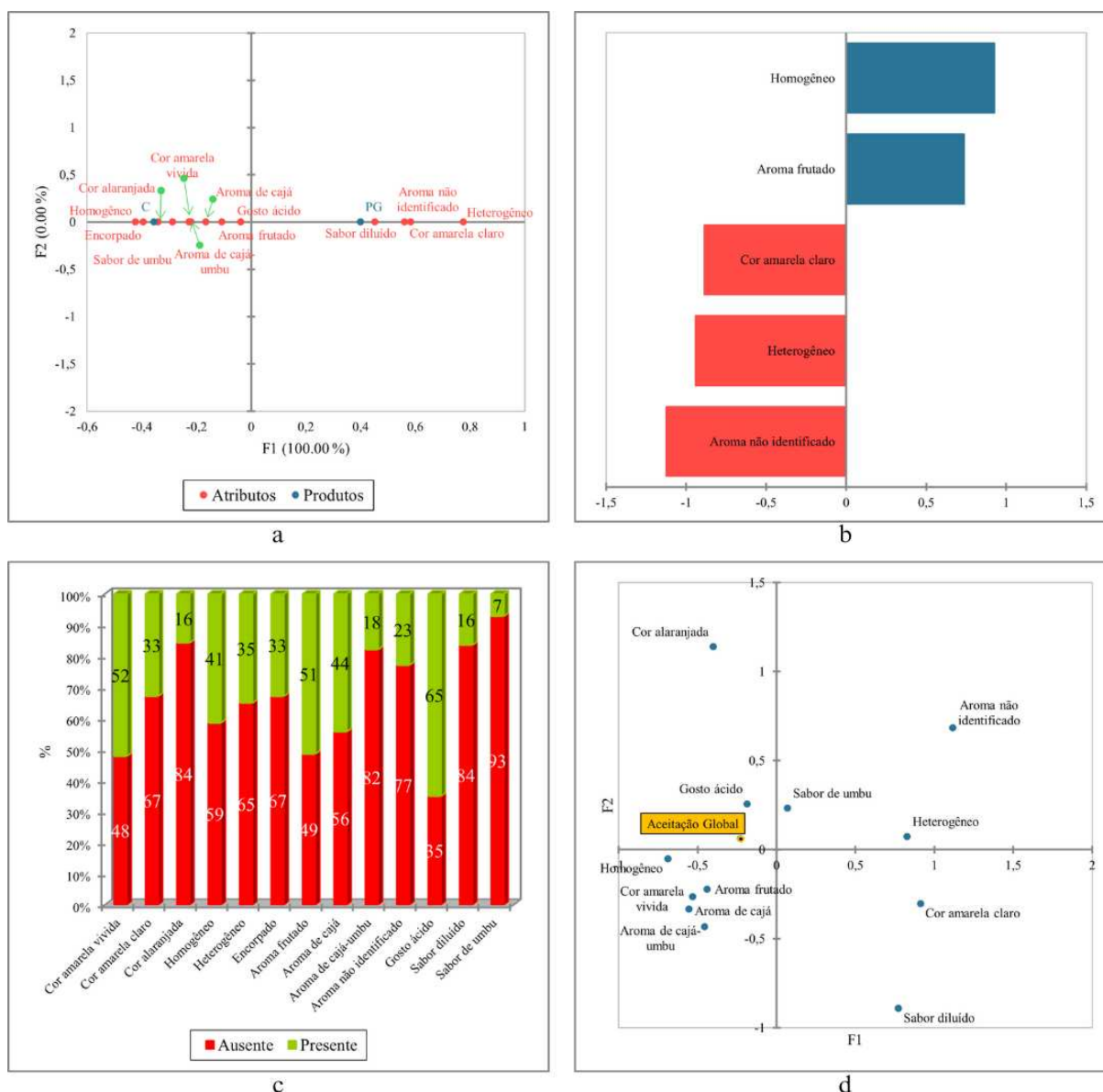
Fonte: próprio autor, 2024.

A análise da Tabela 9 e da Figura 19 permite observar que todos os atributos foram marcados pelos provadores como indicadores de caracterização das amostras de estruturado, embora alguns tenham se mostrado mais relevantes do que outros. Isso confirma que a seleção dos atributos, realizada por meio do grupo de foco, foi bem-sucedida. A presença de atributos relacionados ao aroma e sabor de frutas que não compõem a formulação dos estruturados está alinhada com o exposto no item 5.7.1, que aborda a quantidade de açúcar adicionado à formulação. A escolha de 12 °Brix, valor intermediário, foi justificada pelo fato de que, mesmo as amostras com 15 °Brix apresentando maior aceitação, o aumento da concentração de açúcar

reduziu a percepção sensorial da fruta utilizada no preparo. Apesar de presentes, os atributos relacionados ao aroma e sabor de frutas não incluídas na formulação tiveram baixa frequência de marcação, com exceção daqueles associados ao aroma e sabor de cajá. Isso sugere que os provadores tiveram dificuldade em distinguir claramente o aroma e o sabor do cajá-umbu, reforçando a similaridade sensorial entre esses elementos.

A Figura 20a apresenta os resultados da análise de componentes principais aplicada aos atributos do CATA que demonstraram diferenças significativas entre as amostras. O Fator 1 (F1) representa 100% da variância dos dados, permitindo observar que as amostras estão bem distanciadas e os atributos dispersos, com alguns mais próximos de cada amostra. Entre os atributos com diferença significativa, “Homogêneo” e “Aroma frutado” destacam-se como os de maior impacto para a amostra C, enquanto “Cor amarelo claro”, “Heterogêneo” e “Aroma não identificado” estão mais associados à amostra PG, conforme ilustrado na Figura 20b. Esses atributos são fundamentais para diferenciar as amostras, evidenciando suas características sensoriais distintas. Apesar de alguns atributos, como “Sabor de umbu”, apresentarem alta taxa de ausência nas marcações dos provadores (93% de ausência, conforme Figura 20c), e estarem abaixo do limite inferior na Figura 19, o que indica baixa relevância na caracterização geral do estruturado de cajá-umbu, eles ainda desempenham um papel importante na distinção entre as amostras. Dessa forma, mesmo com atributos menos marcantes, as diferenças sensoriais entre as amostras C e PG são claramente evidenciadas, cada uma com seu perfil único e características que as diferenciam de maneira equilibrada.

Figura 20 - Gráficos da análise de CATA (*Check-All-That-Apply*) dos estruturados de cajá-umbu.



Fonte: próprio autor, 2024. a = Análise de Componente Principal (ACP) para estruturado de cajá-umbu com probiótico e atributos CATA dos estruturados; b = Análise de Componente Principal (ACP) para aceitação global do estruturado de cajá-umbu com probiótico e atributos CATA dos estruturados; c = Percentual de frequência da presença dos atributos com diferença significativa entre as amostras do CATA; d = Impacto médio dos atributos que mais caracterizam as amostras. C = Estruturado de cajá-umbu (Controle); PG = Estruturado de cajá-umbu com probióticos livres em revestimento de gelatina.

A Figura 20d apresenta os resultados da análise de componentes principais, relacionando os atributos do CATA que apresentaram diferença significativa entre as amostras com a aceitação global do produto. Observa-se que alguns atributos estão concentrados próximos à marcação de aceitação global, como “Gosto ácido”, “Sabor de umbu”, “Homogêneo”, “Cor amarela vívida”, “Aroma frutado”, “Aroma de cajá” e “Aroma de cajá-

umbu”. Esses atributos são indicativos de um produto alimentício ideal, pois refletem características desejáveis, como sabor equilibrado, aparência atrativa, textura consistente e aromas marcantes e identificáveis, que contribuem para a boa aceitação dos estruturados. Por outro lado, atributos como “Cor alaranjada”, “Aroma não identificado”, “Heterogêneo”, “Cor amarelo claro” e “Sabor diluído” estão mais distantes da aceitação global, indicando que contribuem menos para a percepção positiva do produto.

Leal et al. (2021), ao desenvolverem estruturados com mistura de polpas utilizando manga como base combinada com cajá, caju e acerola, observaram que os atributos “Homogêneo”, “Brilhante”, “Gelatinoso” e “Gosto azedo” foram os mais citados pelos provadores para caracterizar as amostras de manga com cajá e manga com acerola. Além disso, as cores “amarelada” e “alaranjada” foram marcadas como indicativas dessas amostras, respectivamente. Para a amostra ideal de manga com cajá, os atributos mais relacionados foram “Sabor de manga”, “Firme”, “Homogêneo”, “Brilhante” e “Presença de líquido”. Essas características reforçam o apelo atrativo dos estruturados como bons alimentos, destacando aspectos como textura consistente, aparência brilhante e sabores bem definidos. No caso dos estruturados de cajá-umbu, os atributos “Homogêneo” e “Brilhante” também se destacam, alinhando-se às qualidades observadas por Leal et al. (2021). No entanto, o grupo PG apresenta como diferencial o atributo “Heterogêneo”, que, embora distinto, ainda contribui para a diversidade sensorial do produto. Essas características sensoriais, tanto de homogeneidade quanto de heterogeneidade, evidenciam o potencial dos estruturados como alimentos atraentes, capazes de atender a diferentes preferências e expectativas dos consumidores.

Embora o “Sabor” não tenha sido um fator determinante para a aceitação do estruturado, conforme ilustrado na Figura 5, que mostra a ausência de diferença significativa entre as amostras, os atributos relacionados ao sabor desempenham um papel crucial na caracterização do produto. Dentre eles, “Gosto ácido”, “Sabor diluído” e “Sabor de umbu” apresentam diferenças significativas entre as amostras. Na Figura 20a, observa-se que “Sabor diluído” está mais associado à amostra PG, enquanto, na Figura 20b, esse atributo aparece mais distante da “Aceitação Global” em comparação com “Gosto ácido”. Essa preferência pelo caráter ácido é corroborada pelas análises de pH e acidez titulável, que indicam um perfil mais ácido para a amostra C em relação à PG, sugerindo que essa característica é mais apreciada pelos provadores. Já o “Sabor diluído”, mais relacionado à amostra PG, pode ser explicado pela presença do revestimento de gelatina, que, por não ter sabor, pode ter causado a sensação de diluição durante o consumo. Esses resultados destacam que, embora o sabor não seja o principal

fator de aceitação, a acidez equilibrada e a intensidade do sabor são aspectos sensoriais importantes para garantir a boa aceitação do estruturado, reforçando a necessidade de um perfil de sabor bem definido e agradável ao paladar.

Em relação à cor, os participantes da análise sensorial identificaram que as amostras do grupo C apresentavam “Cor amarela vívida”, enquanto as do grupo PG tinham “Cor amarela clara”, o que foi confirmado pela análise colorimétrica. Os valores da coordenada  $b^*$  (30,67 para C e 26,32 para PG) indicam uma tendência ao amarelo em ambas as amostras, com maior intensidade em C, corroborada pelos menores valores de  $a^*$  (4,20 e 3,97), que sugerem uma leve variação para o vermelho, principalmente em C, com indícios de coloração alaranjada, porém pouco intensa. Além disso, as amostras foram caracterizadas como “Homogêneas” (grupo C) e “Heterogêneas” (grupo PG), sendo que atributos como “Cor Amarelo Claro”, “Cor Alaranjado” e “Heterogêneo” estão distantes da “Aceitação Global” na Figura 20d, indicando que contribuem para uma menor aceitação do produto. Os resultados do teste de aceitação, CATA e parâmetros de cor reforçam que o aspecto visual, especialmente a cor e a homogeneidade, tem grande influência na aprovação e no consumo dos estruturados, destacando a importância dessas características para a percepção positiva do produto.

O atributo “Aparência brilhosa” foi o mais marcado no total pelos provadores isso pode ser explicado pelo fato de géis compostos pela mistura de goma gelana LA e HA podem ter sinérese, como o trabalho de Costa *et al.* (2020) que prepararam estruturados de goiaba com proporções diferentes de LA e HA, onde a amostra de 50% para ambos hidrocoloides apresentou exsudato visível.

Os atributos da Figura 20b que tem maior impacto para caracterizar a amostra PG, “Cor amarelo claro”, “Heterogêneo” e “Aroma não identificado”, são atributos que estão mais distantes da aceitação global comparados aos atributos que tem maior impacto para caracterizar a amostra C, “Homogêneo” e “Aroma frutado”. Ou seja, as características mais marcantes da amostra PG que a diferenciam da amostra C, são menos apreciadas pelos provadores, e esses atributos são relacionados a aparência visual, cor e aroma da amostra, concordando com o teste de aceitação que mostrou menor aceitação as características de “Aparência”, “Cor” e “Aroma”.

Em síntese, os resultados deste estudo destacam o potencial gastronômico e funcional do estruturado de cajá-umbu como um alimento inovador, capaz de combinar atratividade sensorial e benefícios nutricionais. A formulação com 12 °Brix mostrou-se adequada, garantindo boa aceitação sensorial sem comprometer o sabor característico da polpa.



Embora alguns atributos, como a aparência visual (cor, aroma e sabor), possam ser aprimorados em pesquisas futuras, o produto já se apresenta como uma opção viável e promissora. A estabilidade dos probióticos e a aceitação sensorial obtidas reforçam que o estruturado pode ser utilizado com sucesso em sobremesas funcionais, ampliando as possibilidades de alimentos saudáveis e gourmet. Essa combinação de características sensoriais atrativas e propriedades probióticas posiciona o estruturado de cajá-umbu como um alimento de alto valor agregado, capaz de atender às demandas por opções nutritivas, saborosas e inovadoras no mercado gastronômico.

#### **5.4 Conclusão**

O estudo evidencia o potencial do estruturado de cajá-umbu como uma sobremesa funcional, que alia características sensoriais agradáveis à oferta de probióticos ao consumidor. A formulação com 12°Brix mostrou-se ideal, garantindo boa aceitação sem a necessidade de adição excessiva de açúcar, preservando o sabor natural da fruta. A caracterização do produto revelou diferenças significativas em compostos bioativos e atividade antioxidante em comparação à polpa original, indicando que o processamento pode potencializar seus benefícios nutricionais.

A incorporação de probióticos no estruturado apresentou desafios, como a estabilidade dos microrganismos durante o armazenamento, mas o produto mostrou-se promissor como alimento funcional. Apesar de diferenças sensoriais entre as amostras, o estruturado com probióticos manteve-se atrativo, destacando-se como uma alternativa viável para diversificar o mercado de alimentos funcionais.

Conclui-se que o estruturado de cajá-umbu com probióticos tem grande potencial para aplicações práticas na gastronomia funcional, podendo ser utilizado em restaurantes e estabelecimentos que buscam oferecer sobremesas nutritivas e inovadoras. Essa proposta atende à crescente demanda por alimentos saudáveis, combinando sabor, textura e benefícios à saúde, posicionando-se como uma opção diferenciada e alinhada às tendências atuais de consumo.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, María Victoria *et al.* Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 137, n. 110483, p. 110483, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110483>.

ATRAKI, Reza; AZIZKHANI, Maryam. Survival of probiotic bacteria nanoencapsulated within biopolymers in a simulated gastrointestinal model. **Innovative food science & emerging technologies: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 72, n. 102750, p. 102750, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102750>.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 326, 2012.

BARBOZA, Henriqueta Talita Guimarães *et al.* Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. e9911931418, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31418>.

BURCA-BUSAGA, Cristina Gabriela *et al.* Survival of *Lactobacillus salivarius* CECT 4063 and stability of antioxidant compounds in dried apple snacks as affected by the water activity, the addition of trehalose and high pressure homogenization. **Microorganisms**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 1095, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8081095>.

CARVALHO, Paulo César Lemos de *et al.* Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 140–147, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452008000100026>.

CARVALHO, Ana Vânia; MATTIETTO, Rafaella de Andrade; BECKMAN, Jacqueline Chaves. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian journal of food technology**, [s. l.], v. 20, n. 0, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.2316>.

CASTELO, Rachel Menezes *et al.* Development and Characterization of Pequi Oil (*Caryocar coriaceum* Wittm.) Microparticles by Vibration Nozzle Encapsulation. **Macromolecular symposia**, [s. l.], v. 394, n. 1, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/masy.202000061>.

CASTRO, Tânia Maria Neves *et al.* Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 74, n. 4, p. 426–436, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.53393/rial.2015.v74.33496>.

CHEN, Ying *et al.* Co-encapsulation of probiotics with acylglycerols in gelatin-gum arabic complex coacervates: Stability evaluation under adverse conditions. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. Pt 3, p. 124913, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124913>.

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: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 103452, p. 103452, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103452>.

CORCORAN, B. M. *et al.* Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments is enhanced in the presence of metabolizable sugars. **Applied and environmental microbiology**, [s. l.], v. 71, n. 6, p. 3060–3067, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.71.6.3060-3067.2005>.

COSTA, Juliana Nascimento da *et al.* Efeito da concentração de hidocoloides nos compostos bioativos, bioacessibilidade e textura instrumental de goiaba (*Psidium guajava* L.) estruturada. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. e95953246, 2020a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3246>.

COSTA, Juliana Nascimento da *et al.* Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance methods. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. suppl 2, p. 496–502, 2020b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.25819>.

DA COSTA, Juliana N. *et al.* Texture, microstructure and volatile profile of structured guava using agar and gellan gum. **International journal of gastronomy and food science**, [s. l.], v. 20, n. 100207, p. 100207, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100207>.

DANALACHE, Florina *et al.* Texture, microstructure and consumer preference of mango bars jellified with gellan gum. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 584–591, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.040>.

DE JESUS, Gabriella Freitas *et al.* Estudos preliminares na formulação de estruturados de mix de polpa de frutas. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**,

[s. l.], v. 2, n. 1, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/revistacsbea/article/view/7320>. Acesso em: 26 fev. 2025.

DE OLIVEIRA RIBEIRO, Ana Paula *et al.* Development of a probiotic non-fermented blend beverage with juçara fruit: Effect of the matrix on probiotic viability and survival to the gastrointestinal tract. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 118, n. 108756, p. 108756, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108756>.

DI MONACO, Rossella *et al.* Strategies to reduce sugars in food. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 19, p. 92–97, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>.

DIAS, Carolinne Odebrecht *et al.* Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food bioscience**, [s. l.], v. 24, p. 26–36, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.006>.

DIAS, Júlia Vitória Barbosa *et al.* Probiotic and synbiotic edible coatings: Effects on *Lactocaseibacillus casei* viability and general quality of minimally processed fruit during storage. **Food bioscience**, [s. l.], v. 56, n. 103144, p. 103144, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103144>.

DOU, Lixue *et al.* Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 118, p. 1377–1383, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.121>.

DUTRA, Rodrigo Luiz Targino *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 100, n. Pt 1, p. 650–657, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.047>.

FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. *In*: **Anthocyanins as food colors**. [S. l.]: Elsevier, p. 181–207, 1982.

GHALEHJOOGHI, Hossein Dehghani; TAJIK, Hossein; SHAHBAZI, Yasser. Development and characterization of active packaging nanofiber mats based on gelatin-sodium alginate containing probiotic microorganisms to improve the shelf-life and safety quality of silver carp

fillets. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 384, n. 109984, p. 109984, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109984>.

GONDIM, Perla Joana Souza. **Identificação de carotenoides e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante em frutos do gênero Spondias**. 2012. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8034>.

GORDON, Michael H. Measuring antioxidant activity. *In: Antioxidants in food*. [S. l.]: Elsevier, 2001. p. 71–84.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para a análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1050.

JEONG, Seok-Moon *et al.* Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, [s. l.], v. 52, n. 11, p. 3389–3393, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf049899k>.

KOPONEN, Johanna *et al.* Effect of acid stress on protein expression and phosphorylation in *Lactobacillus rhamnosus* GG. **Journal of proteomics**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1357–1374, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2011.11.009>.

LARRAURI, José A.; RUPÉREZ, Pilar; SAURA-CALIXTO, Fulgencio. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 1390–1393, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf960282f>.

LEAL, Amanda Rodrigues *et al.* Elaboration of mixed structured fruit formulations with agar and gellan gum: Texture, physicochemical, and sensory properties. **International journal of gastronomy and food science**, [s. l.], v. 23, n. 100294, p. 100294, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100294>.

LIEW, S. L. *et al.* Optimization of medium composition for the production of a probiotic microorganism, *Lactobacillus rhamnosus*, using response surface methodology. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 102, n. 2, p. 137–142, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.009>.

MALDONADE, Iriani Rodrigues; CARVALHO, Patrícia Gonçalves B.; FERREIRA, Nathalie A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliça pelo método de

DNS. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 85, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81580/1/cot-85.pdf>.

MANDALA, I. G.; PALOGOU, E. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan–starch mixtures. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 27–38, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(01\)00136-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(01)00136-4).

MARSH, Ken B. *et al.* Perception of flavour in standardised fruit pulps with additions of acids or sugars. **Food quality and preference**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 376–386, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.04.011>.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical chemistry**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>.

MOLAVEISI, Mohammad *et al.* Kinetics of temperature effect on antioxidant activity, phenolic compounds and color of Iranian jujube honey. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. e01129, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01129>.

MOZAFFARZOGH, Mahya *et al.* Evaluation of probiotic carboxymethyl cellulose-sodium caseinate films and their application in extending shelf life quality of fresh trout fillets. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 126, n. 109305, p. 109305, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109305>.

OLIVEIRA, Leilanne Márcia Nogueira *et al.* Characterization of rutin, phenolic compounds and antioxidant capacity of pulps and by-products of tropical fruits. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. e42942812, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2812>.

OLIVEIRA, Johnatt Allan Rocha de *et al.* Elaboração e caracterização de estruturado obtido de polpa concentrada de cupuaçu. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 164–170, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2011.023>.

OSBORN, Steve; MARLEY, Wayne. Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs. **Woodhead Publishing**, [s. l.], 2016.

PARN, Ong Joo *et al.* Development of novel fruit bars by utilizing date paste. **Food bioscience**, [s. l.], v. 9, p. 20–27, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2014.11.002>.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology & medicine**, [s. l.], v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

RODRIGUES, F. J. *et al.* Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications - A narrative review. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 137, n. 109682, p. 109682, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682>.

RUFINO, Maria do Socorro Moura *et al.* Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. **Comunicado técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 128, 2007. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot\\_128.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot_128.pdf).

RUFINO, Maria do Socorro Moura *et al.* Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução de ferro (FRAP). **Comunicado técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 125, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/11964/1/cot-125.pdf>.

SABIKHI, Latha *et al.* Resistance of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* LA1 to processing treatments and simulated gut conditions. **Food and bioprocess technology**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 586–593, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-008-0135-1>.

SANTOS, Márcio Barros dos *et al.* Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1089–1097, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452011005000015>.

SILVA, Priscilla Andrade; CARVALHO, Ana Vânia; PINTO, Cleicilene Araújo. Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], n. 51, p. 99–113, 2009. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/658389>.

SINGH, Poonam *et al.* On the viability, cytotoxicity and stability of probiotic bacteria entrapped in cellulose-based particles. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 82, p. 457–465, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.027>.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG in prebiotic edible films. **Food chemistry**, [s. l.], v. 159, p. 302–308, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.008>.

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, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014>.

STROHECKER, Rolf; HENNING, Heinz M. Análises de vitaminas: Métodos comprovados. **Editora Paz Montalvo**, [s. l.], 1967.

TEMIZ, Naime Nur; ÖZDEMİR, Kübra Sultan. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest biology and technology**, [s. l.], v. 173, n. 111433, p. 111433, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111433>.

TURKMEN, Nihal; SARI, Ferda; VELIOGLU, Y. Sedat. Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin–Ciocalteu methods. **Food chemistry**, [s. l.], v. 99, n. 4, p. 835–841, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.034>.

VÁZQUEZ, José Antonio *et al.* Microbial bioconversion of chemical waste effluents from marine gelatin isolation: Production of probiotics under circular economy philosophy. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 416, n. 137952, p. 137952, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137952>.

VERRUCK, Silvani *et al.* Compostos Bioativos com Capacidade Antioxidante e Antimicrobiana em Frutas. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5965/24473650412018111>.

WANG, Leran *et al.* Probiotics encapsulated by gelatin and hyaluronic acid via layer-by-layer assembly technology for enhanced viability. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 153, n. 109967, p. 109967, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109967>.

YANG, Zhikun *et al.* Entrapment of probiotic (*Bifidobacterium longum*) in bilayer emulsion film with enhanced barrier property for improving viability. **Food chemistry**, [s. l.], v. 423, n. 136300, p. 136300, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136300>.



## REFERENCIAS

ABDI-MOGHADAM, Zohreh *et al.* Functional yogurt, enriched and probiotic: A focus on human health. **Clinical nutrition ESPEN**, [s. l.], v. 57, p. 575–586, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.08.005>.

ABEDINIA, Ahmadreza *et al.* Characterization and cell viability of probiotic/prebiotics film based on duck feet gelatin: A novel poultry gelatin as a suitable matrix for probiotics. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 1761, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods10081761>.

AGRIOPOULOU, Sofia *et al.* Application of encapsulation strategies for probiotics: From individual loading to co-encapsulation. **Microorganisms**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11122896>.

ALMEIDA, Francisco Lucas Chaves *et al.* Trends in lipase immobilization: Bibliometric review and patent analysis. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, [s. l.], v. 110, p. 37–51, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2021.07.005>.

ALVAREZ, María Victoria *et al.* Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 137, n. 110483, p. 110483, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110483>.

ALVES DE OLIVEIRA, Emanuel Neto *et al.* Physicochemical stability of diet umbu-Caja jams stored under ambient conditions: Physicochemical stability of diet umbu-Caja jams. **Journal of food processing and preservation**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 70–79, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12209>.

AMBIKAPATHI, Ramya *et al.* Global food systems transitions have enabled affordable diets but had less favourable outcomes for nutrition, environmental health, inclusion and equity. **Nature food**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 764–779, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-022-00588-7>.

AMPESE, Larissa Castro *et al.* Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. **Biomass conversion and biorefinery**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 3329–3347, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-021-01376-2>.

AMPESE, Larissa Castro *et al.* Research progress, trends, and updates on anaerobic digestion technology: A bibliometric analysis. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 331, n. 130004, p. 130004, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130004>.

ANDREO-MARTÍNEZ, Pedro *et al.* A descriptive bibliometric study on bioavailability of pesticides in vegetables, food or wine research (1976-2018). **Environmental toxicology and pharmacology**, [s. l.], v. 77, n. 103374, p. 103374, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2020.103374>.

ANJALI, Thriveni G.; BASAVARAJ, Madivala G. Influence of pH and salt concentration on Pickering emulsions stabilized by colloidal peanuts. **Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids**, [s. l.], v. 34, n. 44, p. 13312–13321, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b02913>.

ANNAN, N. T.; BORZA, A. D.; HANSEN, L. Truelstrup. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 184–193, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.001>.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. (2018). Resolução da diretoria colegiada – **RDC N° 241**, de 26 de julho de 2018. Disponível em [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379910/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-241-de-26-de-julho-de-2018-34379900](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379910/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-241-de-26-de-julho-de-2018-34379900).

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

ARSLAN, Sultan *et al.* Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 685–690, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.034>.

ASGARI, Shadi *et al.* Polymeric carriers for enhanced delivery of probiotics. **Advanced drug delivery reviews**, [s. l.], v. 161–162, p. 1–21, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2020.07.014>.

ATRAKI, Reza; AZIZKHANI, Maryam. Survival of probiotic bacteria nanoencapsulated within biopolymers in a simulated gastrointestinal model. **Innovative food science & emerging technologies: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 72, n. 102750, p. 102750, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102750>.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 326, 2012.

AZIZ, Sarya *et al.* Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 774–784, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3109/02652048.2014.932028>.

AZOUBEL, Patrícia Moreira *et al.* Restructuring Passiflora cincinnata fruit pulp: influence of hydrocolloids. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 160–166, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612011000100023>.

BAEK, Jiyoo *et al.* Phosphorylated-CNC/modified-chitosan nanocomplexes for the stabilization of Pickering emulsions. **Carbohydrate polymers**, [s. l.], v. 206, p. 520–527, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.006>.

BAKER, Phillip *et al.* Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. **Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity**, [s. l.], v. 21, n. 12, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/obr.13126>.

BARBOZA, Henriqueta Talita Guimarães *et al.* Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. e9911931418, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31418>.

BARTON, Wiley *et al.* The microbiome of professional athletes differs from that of more sedentary subjects in composition and particularly at the functional metabolic level. **Gut**, [s. l.], v. 67, n. 4, p. 625–633, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313627>.

BELLIS, P.; SISTO, A.; LAVERMICOCCA, P. Probiotic bacteria and plant-based matrices: An association with improved health-promoting features. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 87, 2021.

BENOSO, Paula *et al.* Rheological and viscoelastic properties of colloidal solutions based on gelatins and chitosan as affected by pH. **International journal of food science & technology**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 2365–2375, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.15592>.

BENTO DE CARVALHO, Teresa *et al.* Spray drying encapsulation of probiotics and enzymes. *In: SPRAY DRYING FOR THE FOOD INDUSTRY*. [S. l.]: Elsevier, 2024. p. 407–472.

BJARNASON, Ingvar; SISSION, Guy; HAYEE, Bu'hussaine. A randomised, double-blind, placebo-controlled trial of a multi-strain probiotic in patients with asymptomatic ulcerative colitis and Crohn's disease. **Inflammopharmacology**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 465–473, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10787-019-00595-4>.

BORAN, Gokhan; REGENSTEIN, Joe M. Fish gelatin. **Advances in food and nutrition research**, [s. l.], v. 60, p. 119–143, 2010. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526\(10\)60005-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1043-4526(10)60005-8).

BROOKES, B. C. "Sources of information on specific subjects" by S.C. Bradford. **Journal of information science**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 173–175, 1985. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/016555158501000406>.

BURCA-BUSAGA, Cristina Gabriela *et al.* Survival of *Lactobacillus salivarius* CECT 4063 and stability of antioxidant compounds in dried apple snacks as affected by the water activity, the addition of trehalose and high pressure homogenization. **Microorganisms**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 1095, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8081095>.

BURGAIN, J. *et al.* Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 104, n. 4, p. 467–483, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>.

CARVALHO, Paulo César Lemos de *et al.* Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 140–147, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452008000100026>.

CARVALHO, Ana Vânia; MATTIETTO, Rafaella de Andrade; BECKMAN, Jacqueline Chaves. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian journal of food technology**, [s. l.], v. 20, n. 0, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.2316>.

CASTELO, Rachel Menezes *et al.* Development and Characterization of Pequi Oil ( *Caryocar coriaceum* wittm.) Microparticles by Vibration Nozzle Encapsulation. **Macromolecular symposia**, [s. l.], v. 394, n. 1, p. 2000061, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/masy.202000061>.

CASTRO, Tânia Maria Neves *et al.* Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 74, n. 4, p. 426–436, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.53393/rial.2015.v74.33496>.

CHAN, L. Y.; PUI, L. P. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* 5 with isomaltoligosaccharides. **Carpathian Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 26–36, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34302/crpjfst/2020.12.2.3>.

CHAMPAGNE, Claude P.; GOMES DA CRUZ, Adriano; DAGA, Monica. Strategies to improve the functionality of probiotics in supplements and foods. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 22, p. 160–166, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.008>.

CHEN, Ying *et al.* Co-encapsulation of probiotics with acylglycerols in gelatin-gum arabic complex coacervates: Stability evaluation under adverse conditions. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. Pt 3, p. 124913, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124913>.

CHEN, Li *et al.* Effect of xanthan-chitosan-xanthan double layer encapsulation on survival of *Bifidobacterium* BB01 in simulated gastrointestinal conditions, bile salt solution and yogurt. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 81, p. 274–280, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.005>.

CHEN, Xiaoying *et al.* Probiotic breakthrough: *Clostridium butyricum* improved the intestinal SCFAs content, digestive enzymes and antioxidant activities, gut morphology and microbiota composition of largemouth bass. **Aquaculture reports**, [s. l.], v. 36, n. 102090, p. 102090, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102090>.

CHEW, Sook-Chin; NYAM, Kar-Lin. Microencapsulation of kenaf seed oil by co-extrusion technology. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 175, p. 43–50, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.002>.

CLARKE, Siobhan F. *et al.* Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. **Gut**, [s. l.], v. 63, n. 12, p. 1913–1920, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>.

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: IFSET: the official scientific journal of the European Federation**

of **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 88, n. 103452, p. 103452, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103452>.

COLMENARES-CUEVAS, Saira Itzel *et al.* Development and study of the functional properties of marshmallow enriched with bee (*Apis mellifera*) honey and encapsulated probiotics (*Lactobacillus rhamnosus*). **Frontiers in nutrition**, [s. l.], v. 11, p. 1353530, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2024.1353530>.

CORCORAN, B. M. *et al.* Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments is enhanced in the presence of metabolizable sugars. **Applied and environmental microbiology**, [s. l.], v. 71, n. 6, p. 3060–3067, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.71.6.3060-3067.2005>.

COSTA, Juliana Nascimento da *et al.* Efeito da concentração de hidocoloides nos compostos bioativos, bioacessibilidade e textura instrumental de goiaba (*Psidium guajava* L.) estruturada. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. e95953246, 2020a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3246>.

COSTA, Juliana Nascimento da *et al.* Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance methods. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. suppl 2, p. 496–502, 2020b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.25819>.

CUBAUD, Thomas; MASON, Thomas G. Capillary threads and viscous droplets in square microchannels. **Physics of fluids (Woodbury, N.Y.: 1994)**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 053302, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2911716>.

CUI, Shumao *et al.* Effect of acids produced from carbohydrate metabolism in cryoprotectants on the viability of freeze-dried *Lactobacillus* and prediction of optimal initial cell concentration. **Journal of bioscience and bioengineering**, [s. l.], v. 125, n. 5, p. 513–518, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.12.009>.

DA COSTA, Guilherme Mamede *et al.* Effect of ascorbic acid or oligofructose supplementation on *L. paracasei* viability, physicochemical characteristics and acceptance of probiotic orange juice. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 75, p. 195–201, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.051>.

DA COSTA, Juliana Nascimento *et al.* Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance

methods. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. suppl 2, p. 496–502, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.25819>.

DA COSTA, Juliana N. *et al.* Texture, microstructure and volatile profile of structured guava using agar and gellan gum. **International journal of gastronomy and food science**, [s. l.], v. 20, n. 100207, p. 100207, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100207>.

DANALACHE, Florina *et al.* Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 84, p. 43–53, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.079>.

DANALACHE, Florina *et al.* Texture, microstructure and consumer preference of mango bars jellified with gellan gum. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 584–591, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.040>.

DE ARAÚJO, Taissa Pereira *et al.* Food processing: Comparison of different food classification systems. **Nutrients**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 729, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nu14040729>.

DE ASSIS, Renata Carmo *et al.* Determination of water-soluble vitamins and carotenoids in Brazilian tropical fruits by High Performance Liquid Chromatography. **Heliyon**, [s. l.], v. 6, n. 10, p. e05307, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05307>.

DE DEUS, Cassandra *et al.* Co-encapsulation of *Lactobacillus plantarum* and bioactive compounds extracted from red beet stem (*Beta vulgaris* L.) by spray dryer. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 167, n. 112607, p. 112607, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112607>.

DE DEUS, Cassandra *et al.* Stability of probiotics through encapsulation: Comparative analysis of current methods and solutions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 197, n. Pt 1, p. 115183, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115183>.

DE JESUS, Gabriella Freitas *et al.* Estudos preliminares na formulação de estruturados de mix de polpa de frutas. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, [s. l.], v. 2, n. 1, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/revistacsbea/article/view/7320>. Acesso em: 26 fev. 2025.

DE OLIVEIRA RIBEIRO, Ana Paula *et al.* Development of a probiotic non-fermented blend beverage with juçara fruit: Effect of the matrix on probiotic viability and survival to the gastrointestinal tract. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 118, n. 108756, p. 108756, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108756>.

DE SOUZA, Weysser Felipe Cândido *et al.* Isomaltulose: From origin to application and its beneficial properties - A bibliometric approach. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 155, n. 111061, p. 111061, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111061>.

DI MONACO, Rossella *et al.* Strategies to reduce sugars in food. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 19, p. 92–97, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>.

DIAS, Carolinne Odebrecht *et al.* Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food bioscience**, [s. l.], v. 24, p. 26–36, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.006>.

DIAS, Júlia Vitória Barbosa *et al.* Probiotic and synbiotic edible coatings: Effects on Lactocaseibacillus casei viability and general quality of minimally processed fruit during storage. **Food bioscience**, [s. l.], v. 56, n. 103144, p. 103144, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103144>.

DONATI, I.; PAOLETTI, S. Material properties of alginates. Alginates: Biology and applications. **Alginates: Biology and applications**, [s. l.], p. 1–53, 2009.

DORON, Shira; SNYDMAN, David R. Risk and safety of probiotics. **Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America**, [s. l.], v. 60 Suppl 2, n. suppl\_2, p. S129–34, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/cid/civ085>.

DOU, Lixue *et al.* Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 118, n. Pt B, p. 1377–1383, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.121>.

DUTRA, Rodrigo Luiz Targino *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 100, n. Pt 1, p. 650–657, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.047>.



EDD, Jon F. *et al.* Controlled encapsulation of single-cells into monodisperse picolitre drops. **Lab on a chip**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 1262–1264, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/b805456h>.

EDRIS, A.; BERGNSTÅHL, B. Encapsulation of orange oil in a spray dried double emulsion. **Die Nahrung**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 133–137, 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1002/1521-3803\(20010401\)45:2<133::AID-FOOD133>3.0.CO;2-C](http://dx.doi.org/10.1002/1521-3803(20010401)45:2<133::AID-FOOD133>3.0.CO;2-C).

EGHBAL, Noushin *et al.* Complex coacervation for the development of composite edible films based on LM pectin and sodium caseinate. **Carbohydrate polymers**, [s. l.], v. 151, p. 947–956, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.052>.

EPHREMA, E. Encapsulation of natural active compounds, enzymes, and probiotics for fruit juice fortification, preservation, and processing: An overview. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 48, p. 65–84, 2018.

ESLAMI, Parisa; DAVARPANAH, Leila; VAHABZADEH, Farzaneh. Encapsulating role of  $\beta$ -cyclodextrin in formation of pickering water-in-oil-in-water (W<sub>1</sub>/O/W<sub>2</sub>) double emulsions containing *Lactobacillus dellbrueckii*. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 64, p. 133–148, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.035>.

ETCHEPARE, Mariana de Araújo *et al.* Effect of resistant starch (Hi-maize) on the survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. **Journal of functional foods**, [s. l.], v. 21, p. 321–329, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.025>.

ETCHEPARE, Mariana Araújo *et al.* Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 37, p. 97, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x19725>.

FANG, Taisong; LIU, Songbai. Metal-phenolic network directed coating of single probiotic cell followed by photoinitiated thiol-Ene click fortification to enhance oral therapy. **Small**, [s. l.], v. 20, n. 19, p. e2308146, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/smll.202308146>.

FAO/WHO. Working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. **Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation**, London, Ontario, Canada, 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-a0512e.pdf>.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; HEINEMANN, R. J. B.; PEDROSO, D. L. Developments in probiotic encapsulation. **CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources**, [s. l.], v. 2011, n. 004, p. 1–8, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1079/pavsnr20116004>.

FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. *In*: ANTHOCYANINS AS FOOD COLORS. [S. l.]: Elsevier, 1982. p. 181–207.

FREDUA-AGYEMAN, Mansa. Surviving process and transit: Controlled freeze drying, storage and enteric coated capsules for targeted delivery of probiotic *Lactobacillus acidophilus*. **Heliyon**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. e28407, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28407>.

FREI, R.; AKDIS, M.; O'MAHONY, L. Prebiotics, probiotics, synbiotics, and the immune system: experimental data and clinical evidence. **Curr Opin Gastroenterol**, [s. l.], n. 2, p. 153–158, 2015.

GAÑÁN-CALVO, Alfonso M. *et al.* Massive, generic, and controlled microencapsulation by flow focusing: Some physicochemical aspects and new applications. **Journal of flow chemistry**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 48–54, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1556/jfc-d-14-00022>.

GHALEHJOOGHI, Hossein Dehghani; TAJIK, Hossein; SHAHBAZI, Yasser. Development and characterization of active packaging nanofiber mats based on gelatin-sodium alginate containing probiotic microorganisms to improve the shelf-life and safety quality of silver carp fillets. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 384, n. 109984, p. 109984, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109984>.

GHANBARI, Mojgan *et al.* In vitro study of alginate-gelatin scaffolds incorporated with silica NPs as injectable, biodegradable hydrogels. **RSC advances**, [s. l.], v. 11, n. 27, p. 16688–16697, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/d1ra02744a>.

GONÇALVES, Daniele Juliana Rodrigues *et al.* Ultrasonic pre-treatment to enhance drying of potentially probiotic guava (*Psidium guajava*): Impact on drying kinetics, *Lactobacillus rhamnosus* GG viability, and functional quality. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 173, n. Pt 2, p. 113374, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113374>.

GONDIM, Perla Joana Souza. **Identificação de carotenoides e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante em frutos do gênero Spondias**. 2012. 104 f. Tese

(Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8034>.

GONDIM, Perla Joana Souza *et al.* Qualidade de frutos de acessos de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, [s. l.], v. 17, n. 11, p. 1217–1221, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001100013>.

GOPAL, Pramod K. Probiotics: Application of probiotics in dairy products: Established and potential benefits. *In: ENCYCLOPEDIA OF DAIRY SCIENCES*. [S. l.]: Elsevier, 2022. p. 359–368.

GORDON, Michael H. Measuring antioxidant activity. *In: ANTIOXIDANTS IN FOOD*. [S. l.]: Elsevier, 2001. p. 71–84.

GOUIN, Sébastien. Microencapsulation. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 15, n. 7–8, p. 330–347, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>.

GREEN, Miranda; ARORA, Karan; PRAKASH, Satya. Microbial medicine: Prebiotic and probiotic functional foods to target obesity and metabolic syndrome. **International journal of molecular sciences**, [s. l.], v. 21, n. 8, p. 2890, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21082890>.

GRIZOTTO, Regina Kitagawa *et al.* Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 158–164, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000100026>.

GUO, Yunsi *et al.* Thermo-kinetic studies of in vitro digestion and colonic fermentation of inulin/*Lactobacillus rhamnosus* GG co-encapsulated composite beads. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 149, n. 109541, p. 109541, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109541>.

GUPTA, Shilpi; ABU-GHANNAM, Nissreen. Probiotic fermentation of plant based products: possibilities and opportunities. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 52, n. 2, p. 183–199, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2010.499779>.

HAJI, Fatemah *et al.* Application of Pickering emulsions in probiotic encapsulation- A review. **Current research in food science**, [s. l.], v. 5, p. 1603–1615, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.013>.

HAN, Mengzhen *et al.* Layer-by-layer coated probiotics with chitosan and liposomes demonstrate improved stability and antioxidant properties in vitro. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 258, n. Pt 1, p. 128826, 2024a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128826>.

HAN, Mengzhen *et al.* Layer-by-layer coated probiotics with chitosan and liposomes exhibit enhanced therapeutic effects for DSS-induced colitis in mice. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 269, n. Pt 1, p. 132063, 2024b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132063>.

HARO-GONZÁLEZ, José Nabor *et al.* Type A gelatin-amidated low methoxyl pectin complex coacervates for probiotics protection: Formation, characterization, and viability. **Food chemistry**, [s. l.], v. 453, n. 139644, p. 139644, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139644>.

HEIDEBACH, T. Microencapsulation of probiotics cells by means of rennet- gelation of milk proteins. **Food hidrocolloids**, [s. l.], p. 1670–1677, 2009.

HERRERO, E.; VALLE, E.; GALAN, M. Development of a new technology for the production of microcapsules based in atomization processes. **Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)**, [s. l.], v. 117, n. 2, p. 137–142, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2005.12.022>.

HILL, Colin *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature reviews. Gastroenterology & hepatology**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 506–514, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.

HOFFMANN, A. *et al.* Adubação em pomares: métodos de quantificação das doses de fertilizantes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 161–169, 1996.

HOMAYONI, R. A. The comparison of food and supplement as probiotic delivery vehicles. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 56, p. 896–909, 2016.

HUANG, Xiang *et al.* Fabrication of gelatin-EGCG-pectin ternary complex stabilized W/O/W double emulsions by ultrasonic emulsification: Physicochemical stability, rheological properties and structure. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 338, n. 111259, p. 111259, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111259>.

HUBER, Kerry C.; EMBUSCADO, Milda E. (org.). **Edible films and coatings for food applications**. New York, NY: Springer New York, 2009.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para a análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1050.

JEONG, Seok-Moon *et al.* Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, [s. l.], v. 52, n. 11, p. 3389–3393, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf049899k>.

JULAEHA, Euis *et al.* Optimization of Citrus aurantifolia peel extract encapsulation in alginate-gelatin hydrogel microbeads for antibacterial wound dressing applications. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 7, n. 100406, p. 100406, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100406>.

KAUSHIK, Pratibha *et al.* Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. **Journal of functional foods**, [s. l.], v. 19, p. 868–881, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.029>.

KAUSHIK, Deepak; DUREJA, H. Taste masking of bitter pharmaceuticals by spray drying technique. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://www.jocpr.com/articles/taste-masking-of-bitter-pharmaceuticals-by-spray-drying-technique.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

KOPONEN, Johanna *et al.* Effect of acid stress on protein expression and phosphorylation in *Lactobacillus rhamnosus* GG. **Journal of proteomics**, [s. l.], v. 75, n. 4, p. 1357–1374, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2011.11.009>.

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHANDARI, Bhesh; DEETH, Hilton. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International dairy journal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 3–13, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00155-3).

KUO, Chih-Chun *et al.* Development of a shelf-stable, gel-based delivery system for probiotics by encapsulation, 3D printing, and freeze-drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 157, n. 113075, p. 113075, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113075>.

LAI J. T. *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* 299v and its storage in kuini juice. **Malaysian journal of microbiology**, [s. l.], 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21161/mjm.190398>.

LARRAURI, José A.; RUPÉREZ, Pilar; SAURA-CALIXTO, Fulgencio. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 1390–1393, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/jf960282f>.

LEAL, Amanda Rodrigues *et al.* Elaboration of mixed structured fruit formulations with agar and gellan gum: Texture, physicochemical, and sensory properties. **International journal of gastronomy and food science**, [s. l.], v. 23, n. 100294, p. 100294, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100294>.

LEE, Jin *et al.* Evaluation of probiotic characteristics of newly isolated *Lactobacillus* spp.: immune modulation and longevity. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 148, n. 2, p. 80–86, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.003>.

LI, Xiao Yan *et al.* Microencapsulation of a probiotic bacteria with alginate-gelatin and its properties. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 315–324, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02652040802328685>.

LI, Kailing *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus casei* BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 116, n. 108521, p. 108521, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108521>.

LI, Huiyu *et al.* Preparation of probiotic microcapsules using gelatin-xylooligosaccharides conjugates by spray drying: Physicochemical properties, survival, digestion resistance and colonization. **Food bioscience**, [s. l.], v. 52, n. 102462, p. 102462, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102462>.

LIANG, Ting-Peng; LIU, Yu-Hsi. Research Landscape of Business Intelligence and Big Data analytics: A bibliometrics study. **Expert systems with applications**, [s. l.], v. 111, p. 2–10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.018>.

LIEW, S. L. *et al.* Optimization of medium composition for the production of a probiotic microorganism, *Lactobacillus rhamnosus*, using response surface methodology. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 102, n. 2, p. 137–142, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.009>.

LILLO-PÉREZ, Siegfried *et al.* Probiotics in fruit and vegetable matrices: Opportunities for nondairy consumers. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 151, n. 112106, p. 112106, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112106>.

LIRA JÚNIOR, José Severino de *et al.* Caracterização física e físico-química de frutos de cajá-umbu (*Spondias spp.*). **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 757–761, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000400021>.

LIU, Nan-Nan. Study on Microcapsulation of Onion Oil with Complex Coacervation and Spray Drying Method. **Chinese Food Science**, [s. l.], v. 1, n. 4, 2012. Disponível em: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/study-on-microcapsulation-onion-oil-with-complex/docview/1347640149/se-2>.

LORDELLO, Virgínia Barreto *et al.* Orodispersible film loaded with *Enterococcus faecium* CRL183 presents anti-*Candida albicans* biofilm activity in vitro. **Pharmaceutics**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 998, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics13070998>.

LOSCERTALES, I. G. *et al.* Micro/nano encapsulation via electrified coaxial liquid jets. **Science (New York, N.Y.)**, [s. l.], v. 295, n. 5560, p. 1695–1698, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1067595>.

LOTKA, Alfred J. The frequency distribution of scientific productivity. **Journal. Washington Academy of Sciences, Washington, D. C.**, [s. l.], v. 16, n. 12, p. 317–323, 1926. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/24529203>.

MALDONADE, Iriani Rodrigues; CARVALHO, Patrícia Gonçalves B.; FERREIRA, Nathalie A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliça pelo método de DNS. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 85, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81580/1/cot-85.pdf>.

MANDALA, I. G.; PALOGOU, E. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan–starch mixtures. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 27–38, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(01\)00136-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(01)00136-4).

MARSH, Ken B. *et al.* Perception of flavour in standardised fruit pulps with additions of acids or sugars. **Food quality and preference**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 376–386, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.04.011>.

MARTÍN, María José *et al.* Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. **Innovative food science & emerging technologies: IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 27, p. 15–25, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>.

MEIRELES MAFALDO, Ísis *et al.* Survival during long-term storage, membrane integrity, and ultrastructural aspects of *Lactobacillus acidophilus* 05 and *Lactocaseibacillus casei* 01 freeze-dried with freshwater microalgae biomasses. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 159, n. 111620, p. 111620, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111620>.

MELO, Anely Maciel de *et al.* *Garcinia brasiliensis* fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 112, p. 325–335, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.005>.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical chemistry**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/ac60147a030>.

MIRAFZALI, Zahra; THOMPSON, Courtney S.; TALLUA, Karim. Application of liposomes in the food industry. *In: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY*. [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 139–150.

MIRANDA, R. F. Impacto da adição de *Lactobacillus casei* e oligofrutose nos parâmetros de qualidade da bebida mista de suco de laranja e chá de hibisco. **J. Processo Alimentar. Preservar.**, [s. l.], v. 43, 2019.

MIRANDA, Jéssica Soares *et al.* Probiotic jelly candies enriched with native Atlantic Forest fruits and *Bacillus coagulans* GBI-30 6086. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 126, n. 109275, p. 109275, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109275>.

MOLAVEISI, Mohammad *et al.* Kinetics of temperature effect on antioxidant activity, phenolic compounds and color of Iranian jujube honey. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. e01129, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01129>.

MOREIRA, Aldenise Chagas Curvêlo Gonçalves *et al.* Fitoquímicos bioativos em frutos de genótipos de cajá-umbuzeiras. **Alimentos e Nutrição**, [s. l.] v. 23, n. 2, p. 235-241, 2012. Disponível em: <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos>.



MOREIRA, A. I.; CAMPOS, J. B. L. M.; MIRANDA, J. M. Characterization of gelatin microparticle production in a flow focusing microfluidic system. **Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects**, [s. l.], v. 647, n. 129079, p. 129079, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129079>.

MOZAFFARZOGH, Mahya *et al.* Evaluation of probiotic carboxymethyl cellulose-sodium caseinate films and their application in extending shelf life quality of fresh trout fillets. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 126, n. 109305, p. 109305, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109305>.

MRIDULA, D.; SHARMA, M. Development of non-dairy probiotic drink utilizing sprouted cereals, legume and soymilk. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 62, p. 482–487, 2015.

MUÑOZ-ATIENZA, Estefanía *et al.* Phenotypic and genetic evaluations of biogenic amine production by lactic acid bacteria isolated from fish and fish products. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 146, n. 2, p. 212–216, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.024>.

NARAIN, N.; GALVAO, M.; MADRUGA, M. Volatile compounds captured through purge and trap technique in caja-umbu (*Spondias sp.*) fruits during maturation. **Food chemistry**, [s. l.], v. 102, n. 3, p. 726–731, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.003>.

NATARAJ, Basavaprabhu Haranahalli *et al.* Safety evaluation of indigenous probiotic *Limosilactobacillus fermentum* NCDC 400 using whole genome sequences and in vitro approaches. **Food bioscience**, [s. l.], v. 56, n. 103101, p. 103101, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103101>.

NEZAMDOOST-SANI, Narmin *et al.* A comprehensive review on the utilization of biopolymer hydrogels to encapsulate and protect probiotics in foods. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 254, n. Pt 2, p. 127907, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127907>.

NGAMEKAUE, Narisara *et al.* Improving probiotic survival through encapsulation in coconut oil in whey protein isolate emulsions during spray drying and gastrointestinal digestion. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 198, n. 116061, p. 116061, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116061>.

NOORANIDOOST, Mohammad *et al.* Cell encapsulation modes in a flow-focusing microchannel: effects of shell fluid viscosity. **Microfluidics and nanofluidics**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-019-2196-z>.

NOORT, Mark. Smart seeds for a sustainable future. **Geospatial World Januar**, [s. l.], p. 78–85, 2014.

OK, Selçuk; YILMAZ, Emin; DEMIREL ZORBA, Nükhet Nilüfer. Preparation and characterization of 3D printed objects based on different Kefir gels. **Food biophysics**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 453–470, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-024-09839-5>.

OLIVEIRA, Leilanne Márcia Nogueira *et al.* Characterization of rutin, phenolic compounds and antioxidant capacity of pulps and by-products of tropical fruits. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. e42942812, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2812>.

OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de *et al.* Desenvolvimento, caracterização e estabilidade de geleia tradicional de umbu-cajá. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 628–639, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-366/13>.

OLIVEIRA, Johnatt Allan Rocha de *et al.* Elaboração e caracterização de estruturado obtido de polpa concentrada de cupuaçu. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 164–170, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2011.023>.

OLIVEIRA, Tatiane C. G. *et al.* Sustainable valorization of apple waste in a biorefinery: a bibliometric analysis. **Biofuels, bioproducts & biorefining: Biofpr**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 891–919, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2343>.

OSBORN, Steve; MARLEY, Wayne. Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs. **Woodhead Publishing**, [s. l.], 2016.

OUWEHAND, A. C. *et al.* Adhesion of probiotic micro-organisms to intestinal mucus. **International dairy journal**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 623–630, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(99\)00132-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(99)00132-6).

OXLEY, J. D. Coextrusion for food ingredients and nutraceutical encapsulation: principles and technology. *In*: **ENCAPSULATION TECHNOLOGIES AND DELIVERY**

**SYSTEMS FOR FOOD INGREDIENTS AND NUTRACEUTICALS.** [S. l.]: Elsevier, 2012. p. 131–150.

OXLEY, James. Overview of microencapsulation process technologies. *In: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY.* [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 35-46.

PARK, Ki-Su *et al.* Synthesis and characterization of thermosensitive gelatin hydrogel microspheres in a microfluidic system. **Macromolecular research**, [s. l.], v. 24, n. 6, p. 529–536, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13233-016-4069-6>.

PARN, Ong Joo *et al.* Development of novel fruit bars by utilizing date paste. **Food bioscience**, [s. l.], v. 9, p. 20–27, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2014.11.002>.

PATEL, Ravi Mangal; UNDERWOOD, Mark A. Probiotics and necrotizing enterocolitis. **Seminars in pediatric surgery**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 39–46, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2017.11.008>.

PAULA, Daniele de Almeida *et al.* Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from *Lactobacillus plantarum* by a dual process combining double emulsification followed by complex coacervation. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 133, p. 722–731, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.110>.

PENHA RODRIGUES PEREIRA, Eliene *et al.* What are the main obstacles to turning foods healthier through probiotics incorporation? a review of functionalization of foods by probiotics and bioactive metabolites. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 176, n. 113785, p. 113785, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113785>.

PIMENTEL, Tatiana Colombo *et al.* Vegan probiotic products: A modern tendency or the newest challenge in functional foods. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 140, n. 110033, p. 110033, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110033>.

RASTOGI, Sonakshi; MITTAL, Vineeta; SINGH, Aditi. In vitro evaluation of probiotic potential and safety assessment of *Lactobacillus mucosae* strains isolated from donkey's lactation. **Probiotics and antimicrobial proteins**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 1045–1056, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12602-019-09610-0>.

RATHORE, Sweta *et al.* Microencapsulation of microbial cells. **Journal of food engineering**, [s. l.], v. 116, n. 2, p. 369–381, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022>.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology & medicine**, [s. l.], v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

REN, Yufeng *et al.* Development and prospect of food security cooperation in the BRICS countries. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 2125, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su12052125>.

REN, Xiang *et al.* Microencapsulation by complex coacervation processes. *In*: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 169–193.

RITZINGER, Rogerio *et al.* Caracterização e avaliação de germoplasma de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1, 2001, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2001.

RODRIGUES, Fábio J. *et al.* Effect of natural polymers on the survival of *Lactobacillus casei* encapsulated in alginate microspheres. **Journal of microencapsulation**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 431–439, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02652048.2017.1343872>.

RODRIGUES, F. J. *et al.* Effective encapsulation of reuterin-producing *Limosilactobacillus reuteri* in alginate beads prepared with different mucilages/gums. **Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands)**, [s. l.], v. 34, n. e00737, p. e00737, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00737>.

RODRIGUES, F. J. *et al.* Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications - A narrative review. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, [s. l.], v. 137, n. 109682, p. 109682, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682>.

ROJAS, Adriana Rodríguez *et al.* ¿What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 85, p. 252–261, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.016>.

ROJAS-MORENO, Sandra *et al.* Effects of complex coacervation-spray drying and conventional spray drying on the quality of microencapsulated orange essential oil. **Journal**

of **Food Measurement & Characterization**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 650–660, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-017-9678-z>.

ROMYASAMIT, Chonticha *et al.* Optimization of cryoprotectants for freeze-dried potential probiotic *Enterococcus faecalis* and evaluation of its storage stability. **Drying technology**, [s. l.], v. 40, n. 11, p. 2283–2292, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2021.1931294>.

ROOBAB, Ume *et al.* Sources, formulations, advanced delivery and health benefits of probiotics. **Current opinion in food science**, [s. l.], v. 32, p. 17–28, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.003>.

RUFINO, Maria do Socorro Moura *et al.* Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS+. **Comunicado técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 128, 2007. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot\\_128.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot_128.pdf).

RUFINO, Maria do Socorro Moura *et al.* Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução de ferro (FRAP). **Comunicado técnico**, EMBRAPA Agroindústria Tropical, [s. l.], v. 125, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/11964/1/cot-125.pdf>.

SAAD, S. M. I. Probióticos e Prebióticos: O estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. **São Paulo**, [s. l.], v. 42, p. 2–12, 2006.

SABIKHI, Latha *et al.* Resistance of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* LA1 to processing treatments and simulated gut conditions. **Food and bioprocess technology**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 586–593, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-008-0135-1>.

ŞANLIBABA, Pınar. Fermented nondairy functional foods based on probiotics. **Rivista italiana di scienza degli alimenti [Italian journal of food science]**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 91–105, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15586/ijfs.v35i1.2279>.

SANTIAGO, Keliane Lima. Barras estruturadas mistas de manga e cajá adicionadas de extrato bioativo de caju: aspectos tecnológicos e capacidade antioxidante. 2021. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/58988>.

SANTORO, Marco; TATARA, Alexander M.; MIKOS, Antonios G. Gelatin carriers for drug and cell delivery in tissue engineering. **Journal of controlled release: official journal of the**

**Controlled Release Society**, [s. l.], v. 190, p. 210–218, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.04.014>.

SANTOS, Márcio Barros dos *et al.* Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 1089–1097, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-29452011005000015>.

SANTOS, L. J. S. Leaf contents and biochemical cycling of nutrientes in accessions of umbu and umbu-caja. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 33, 2020.

SANTOS MONTEIRO, Shênia *et al.* Production of Probiotic Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) Drink Using *Lactobacillus reuteri* and Microencapsulation via Spray Drying. **Foods (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 335, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods9030335>.

SAXELIN, M.; PESSI, T.; SALMINEN, S. Fecal recovery following oral administration of *Lactobacillus* strain GG (ATCC 53103) in gelatine capsules to healthy volunteers. **International journal of food microbiology**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 199–203, 1995. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00091-j](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605(94)00091-j).

SGANZERLA, William G. *et al.* A bibliometric analysis on potential uses of brewer's spent grains in a biorefinery for the circular economy transition of the beer industry. **Biofuels, bioproducts & biorefining: Biofpr**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 1965–1988, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2290>.

SGANZERLA, William Gustavo; DA SILVA, Aline Priscilla Gomes. Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess – Myrtaceae): An overview from the origin to recent developments in the food industry – A bibliometric analysis. **Journal of agriculture and food research**, [s. l.], v. 10, n. 100369, p. 100369, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100369>.

SHARMA, Ruchi *et al.* Barley-based probiotic food mixture: health effects and future prospects. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 62, n. 29, p. 7961–7975, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2021.1921692>.

SHU, Guowei *et al.* Characterization of freeze-dried *Lactobacillus acidophilus* in goat milk powder and tablet: Optimization of the composite cryoprotectants and evaluation of storage stability at different temperature. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 90, p. 70–76, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.013>.

SILVA, Marlucci P. *et al.* Comparison of extrusion and co-extrusion encapsulation techniques to protect *Lactobacillus acidophilus* LA3 in simulated gastrointestinal fluids. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 89, p. 392–399, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.008>.

SILVA, Priscilla Andrade; CARVALHO, Ana Vânia; PINTO, Cleicilene Araújo. Elaboração e caracterização de fruta estruturada mista de goiaba e cajá. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], n. 51, p. 99-113, 2009. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/658389>.

SILVA, Ramon *et al.* Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing. **Food bioscience**, [s. l.], v. 46, n. 101517, p. 101517, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101517>.

SINGH, Poonam *et al.* On the viability, cytotoxicity and stability of probiotic bacteria entrapped in cellulose-based particles. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 82, p. 457–465, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.027>.

SOARES, Mariana B. *et al.* Review - Sporeforming probiotic bacteria: Characteristics, health benefits, and technological aspects for their applications in foods and beverages. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 138, p. 453–469, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.029>.

SOMERA, Tânia *et al.* Unconventional foods and by-products as sustainable encapsulating materials carrying probiotic cultures: An overview of the encapsulation methods, and incorporation on food products. **Food bioscience**, [s. l.], v. 61, n. 104892, p. 104892, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104892>.

SOTOUDEGAN, Farzaneh *et al.* Reappraisal of probiotics' safety in human. **Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, [s. l.], v. 129, p. 22–29, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.032>.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Compositional and physicochemical factors governing the viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG embedded in starch-protein based edible films. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 52, p. 876–887, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.025>.

SOUKOULIS, Christos *et al.* Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG in prebiotic edible films. **Food chemistry**, [s. l.], v. 159, p. 302–308, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.008>.

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, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014>.

STROHECKER, Rolf; HENNING, Heinz M. Análises de vitaminas: Métodos comprovados. **Editora Paz Montalvo**, [s. l.], 1967.

SUAVE, J. *et al.* Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, [s. l.], n. 2, p. 12–20, 2006.

SULTANA, Marjia *et al.* Advances in extrusion-dripping encapsulation of probiotics and omega-3 rich oils. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 123, p. 69–86, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.006>.

SUN, Qiqi *et al.* Biomaterials and encapsulation techniques for probiotics: Current status and future prospects in biomedical applications. **Nanomaterials (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 15, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nano13152185>.

TANIMA, Dutta *et al.* The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: A case of the BRICS countries. **E3S web of conferences**, [s. l.], v. 494, p. 04043, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202449404043>.

TEMIZ, Naime Nur; ÖZDEMİR, Kübra Sultan. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest biology and technology**, [s. l.], v. 173, n. 111433, p. 111433, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111433>.

THINKOHKAEW, Korlid *et al.* Microencapsulation of probiotics in chitosan-coated alginate/gellan gum: Optimization for viability and stability enhancement. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 151, n. 109788, p. 109788, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109788>.

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, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/polym14225018>.



TOPLU, Melike Seda; TUNCER, Banu Özden. Evaluation of the functional properties and safety of enterocin-producing *Enterococcus faecium* BT29.11 isolated from Turkish Beyaz cheese and its inhibitory activity against *Listeria monocytogenes* in UHT whole milk. **Rivista italiana di scienza degli alimenti [Italian journal of food science]**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 54–70, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15586/ijfs.v35i2.2316>.

TU, L. Sze; DEHGHANI, F.; FOSTER, N. R. Micronisation and microencapsulation of pharmaceuticals using a carbon dioxide antisolvent. **Powder technology**, [s. l.], v. 126, n. 2, p. 134–149, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0032-5910\(02\)00045-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0032-5910(02)00045-1).

TURKMEN, Nihal; SARI, Ferda; VELIOGLU, Y. Sedat. Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin–Ciocalteu methods. **Food chemistry**, [s. l.], v. 99, n. 4, p. 835–841, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.034>.

VASISHT, Niraj. Selection of materials for microencapsulation. *In*: MICROENCAPSULATION IN THE FOOD INDUSTRY. [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 173–180.

VÁZQUEZ, José Antonio *et al.* Microbial bioconversion of chemical waste effluents from marine gelatin isolation: Production of probiotics under circular economy philosophy. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 416, n. 137952, p. 137952, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137952>.

VERRUCK, Silvani *et al.* COMPOSTOS BIOATIVOS COM CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA EM FRUTAS. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5965/24473650412018111>.

VIANA, Eliseth D. E. Souza *et al.* DESENVOLVIMENTO DE GELEIA DE UMBU-CAJÁ CONVENCIONAL E DIETÉTICA. **Revista brasileira de fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 708–717, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-018/14>.

VIANA, E. S. **Embrapa realiza curso sobre processamento de frutas**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://blog.cnpat.embrapa.br/index.php?s=ipa>. Acesso em: 5 fev. 2023.

VIANA, Carolina Carvalho Ramos *et al.* Microencapsulamento de bactérias probióticas: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 13, p. e242101320814, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20814>.

VOJDANI, Maede.; KAZEMEINI, Hamidreza. Study on the Effects of Gelatin Films Containing *Lactobacillus hamnosus* and *Lactobacillus acidophilus* Probiotics on the Survival of *Staphylococcus aureus* and Physicochemical Characteristics of the Carp Fillets at Refrigerator Temperature. **Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 109–123, 2024.

WANG, Bo *et al.* Anchovy oil microcapsule powders prepared using two-step complex coacervation between gelatin and sodium hexametaphosphate followed by spray drying. **Powder technology**, [s. l.], v. 358, p. 68–78, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.034>.

WANG, Leran *et al.* Probiotics encapsulated by gelatin and hyaluronic acid via layer-by-layer assembly technology for enhanced viability. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 153, n. 109967, p. 109967, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109967>.

WU, Chien-Hui *et al.* Improving acid resistance and characteristics of microencapsulated *Lactobacillus brevis* RK03 using top fluid bed drying technology. **Process biochemistry (Barking, London, England)**, [s. l.], v. 110, p. 1–8, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2021.07.010>.

WU, Feng; LIU, Jinyao. Decorated bacteria and the application in drug delivery. **Advanced drug delivery reviews**, [s. l.], v. 188, n. 114443, p. 114443, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2022.114443>.

XAVIER DOS SANTOS, Douglas *et al.* Improved probiotic survival to in vitro gastrointestinal stress in a mousse containing *Lactobacillus acidophilus* La-5 microencapsulated with inulin by spray drying. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, [s. l.], v. 99, p. 404–410, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.010>.

XIE, Aijun *et al.* Polysaccharides, proteins, and their complex as microencapsulation carriers for delivery of probiotics: A review on carrier types and encapsulation techniques. **International journal of biological macromolecules**, [s. l.], v. 242, n. Pt 1, p. 124784, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124784>.

YANG, Zhikun *et al.* Entrapment of probiotic (*Bifidobacterium longum*) in bilayer emulsion film with enhanced barrier property for improving viability. **Food chemistry**, [s. l.], v. 423, n. 136300, p. 136300, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136300>.

YAO, Mingfei *et al.* Enhanced viability of probiotics (*Pediococcus pentosaceus* Li05) by encapsulation in microgels doped with inorganic nanoparticles. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 83, p. 246–252, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.024>.

YAO, Mingfei *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus salivarius* Li01 for enhanced storage viability and targeted delivery to gut microbiota. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 72, p. 228–236, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.033>.

YONG, Agnes Kai Lin *et al.* Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 with mannitol. **Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology**, [s. l.], p. 32–42, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35118/apjmbb.2020.028.2.04>.

YUAN, Yongkai *et al.* Effect of calcium ions on the freeze-drying survival of probiotic encapsulated in sodium alginate. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 130, n. 107668, p. 107668, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107668>.

ZHANG, Kui *et al.* Effects of phospholipid content on the palatability and bacterial stability of oral-release probiotic mouth incense pills. **Food and Fermentation Industries**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 126–131, 2024. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036937>.

ZHANG, Ye *et al.* Biointerfacial supramolecular self-assembly of whey protein isolate nanofibrils on probiotic surface to enhance survival and application to 3D printing dysphagia foods. **Food chemistry**, [s. l.], v. 460, n. Pt 3, p. 140720, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140720>.

ZHAO, Runan *et al.* Single-cell encapsulation systems for probiotic delivery: Armor probiotics. **Advances in colloid and interface science**, [s. l.], v. 332, n. 103270, p. 103270, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2024.103270>.

ZOLDAN, Jocelane *et al.* Evaluation of viability to simulated gastrointestinal tract passage of probiotic strains and pioneer bioaccessibility analyses of antioxidants in chocolate. **Food bioscience**, [s. l.], v. 52, n. 102494, p. 102494, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102494>.

## APÊNDICE A – TERMO DE COMPROMISSO PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS

Os pesquisadores do projeto de pesquisa intitulado “DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*) COM INCORPORAÇÃO DE *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG ATRAVÉS DE REVESTIMENTO DE GELATINA” comprometem-se a preservar a privacidade dos dados (referentes a análise sensorial quanto aos atributos de aparência, cor, aroma, sabor, textura, impressão global e intenção de consumo, concordam e assumem a responsabilidade de que estas informações serão utilizadas única e exclusivamente para execução do presente projeto. Comprometem-se, ainda, a fazer a divulgação das informações coletadas somente de forma anônima e que a coleta de dados da pesquisa somente será iniciada após aprovação do sistema CEP/CONEP.

Salientamos, outrossim, estarmos cientes dos preceitos éticos da pesquisa, pautados na Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Fortaleza, 8 de abril de 2022.

Edivaldo Bruno dos Santos Coelho  
Pesquisador Principal

**APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

Você está sendo convidado por Edivaldo Bruno dos Santos Coelho como participante da pesquisa intitulada “DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURADO DE CAJÁ-UMBU (*Spondias bahiensis*) COM INCORPORAÇÃO DE *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG ATRAVÉS DE REVESTIMENTO DE GELATINA”. Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

Será desenvolvido um produto alimentício, estruturado de cajá-umbu com probióticos em revestimento de gelatina. Para esta etapa da pesquisa será realizada a análise sensorial, onde os participantes receberão amostras do estruturado de cajá-umbu com e sem probiótico, sem identificações, juntamente com um formulário com escala hedônica avaliando os atributos de aparência, cor, aroma, sabor, textura, impressão global e seleção dos atributos que melhor caracterizam as amostras.

Destacar, ainda no convite, que a qualquer momento o participante poderá recusar a continuar participando da pesquisa e que também poderá retirar o seu consentimento, sem que isso lhe traga qualquer prejuízo. Garantir que as informações conseguidas através da sua participação não permitirão a identificação da sua pessoa, exceto aos responsáveis pela pesquisa, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

Endereço d(os, as) responsável(is) pela pesquisa:

**Nome:**

**Instituição:**

**Endereço:**

**Telefones para contato:**

**ATENÇÃO:** Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344/46. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado \_\_\_\_\_, \_\_\_\_ anos, RG: \_\_\_\_\_, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que li cuidadosamente este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome do participante da pesquisa

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:

Nome do pesquisador

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:

Nome da testemunha (se o voluntário não souber ler)

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:

Nome do profissional que aplicou o TCLE

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:

### APÊNDICE C - FORMULÁRIO TESTE DE ACEITAÇÃO E CATA

Nome: _____ Data: _____ Idade ( ) <18 ( ) 18-25 ( ) 26-35 ( ) 36-50 ( ) >50 Você está recebendo amostras de estruturado de cajá-umbu probiótico.		
<b>AMOSTRA:</b> _____		
<b>Por favor, PROVE a amostra e indique o quanto você gostou ou desgostou da APARÊNCIA, SABOR, COR, AROMA, TEXTURA E ACEITAÇÃO GLOBAL, utilizando a escala abaixo:</b>		
<b>APARÊNCIA</b>	<b>SABOR</b>	<b>COR</b>
<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei <input type="radio"/> desgostei muito <input type="radio"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____	<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei <input type="radio"/> desgostei muito <input type="radio"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____	<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei <input type="radio"/> desgostei muito <input type="radio"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____
<b>AROMA</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>ACEITAÇÃO GLOBAL</b>
<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei	<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei	<input type="radio"/> gostei muitíssimo <input type="radio"/> gostei muito <input type="radio"/> gostei <input type="radio"/> gostei pouco <input type="radio"/> não gostei nem desgostei <input type="radio"/> desgostei pouco <input type="radio"/> desgostei

<input type="checkbox"/> desgostei muito <input type="checkbox"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____	<input type="checkbox"/> desgostei muito <input type="checkbox"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____	<input type="checkbox"/> desgostei muito <input type="checkbox"/> desgostei muitíssimo Comentário: _____ _____
<b>Abaixo estão listados vários termos. Marque TODOS os termos que CARACTERIZAM a amostra.</b>		
<b>APARÊNCIA</b>	<b>AROMA</b>	<b>SABOR</b>
<input type="checkbox"/> Cor amarela vivida <input type="checkbox"/> Cor amarela claro <input type="checkbox"/> Cor alaranjada <input type="checkbox"/> Aparência brilhosa <input type="checkbox"/> Aparência opaca <input type="checkbox"/> Homogêneo <input type="checkbox"/> Heterogêneo <input type="checkbox"/> Encorpado <input type="checkbox"/> Diluído <input type="checkbox"/> Consistente <input type="checkbox"/> Quebradiço <input type="checkbox"/> Presença de partículas <input type="checkbox"/> Outros: _____ _____	<input type="checkbox"/> Aroma frutado <input type="checkbox"/> Aroma cítrico <input type="checkbox"/> Aroma de manga <input type="checkbox"/> Aroma de cajá <input type="checkbox"/> Aroma de caju <input type="checkbox"/> Aroma de maracujá <input type="checkbox"/> Aroma de abacaxi <input type="checkbox"/> Aroma não identificado <input type="checkbox"/> Outros: _____ _____	<input type="checkbox"/> Gosto doce <input type="checkbox"/> Gosto ácido <input type="checkbox"/> Gosto amargo <input type="checkbox"/> Sabor diluído <input type="checkbox"/> Sabor frutado <input type="checkbox"/> Sabor agri-doce <input type="checkbox"/> Sabor de manga <input type="checkbox"/> Sabor de cajá <input type="checkbox"/> Sabor de caju <input type="checkbox"/> Sabor de maracujá <input type="checkbox"/> Sabor de abacaxi <input type="checkbox"/> Sabor não identificado <input type="checkbox"/> Outros: _____ _____