

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de agronomia Eliseu Maciel
Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos



Tese

Viabilidade de *Lactocaseibacillus casei* CSL3 frente a microencapsulação por *Spray dryer* em materiais encapsulantes distintos

Guilherme da Silva Menegazzi

Pelotas, 2023

Guilherme da Silva Menegazzi

Viabilidade de *Lactobacillus casei* CSL3 frente a microencapsulação por *Spray dryer* em materiais encapsulantes distintos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Comitê de orientação: Prof^a. Dr^a. Patrícia Silva Diaz

Dr^a. Michele Dutra Rosolen

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M541v Menegazzi, Guilherme da Silva

Viabilidade de *Lactocaseibacillus casei* CSL3 frente a microencapsulação por *Spray dryer* em materiais encapsulantes distintos / Guilherme da Silva Menegazzi ; Patrícia Silva Diaz, orientadora ; Michele Dutra Rosolen, coorientadora. — Pelotas, 2023.

172 f. : il.

Tese (Doutorado) — Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Cápsula. 2. Goma xantana. 3. Fruto-oligossacarídeos. 4. Probióticos. 5. Simbióticos. I. Diaz, Patrícia Silva, orient. II. Rosolen, Michele Dutra, coorient. III. Título.

CDD : 664.06

Guilherme da Silva Menegazzi

Viabilidade de *Lactobacillus casei* CSL3 frente a microencapsulação por *Spray dryer* em materiais encapsulantes distintos

Tese aprovada, como requisito para à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 06/10/2023

Banca examinadora:

.....
Prof^a. Dr^a. Patrícia Silva Diaz

Doutora em Biotecnologia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof^a. Dr^a. Rosana Colussi

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof^a. Dr^a Michelle Barboza Nogueira

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

.....
Dr^a Karina Oliveira Lima

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

.....
Dr^a Joice Miliane de Oliveira

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

.....

**À minha família, que me ensinaram que a palavra
convence, mas o exemplo transforma.**

AGRADECIMENTOS

À Deus pois sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, Ronaldo e Rosângela, minha irmã Giovanna, meu avô Adão, meu avô Roberto, minha dinda e tia Carmem e família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos meus colegas de laboratório, na qual tenho muito respeito, orgulho e admiração. Obrigado por tudo, por cada conselho, ajuda, apoio, frases positivas, risadas, momentos de descontração e pelo café de cada dia. Obrigado por estarem comigo e fazer parte desta jornada. Levarei todos em meu coração e quero que saibam que sempre poderão contar comigo.

Aos meus colegas de aula, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas e por toda a ajuda que me deram ao longo deste tempo de convivência,.

Aos alunos de iniciação científica que trabalharam neste projeto. Obrigado por todo apoio, ajuda e horas dedicadas a este trabalho sendo estas muitas vezes além do horário normal, finais de semana e feriados. Tenho certeza que vocês serão ótimos profissionais e principalmente ótimas pessoas no futuro e saibam que poderão contar comigo sempre que precisarem.

A todo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Biotecnologia por toda a ajuda com equipamentos, análises e apoio e às pessoas com quem convivi nesse espaço ao longo desse período.

À minha orientadora Patrícia Silva Diaz e coorientadora Michele Dutra Rosolen pela paciência na orientação, incentivo, ensinamentos, apoio e conversas que tornaram possível a conclusão desta tese.

A todos que de maneira direta e indiretamente fizeram parte dessa etapa da minha vida. Muito Obrigado!!

“Existem muitas hipóteses na ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”.

Carl Sagan

Resumo

MENEGAZZI, Guilherme da Silva. **Viabilidade de *Lactocaseibacillus casei* CSL3 frente a microencapsulação por *Spray dryer* em materiais encapsulantes distintos**. 2023. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Silva Diaz. 2023. 172f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Os probióticos, vêm sendo cada vez mais utilizados como suplementos alimentares, reduzindo a incidência de diversas doenças. Pesquisas se engajam na aplicação destes microrganismos, especialmente em alimentos para consumo humano, porém há a necessidade de aprimorar o método de proteção dos mesmos devido a fastiosidade deste grupo de microrganismos. Técnicas como as de imobilização são opções estudadas e aplicadas para proteção de probióticos. A escolha da técnica e do material de revestimento/aprisionamento destes microrganismos é de extrema importância a fim de garantir sua viabilidade. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e maximizar o rendimento de cápsulas simbióticas produzidas com *Lactocaseibacillus casei* CSL3 através do processo de *spray dryer* utilizando diferentes misturas de goma xantana, fruto-oligossacarídeos e soro de queijo como material encapsulante. A pesquisa foi organizada em 2 capítulos. O Capítulo I aborda a revisão sistematicamente da literatura, dos últimos 5 anos, quanto ao estado da arte em imobilização, materiais utilizados e aplicação de probióticos em alimentos constatando-se que escolha da técnica e do material de revestimento/aprisionamento envolvido precisa observar vários fatores, como custo para implementação, tempo de processamento, e qualidade do produto final tendo em vista que muitas técnicas apresentam resultados promissores e eficientes e que os materiais geralmente são combinados, aliando seus potenciais e, por fim, verificou-se que a aplicação de probióticos caminha para além daqueles alimentos clássicos de fonte probiótica que são os derivados lácteos, devido a diferentes demandas no setor alimentício probiótico, e muitas pesquisas que investigam formas inovadoras, em muitos casos com sucesso, na aplicação de probióticos encapsulados em bebidas vegetais, produtos cárneos, frutas desidratadas entre outros. O Capítulo II buscou desenvolver e maximizar o rendimento de microcápsulas simbióticas produzidas com *Lactocaseibacillus casei* CSL3 através do processo de *spray dryer* utilizando diferentes misturas de goma xantana, fruto-oligossacarídeos e soro de queijo como material encapsulante. A maximização do rendimento de encapsulação por *spray dryer* utilizando as misturas SF e SFX foi alcançada com valores de 44,7 e 31,4% enquanto a eficiência de encapsulação foi de 98,7 e 99,4%, respectivamente. Durante todo o período de armazenamento, ambos os tipos de microcápsulas protegeram eficazmente *Lactocaseibacillus casei* CSL3 (*L. casei* CSL3), garantindo a manutenção da viabilidade celular mínima por pelo menos 56 dias. Notavelmente, as microcápsulas contendo goma xantana exibiram preservação superior da viabilidade celular tanto em temperatura de refrigeração quanto em temperatura ambiente. Além disso, as microcápsulas demonstraram proteção eficaz de *L. casei* CSL3 durante condições gastrointestinais simuladas, com as microcápsulas SF e SFX exibindo notável resistência contra ácidos e sais biliares. Durante o teste térmico, a microcápsula simbiótica produzida com a mistura SFX se mostrou mais resistente conseguindo manter contagens acima de 10^6 Log CFU.g⁻¹ em 70°C por 30 minutos (min) de exposição. A combinação e interação de goma xantana, proteína de soro de leite e fruto-oligossacarídeos desempenharam um papel crucial na proteção geral de *L. casei* CSL3, possibilitando assim sua aplicação em sopa desidratada mantendo a viabilidade de 10^6 Log CFU.g⁻¹ por

aproximadamente 49 dias e, com isso, aplicando a diversidade de aplicações na indústria alimentícia.

Palavras-chave: cápsula; goma xantana; fruto-oligossacarídeos; probióticos; simbióticos e resistência térmica.

Abstract

MENEGAZZI, Guilherme da Silva. Viability of *Lactocaseibacillus casei* CSL3 against microencapsulation by spray dryer in different encapsulating materials. 2023. Advisor: Prof. Dr. Patrícia Silva Diaz. 2023. 172f. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology) – Postgraduate Program in Food Science and Technology. Faculty of Agronomy Eliseu Maciel. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Probiotics have been increasingly used as dietary supplements, reducing the incidence of various diseases. Research is involved in the application of these microorganisms, especially in food for human consumption, but there is a need to improve the method of protecting them due to the fastidiousness of this group of microorganisms. Techniques such as immobilization are options studied and applied to protect probiotics. The choice of technique and material for coating/trapping these microorganisms is extremely important in order to guarantee their viability. The objective of this work was to develop and maximize the yield of symbiotic capsules produced with *Lactocaseibacillus casei* CSL3 through the spray dryer process using different mixtures of xanthan gum, fructo-oligosaccharides and cheese whey as encapsulating material. The research was organized into 2 chapters. Chapter I addresses a systematic review of the literature, from the last 5 years, regarding the state of the art in immobilization, materials used and application of probiotics in foods, noting that the choice of technique and coating/entrapment material involved needs to take into account several factors, such as cost for implementation, processing time, and quality of the final product considering that many techniques present promising and efficient results and that materials are generally combined, combining their potential and, finally, it was found that the application of probiotics goes beyond those classic foods with a probiotic source, which are dairy derivatives, due to different demands in the probiotic food sector, and a lot of research that investigates innovative ways, in many cases successfully, in the application of encapsulated probiotics in vegetable drinks, meat products, dehydrated fruits among others. Chapter II sought to develop and maximize the yield of symbiotic microcapsules produced with *Lactocaseibacillus casei* CSL3 through the spray dryer process using different mixtures of xanthan gum, fructo-oligosaccharides and cheese whey as encapsulating material. Maximizing the encapsulation yield by spray dryer using the SF and SFX mixtures was achieved with values of 44.7 and 31.4% while the encapsulation efficiency was 98.7 and 99.4%, respectively. During the entire storage period, both types of microcapsules effectively protected *Lactocaseibacillus casei* CSL3 (*L. casei* CSL3), ensuring the maintenance of minimum cell viability for at least 56 days. Notably, microcapsules containing xanthan gum exhibited superior preservation of cell viability at both refrigeration and room temperatures. Furthermore, the microcapsules demonstrated effective protection from *L. casei* CSL3 during simulated gastrointestinal conditions, with the SF and SFX microcapsules exhibiting remarkable resistance against bile acids and salts. During the thermal test, the symbiotic microcapsule produced with the SFX mixture proved to be more resistant, managing to maintain counts above 10^6 Log CFU.g⁻¹ at 70°C for 30 minutes (min) of exposure. The combination and interaction of xanthan gum, whey protein and fructooligosaccharides played a crucial role in the general protection of *L. casei* CSL3, thus enabling its application in dehydrated soup while maintaining the viability of 10^6 Log CFU.g⁻¹ per approximately 49 days and, therefore, applying the diversity of applications in the food industry.

Keywords: capsule; xanthan gum; fructooligosaccharides; probiotics; symbiotic and thermal resistance.

Lista de figuras

Figura 1 - Apresentação resumida da fermentação de bactérias homofermentativas e heterofermentativas.....	22
Figura 2 - Termos de identificação utilizados para a busca de artigos.....	40
Figura 3 - Análise bibliométrica da produção científica encontrada.....	41
Figura 4 - Linha do tempo das definições de probióticos.....	44
Figura 5 - Diferentes mecanismos de imobilização celular de microrganismos.....	46
Figura 6 - Tamanhos de partículas obtidas pelas diferentes técnicas utilizadas para a imobilização de microrganismos probióticos.....	47
Figura 7 – Curva de contorno para rendimento (%) no DCCR 2 ³ em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis para SF.....	87
Figura 8 – Curva de contorno para rendimento (%) no DCCR 2 ³ em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis para SFX.....	88
Figura 9 - Viabilidade da cápsula probiótica de <i>L. casei</i> CLS 3 produzida com a mistura SF ao armazenamento a 25°C com exposição ao trato gastrointestinal. Resultados apresentados como média±desvio padrão (n = 3). PAN S/B (pancreatina sem sais biliares). PAN C/B (pancreatina com saisi biliares).....	96
Figura 10 - Viabilidade da cápsula probiótica de <i>L. casei</i> CLS 3 produzida com a mistura SFX ao armazenamento a 25°C com exposição ao trato gastrointestinal. Resultados apresentados como média±desvio padrão (n = 3). PAN S/B (pancreatina sem sais biliares). PAN C/B (pancreatina com saisi biliares).....	97
Figura 11 - Variação de viscosidade versus taxa de cisalhamento para as misturas SF e SFX.....	102
Figura 12 - Microscopia eletrônica de varredura (SEM) das cápsulas de <i>L casei</i> CLS3 encapsulado com as misturas SF (a e b) e SFX (c e d) armazenados à 25°C.....	104
Figura 13. Espectro de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier: (a) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos, goma xantana e <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (b) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos e <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (c) fruto-oligossacarídeos; (d) proteína de soro de queijo; (e) <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (f) goma xantana.....	105
Figura 14. Difrátogramas de raios X: (a) microcápsulas contendo soro de queijo, frutooligossacarídeos, goma xantana e <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (b) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos e <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (c) fruto-oligossacarídeos; (d) proteína de soro de queijo; (e) <i>Lacticaseibacillus casei</i> CSL3; (f) goma xantana.....	106
Figura 15 – Contagem de células viáveis de <i>L casei</i> CSL3 aplicadas em matriz alimentar.....	110

Lista de tabelas

Tabela 1 - Aplicação de probióticos em matrizes alimentares por diferentes técnicas e materiais encapsulantes.....	69
Tabela 2 - Planejamento experimental 2^3 com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais.....	78
Tabela 3 - Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 (valores reais) para maximização do rendimento da mistura SF.....	84
Tabela 4 - Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 (valores reais) para maximização do rendimento da mistura SFX.....	85
Tabela 5 - Coeficiente de regressão (CR), erro padrão (EP) e nível de significância para a resposta rendimento do processo.....	86
Tabela 6 - Análise de variância para o Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 para SF.....	87
Tabela 7 - Coeficiente de regressão (CR), erro padrão (EP) e nível de significância para a resposta rendimento do processo.....	88
Tabela 8 - Análise de variância para o Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 para SFX.....	88
Tabela 9 - Rompimento das cápsulas imersas em PBS e solução salina.....	92
Tabela 10 - Viabilidade do <i>L. casei</i> CSL3 antes e após a encapsulação.....	95
Tabela 11 - Efeito do tratamento térmico nas cápsulas de <i>L. casei</i> CLS3.....	101
Tabela 12 - Parâmetros reológicos obtidos pelas análises das misturas SF e SFX pela aplicação do modelo da Lei da Potência (Modelo de Ostwald-de-Waele).....	103
Tabela 13 - Estabilidade térmica de microcápsulas contendo soro de queijo, frutooligossacarídeos e goma xantana para proteção de <i>Lactocaseibacillus casei</i> CSL3.....	107
Tabela 14 - Parâmetros cinéticos para degradação térmica de <i>Lactocaseibacillus casei</i> CSL3.....	109

Lista de abreviaturas e siglas

Lacticaseibacillus casei CSL3 - *L. casei* CSL3

CFU - Unidade Formadora de Colônia

CSS - Concentração de Sólidos Solúveis

FOS - fruto-oligossacarídeos

SF - mistura produzida com uma combinação de Soro de queijo e fruto-oligossacarídeos

SFX - mistura produzida com uma combinação de Soro de queijo, Fruto-oligossacarídeos e Goma xantana

EE - Eficiência de encapsulação

PBS - Tampão fosfato-salino

°C - Graus Celsius

g – Grama

GRAS - *Generally Recognized As Safe*

H – Horas

L – Litros

Log - Logarítmo em base dez

Rpm – Rotações por minuto

S – Segundos

μL – Microlitro

μm – Micrômetro

mg – Miligrama

m/v – Massa/volume

m/m – Massa/massa

SUMÁRIO

Resumo	10
Abstract	12
Lista de figuras	13
Lista de tabelas	14
Lista de abreviaturas e siglas	15
1 Introdução	12
2 Objetivo	14
2.1 Objetivos específicos	14
3 Revisão bibliográfica	15
3.1 Alimentos Funcionais	15
3.2 Probióticos, Paraprobióticos, Pos-bióticos, Prebióticos e Simbióticos	16
3.2.1 Probióticos	16
3.2.2 Paraprobióticos e pos-bióticos	18
3.3 Bactérias Ácido lácticas	20
3.4 Encapsulação	23
3.5 Materiais encapsulantes	29
3.5.1 Proteínas do soro de queijo	31
3.5.2 Fruto-oligossacarídeos	32
3.5.3 Goma xantana	33
CAPÍTULO 1	34
Resumo	35
Abstract	36
1 Introdução	37
2 Metodologia	39
3 Análise bibliométrica e produção científica	41
4 Probióticos, Para-biótico, Pós-biótico	42
5 Imobilização de microrganismos probióticos	45
5.1 Liofilização	47
5.2 Extrusão	48
5.3 Secagem por pulverização (<i>Spray drying</i>)	49
5.4 Engaiolamento/Inclusão celular	50
5.5 Gelificação	51
5.6 Emulsificação	52
6 Materiais utilizados na encapsulação de microrganismos probióticos	53
6.1 Carboidratos	53
6.1.1 Maltodextrina	53

6.1.2 Quitosana	54
6.1.3 Amido	55
6.1.4 Inulina	56
6.1.5 Pectina	57
6.2 Proteínas	58
6.2.1 Proteínas do soro de leite	58
6.3 Sais	58
6.3.1 Alginato de sódio	58
7 Microrganismos Probióticos em Matrizes Alimentares	59
7.1 Probióticos em alimentos lácteos	60
7.2 Bebidas não lácteas probióticas	64
7.3 Aplicação de probióticos em vegetais, cereais e frutas	65
8 Considerações finais	72
CAPÍTULO 2	73
Resumo	74
Abstract	75
1 Introdução	76
2 Material e métodos	77
2.1 Microrganismo e condições de cultura	77
2.2 Otimização da encapsulação de probióticos por <i>spray dryer</i>	78
2.3 Rendimento do processo e eficiência de encapsulação	79
2.4 Teste de ruptura da cápsula	79
2.5 Viabilidade de <i>L. casei</i> CSL3 encapsulado ao armazenamento	80
2.6 Viabilidade de <i>L. casei</i> CSL3 encapsulado frente as condições do trato gastrointestinal ..	80
2.7 Resistência térmica	81
2.8 Viscosidade	81
2.9 Morfologia	81
2.10 Infra-vermelho com transformada de Fourier	81
2.11 Difração de raios X	82
2.12 Calorimetria Diferencial de Varredura	82
2.13 Sinética de Degradação do <i>L. casei</i>	82
2.15 Análise estatística	83
3. Resultados e discussão	84
3.1 Maximização do rendimento de processo das misturas SF e SFX	84
3.1.1 Verificação do modelo empírico para o DCCR	85
3.2 Teste de ruptura da cápsula, viabilidade, eficiência de encapsulação e rendimento de processo	90

3.2.1 Teste de ruptura da cápsula	90
3.2.2 Viabilidade, eficiência de encapsulação e rendimento de processo	93
3.3 Viabilidade do <i>L. casei</i> CSL3 encapsulado durante o armazenamento à 25°C e sobrevivência frente a simulação <i>in vitro</i> das condições do trato gastrointestinal.....	96
3.4 Resistência das células do <i>L. casei</i> CSL3 frente ao teste térmico	100
3.5 Reologia das misturas SF e SFX utilizadas na obtenção de cápsulas de <i>L. casei</i> CSL3..	101
3.6 Morfologia	103
3.7 Avaliação estrutural das microcápsulas	105
3.8 Avaliação da cristalinidade das microcápsulas	106
3.9 Propriedades térmicas das microcápsulas	107
3.10 Cinética de degradação do <i>L. casei</i> CSL3	108
3.11 Aplicação em matriz alimentar	109
4 Conclusão	111
4 Considerações finais	113
5 Referências bibliográficas	115
Apêndice 1.....	164
Apêndice 2.....	164

1 Introdução

A ciência vem avançando em diversas áreas, e na nutrição não seria diferente. Através do desenvolvimento de novos conceitos, com a nutrição otimizada, a alimentação passou a ser pensada como uma maneira de maximizar as funções fisiológicas de cada indivíduo desenvolvendo a saúde mental, física e reduzindo o risco de desenvolver doenças ao longo da vida (ROBERFROID, 2002; SAAD, 2006; DINKÇI; AKDENIZ; AKALIN, 2019).

O Japão é o berço do termo “comida funcional” sendo o termo introduzido na metade de 1980 como comidas fortificadas com constituintes especiais capazes de fornecer benefícios a saúde do consumidor (BHAT; BHAT, 2011; ROBERFROID, 2011). Assim, um alimento pode ser considerado funcional se for demonstrado que afeta benéficamente uma ou mais funções-alvo no corpo através de efeitos nutricionais adequados, promovendo o bem-estar, saúde ou a redução do risco de uma doença (TIRAPEGUI, 2006; BIGLIARDI; GALATI, 2013).

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1999) alimentos funcionais são definidos como alimentos que apresentam outros benefícios além de nutrir, pois contêm constituintes que podem auxiliar, por exemplo, na manutenção de níveis saudáveis de triglicerídeos; na proteção das células contra os radicais livres; no funcionamento do intestino; na redução da absorção do colesterol; entre outros, desde que seu consumo esteja associado a uma alimentação equilibrada e a hábitos de vida saudáveis.

Os produtos que se encaixam nesta categoria são regulamentados pela Resolução Normativa nº 19/1999, que aprova o regulamento técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e/ou de saúde em sua rotulagem (ANVISA, 1999).

Há uma variedade de produtos que é denominada como funcional, como por exemplo: iogurte Doogh (POURJAFAR et al., 2020), Suco de laranja (RAMA et al., 2020), Chá verde (HERNÁNDEZ-BARRUETA et al., 2020), atuando em diversas funções corporais e melhorando as condições gerais do indivíduo, como por exemplo a diminuição do risco de aparecimento de algumas doenças e redução do colesterol (BECH-LARSEN; GRUNERT, 2003; ROBERFROID, 2011).

Dentre os alimentos funcionais podemos elencar os probióticos e prebióticos (BIGLIARDI; GALATI, 2013). Sendo capazes de promover nutrição básica, e saúde,

através de mecanismos não compreendidos na nutrição convencional sendo importante observar que o efeito promovido se restringe a promoção da saúde e não a cura de doenças (SANDERS, 2003).

Em 2001, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) em uma reunião para atualização da definição de prebióticos definiu como um componente alimentar inviável que confere benefício à saúde do hospedeiro associado a modulação da microbiota (PINEIRO et al., 2008). Enquanto que os probióticos, conforme descritos pela (FAO/WHO, 2001) são microrganismos, como bactérias e leveduras que quando administradas em quantidades adequadas, conferem benefícios a saúde do hospedeiro.

O trato gastrointestinal humano é colonizado por um complexo ecossistema cinético de microrganismos que desempenham as funções fisiológicas do indivíduo não sendo apenas comensais, mas evoluindo de forma simbiótica com outros microrganismos e com o indivíduo até que algum microrganismo prejudicial e potencialmente patogênico se instale e passe a dominar o ecossistema (SAAD, 2006; MARKOWIAK; ŚLIŻEWSKA, 2017). A maioria das bactérias lácticas são reconhecidas como de grau alimentício e raramente são relacionadas a infecções em humanos. Além disso, muitas dessas bactérias não estão apenas naturalmente presentes em alimentos animais e vegetais comumente consumidos, mas também encontradas no trato gastrointestinal de humanos saudáveis (RODRIGUES et al., 2020).

Porém, os probióticos são sensíveis a altas temperaturas, oxigênio e variações de potencial hidrogeniônico (pH) (RAZAVI et al., 2021). Em virtude dessa sensibilidade, são geralmente secos facilitando sua aplicação, manuseio, transporte e principalmente aumentando o seu tempo de vida útil no produto. No entanto, o processo de secagem pode acarretar em perda de viabilidade celular dos probióticos por utilizar, principalmente altas temperaturas para a obtenção do produto final (SANTIVARANGKA et al., 2006).

Segundo Tripathi e Giri (2014), diversas técnicas de secagem são utilizadas para aumentar a vida útil do produto contendo o probiótico, como por exemplo: secagem ao ar quente, liofilização (*freeze dryer*), secagem a vácuo e secagem por pulverização (*spray dryer*), sendo esta última, a técnica mais barata e mais utilizada na secagem dos probióticos.

A maioria destes métodos é baseado do aprisionamento das células probióticas em polímeros (materiais de parede) como gomas naturais (goma arábica, alginato de sódio, carragena, goma xantana, ágar, pectina, etc.) (ANAL; SINGH, 2007; LI et al., 2019), proteínas (soro de leite, gelatina, caseína, albumina, glúten, etc.) (KRASAEKOOPT et al., 2004; GANDOMI et al., 2016), carboidratos (amido, maltodextrinas, sacarose, lactose, etc.) (GARCIA, 2016; ASHWAR et al., 2018), e lipídeos (cera, parafina, óleos, gorduras) (NOGUEIRA, 2017), sendo estes utilizados de forma isolada ou em misturas.

Carboidratos como o amido e a maltodextrina são amplamente utilizados como material encapsulante, no entanto, a utilização de Fruto-oligossacarídeos (FOS) é pouco relatada na literatura como material encapsulante devido, principalmente, a sua baixa temperatura de transição vítrea (RAJAM; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015). Contudo, essa situação pode ser contornada com uma combinação de materiais de alto peso molecular alterando a temperatura de transição vítrea tornando possível a utilização para o desenvolvimento de cápsulas simbióticas (ADHIKARI et al., 2009).

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia de Bioprocessos pertencente ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTec)-UFPel com a proposta de produzir cápsulas simbióticas com *Lactocaseibacillus casei* CSL3 através do processo de *Spray dryer* utilizando diferentes materiais encapsulantes.

2 Objetivo

Desenvolver e maximizar o rendimento de cápsulas simbióticas produzidas com *Lactocaseibacillus casei* CSL3 através do processo de *Spray dryer* utilizando diferentes misturas de goma xantana, fruto-oligossacarídeos e soro de queijo como material encapsulante.

2.1 Objetivos específicos

Produzir goma xantana de baixa viscosidade sintetizada pela bactéria *Xanthomonas arboricola* pv pruni isolado 66;

Estudar as condições do processo de secagem por *Spray dryer*, como a temperatura do ar de entrada e a concentração de sólidos solúveis totais na mistura visando à maximização do rendimento;

Imobilizar *Lactocaseibacillus casei* CSL3 por meio da técnica de *Spray dryer*, utilizando goma xantana, soro de queijo e fruto-oligossacarídeos em diferentes concentrações;

Avaliar a eficiência de encapsulação e o rendimento do processo após a secagem, a viabilidade ao armazenamento, a sobrevivência ao TGI simulado *in vitro*, a resistência ao tratamento térmico, a morfologia e as características físico-químicas;

Aplicar *Lactocaseibacillus casei* CSL3 encapsulado em matriz alimentar e avaliar a viabilidade celular durante o preparo.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Alimentos Funcionais

Os alimentos funcionais são alimentos desenvolvidos baseando-se em conhecimentos científicos e que se acredita oferecerem benefícios específicos para a saúde aquando do seu consumo (HASLER, 2002).

Estes alimentos necessitam de licenças concedidas pelas autoridades competentes nos países onde são comercializados e são obrigados a ostentar rótulos que apresentem as alegações de saúde autorizadas pelas agências competentes. (SINHA; PARMAR, 2023).

Para que um alimento seja funcional, é preciso que este seja constituído de ingredientes de ocorrência natural, fazer parte da dieta usual, exercer um efeito metabólico ou fisiológico para a saúde física. Além disso, devem proporcionar efeitos positivos em quantidades não tóxicas trazendo benefícios à saúde humana no tratamento da obesidade, na prevenção de doenças cardiovasculares, no balanço de colesterol plasmático, na prevenção do câncer entre outros (TIRAPEGUI, 2006; BIGLIARDI; ALISSA; FERNS, 2012; GALATI, 2013; REIS et al., 2017^A; REIS et al., 2017^B).

Os alimentos funcionais, são aqueles que participam da nutrição básica e promovem um efeito benéfico à saúde e ao bem-estar de um indivíduo fornecendo nutrientes que contribuem com valor nutricional. Eles passaram a se concentrar nos aditivos alimentares capazes de fornecer um efeito benéfico a composição da microbiota intestinal sendo, atualmente, os probióticos e prebióticos e aditivos alimentares que compõem esses alimentos funcionais (FREIRE; SILVA; MAGRI, 2001; MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2002; SAAD, 2006).

3.2 Probióticos, Paraprobióticos, Pos-bióticos, Prebióticos e Simbióticos

3.2.1 Probióticos

A história moderna dos probióticos começa no início de 1900, com os estudos pioneiros de Élie Metchnikoff, um cientista russo que investigou os possíveis efeitos dos microrganismos envolvidos em processos de fermentação na saúde humana. Ele associou maior longevidade aos indivíduos que consumiam regularmente produtos fermentados como o iogurte (GASBARRINI et al., 2016). Após 56 anos, Lilly e Stillwell (1965) observaram que alguns microrganismos secretavam estimuladores de crescimento para outros promovendo um efeito positivo, levando a indução do termo probiótico.

A primeira vez que o termo probiótico foi utilizado foi em 1960 por Parker, seguido de Fuller que enfatizou, em 1989, os probióticos como microrganismos vivos que afetam positivamente a saúde de animais endotérmicos, restaurando a microbiota natural. Nos próximos anos, Haveenar (1992) definiu os probióticos como cultura pura ou mista de bactérias viáveis que, quando utilizadas no ser humano contribui beneficemente com a microbiota natural do indivíduo. A ampliação da definição de probióticos surgiu com Salminen e Schaafsma (1996) por não limitar os efeitos à saúde somente aos microrganismos presentes na microbiota intestinal (ZENDEBOODI et al., 2020).

De acordo com Salminen e Schaafsma (1996), um probiótico é uma cultura microbiana viva ou um produto lácteo cultivado que influencia beneficemente a saúde e a nutrição do hospedeiro. Segundo Schaafsma, os probióticos são microrganismos vivos que, ao serem ingeridos em quantidade adequada, exercem efeitos sobre a saúde além da nutrição básica inerente, enquanto Schrezenmeir e De Vrese (2001) consideraram que probióticos são microrganismos vivos que exercem efeitos benéficos à saúde independentemente do local de ação (ZENDEBOODI et al., 2020).

Uma das definições ainda muito utilizada pelos pesquisadores como critério de aplicação em drogas, suplementos e alimentos probióticos, é proposta pela FAO/OMS (2001), que definiu como “microrganismos vivos que quando administrados em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro”. Em 2014, foi convocado um painel de especialistas pelo *International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP)* a fim de rever o conceito de probiótico sendo

mantida a definição proposta pela FAO/OMS (2001) (HILL et al., 2014). No entanto, evidências recentes sugerem que a viabilidade bacteriana não é necessária para atingir os efeitos de promoção da saúde, uma vez que nem todos mecanismos e benefícios clínicos estão diretamente relacionados a bactérias viáveis (AGUILAR-TOALÁ et al., 2018).

Os probióticos são tipicamente microrganismos membros das espécies *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (LI et al., 2019). Os probióticos tem um grande potencial para modificar a microbiota intestinal do indivíduo. O gênero *Lactobacillus* ssp., tem recebido muita atenção em virtude do seu potencial probiótico com avaliação das cepas *L. acidophilus* LA1, *L. acidophilus* NCFB 1748, *Lactobacillus* GG, *L. casei* Shirota, *Lactobacillus gasseri* ADH e *Lactobacillus reuteri* apresentando efeitos clínicos como o aprimoramento imunológico, redução da atividade das enzimas fecais, prevenção de distúrbios intestinais e redução da diarreia viral (BATT; TORTORELLO, 2014).

Para a produção de alimentos probióticos a escolha de uma cepa apropriada é essencial devido a necessidade de um alto número de células viáveis (vivas) durante o consumo. Também são critérios importantes para a seleção da cepa probiótica as propriedades sensoriais, viabilidade durante o processamento e estabilidade durante o armazenamento dos alimentos (MATTILA-SANDHOLM et al., 2002; TALWALKAR; KAILASAPATHY, 2004).

Como organismos vivos, as bactérias probióticas, assim como a maioria dos seres vivos, estão em constante interação com o meio em que vivem sendo expostas a condições, muitas vezes, desfavoráveis a seu desenvolvimento. Os probióticos são obtidos através de fermentação e para que haja o desenvolvimento celular fatores como a temperatura, conteúdo de oxigênio, acidez e potencial hidrogeniônico (pH) do meio de cultivo, umidade, atividade de água e estresse osmótico são de extrema importância (DINKÇI; AKDENİZ; AKALIN, 2019).

O efeito benéfico à saúde promovida pelos probióticos está intimamente associada a manutenção da viabilidade celular nas quantidades recomendadas nos alimentos, em todas etapas do seu processamento, até o consumo. A fim de garantir propriedades terapêuticas, é necessário que esteja presente uma quantidade mínima de 10^6 - 10^7 unidades formadoras de colônia (CFU g⁻¹) no produto final (DA CRUZ et al., 2010; ESPIRITO-SANTO et al., 2011; TRIPATHI; GIRI, 2014).

3.2.2 Paraprobióticos e pos-bióticos

Os para-probióticos, também conhecidos como probióticos não viáveis ou probióticos inativados, refere-se às células microbianas inativadas ou subprodutos metabólicos de microrganismos probióticos que possuem atividade biológica no hospedeiro (AGUILAR-TOALÁ et al., 2018). Apesar dos benefícios dos probióticos comprovados para a saúde, células microbianas não viáveis, ou frações inativadas podem ter vantagens, reduzindo o risco de translocação microbiana ou infecção demonstrada por alguns probióticos. A inativação celular bacteriana pode ser obtida por condições físicas (perturbação mecânica, tratamento térmico ou métodos de irradiação UV, alta pressão hidrostática e liofilização) ou químicas (desativação ácida) que pode alterar as estruturas celulares microbianas ou suas funções fisiológicas, e dessa forma, as bactérias tornam-se incapazes de multiplicarem-se e, assim, retêm os efeitos benéficos à saúde que a sua forma viável fornece (AGUILAR-TOALÁ et al., 2018).

As células inativadas podem liberar componentes bacterianos com importantes efeitos imunomodulatórios e com propriedades antagônicas contra patógenos. Diferentes componentes bacterianos como ácidos lipoteóicos, peptidoglicanos ou exopolissacarídeos estão, supostamente, envolvidos em mecanismos responsáveis por exercer efeitos benéficos à saúde do hospedeiro (PIQUÉ et al., 2019).

A aplicação de para-probióticos em alimentos pode oferecer certas vantagens em relação aos probióticos como menor ou nenhuma interação com outros componentes dos produtos alimentares, que poderiam diretamente refletir na vida útil do produto; maior facilidade de processamento como a possibilidade de ser adicionado antes do tratamento térmico com manutenção das suas propriedades exigidas para os benefícios à saúde pretendidos; simplicidade de armazenamento e transporte, o que pode resultar em maior facilidade para administração como suplementos para indivíduos imunocomprometidos (DE ALMADA et al., 2016).

Em geral, os pos-bióticos incluem bacteriocinas, ácidos orgânicos, etanol, diacetil, acetaldeídos e peróxido de hidrogênio. Além desses, certos probióticos inativados pelo calor também podem reter estruturas bacterianas importantes que podem exercer atividade biológica no hospedeiro. Os pos-bióticos não são tóxicos, nem patogênicos e resistem à hidrólise por enzimas de mamíferos (GEORGE KERRY et al., 2018).

Neste contexto, Zendeboodi et al., (2020) propõe uma nova terminologia para abranger todos os estados de benefícios para saúde mencionados na literatura até então, pelo fato dos termos para-probióticos e pos-bióticos serem considerados confusos e ambíguos. Para isto probiótico foi definido como “microrganismos viáveis ou células não viáveis (vegetativa ou esporo; intacta ou rompida) que é potencialmente promotor de saúde para o hospedeiro”. Incluindo probiótico verdadeiro (viável e ativo), pseudo-probiótico (viável, inativo, nas formas vegetativo ou esporo) e probiótico fantasma (inviável, inativo, nas formas intacta ou rompida) (ZENDEBOODI et al., 2020).

3.2.3 Prebióticos e simbióticos

Por outro lado, os prebióticos, de acordo com o ISAPP, são atualmente definidos como um “substrato que é usado seletivamente por microrganismos hospedeiros, conferindo um benefício à saúde”, podendo ser adicionado a diferentes formulações de alimentos para desenvolver produtos com alegações funcionais (HUTKINS et al., 2016; GIBSON et al., 2017).

Uma vez ingeridos nos alimentos, os prebióticos ao chegarem no trato gastrointestinal podem induzir a ativação e/ou desenvolvimento metabólico de microrganismos benéficos que residem na microbiota intestinal através da seletividade do substrato (MARTINEZ et al., 2015).

Diferentes ingredientes à base de fibra alimentar e fibras solúveis dietéticas são estudadas como potenciais prebióticos, sendo os mais conhecidos os frutooligossacarídeo (FOS), inulina, galactooligossacarídeos (GOS), xilooligosacarídeos (XOS), lactulose, amido resistente, pectina e β -glucanas (FAN et al., 2019; SANTOS et al., 2019; ZENG et al., 2019; SENÉS-GUERRERO et al., 2020). Alguns outros carboidratos não digeríveis têm sido estudados pelo seu potencial como prebióticos como o isomalto-oligossacarídeo (IMO), os xilopolissacarídeos (XPS), polidextrose e arabinoxilanas (WU et al., 2017; HO et al., 2018; COSTA et al., 2019; CHEN et al., 2019).

Há também, alguns compostos não carboidratos que tem sido estudado como potenciais prebióticos tais como: minerais, polifenóis e ácidos graxos poli-insaturados (GIBSON et al., 2017). Mesmo assim, a maioria dos dados disponíveis na literatura científica sobre os potenciais efeitos prebióticos estão relacionados com FOS e inulina (MARTINEZ et al., 2015). Ao realizar a combinação de probióticos e prebióticos de

forma simultânea em matrizes alimentares, uma atividade sinérgica pode ser conferida, desenvolvendo desta forma um produto com caráter simbiótico (WU et al., 2018).

No geral, esta interação oferece grande potencial para o desenvolvimento de produtos funcionais, bem como, a combinação entre ingredientes prebióticos e o microrganismo probiótico pode oferecer saúde ao hospedeiro e também estabilidade aos produtos ao longo do seu período de armazenamento (SANDERS; MARCO, 2010; KOLIDA; GIBSON, 2011; MARTINEZ et al., 2015).

O termo “simbiótico” foi introduzido por Gibbs e Roberfroid (1995) a fim de descrever uma combinação de prebióticos com probióticos de ação sinérgica. A combinação de ambos os componentes em um único produto deve proporcionar um efeito superior quando comparada com a atividade de ambos os componentes isoladamente (BENGMARK, 2005).

Essa abordagem engloba, também, a ideia de que a simbiose não melhora apenas a sobrevivência dos microrganismos benéficos nos alimentos, mas também estimula a proliferação de cepas bacterianas específicas que habitam o trato gastrointestinal (TESFAYE et al., 2019). A simbiose entre prebióticos e probióticos possibilita uma grande variedade de combinações e sua aplicação para a modulação da microbiota intestinal em humanos parece promissora (SCAVUZZI et al., 2014).

3.3 Bactérias Ácido lácticas

As bactérias ácido lácticas (BAL) podem ser descritas, de forma geral, como cocos ou bastonetes gram-positivos, catalase negativa, não esporulados, desprovidos de citocromos, de hábito não aeróbio, mas sendo aerotolerantes, não móveis, tolerantes a ácidos e estritamente fermentativos, produzindo ácido láctico como o principal produto durante a fermentação de carboidratos (PFEILER; KLAENHAMMER, 2007; HAYEK; IBRAHIM, 2013; KOCKOVÁ; DILONGOVÁ; HYBENOVÁ, 2013).

Taxonomicamente, as espécies de BAL são encontradas em dois filos distintos, sendo eles os Firmicutes e Actinobacterias. Dentro do filo Firmicutes, as BAL pertencem a ordem Lactobacillales e inclui os seguintes gêneros: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Tetragenococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Weissella*, *Alloiococcus*, *Symbiobacterium* e *Vagococcus* sendo todos os organismos com baixo teor de

guanina-citosina (31-49%) (PFEILER; KLAENHAMMER, 2007; KOCKOVÁ; DILONGOVA; HYBENOVÁ, 2013; WEDAJO, 2015). Dentro do filo Actinobacteria, as BAL pertencem aos gêneros *Atopobium* e *Bifidobacterium* (WEDAJO, 2015).

Bactérias ácido lácticas tem suas capacidades biossintéticas limitadas e, em razão disso, demandam uma quantidade elevada de fontes de carbono e nitrogênio, necessitando de habitats nutricionalmente ricos com alto teor de carboidratos como plantas, leite, alimentos fermentados, carnes, vegetais e superfícies mucosas do corpo humano onde a fermentação pode ocorrer (WEDAJO, 2015; PENG et al., 2020).

A capacidade das BALs de colonizar uma grande variedade de habitats é devido a ampla versatilidade metabólica das mesmas podendo, algumas espécies, serem encontradas no trato respiratório, intestinal e genital de humanos e animais (WEDAJO, 2015). Sendo assim, não é surpresa que esta classe de microrganismos venha sendo utilizado por décadas na preservação de alimentos, tendo um amplo consumo humano e certificadas como “geralmente reconhecido como seguro (GRAS)” (KLAENHAMMER et al., 2005).

As BALs, são bactérias industrialmente importantes sendo amplamente utilizadas na fermentação e preservação de alimentos, variando de culturas iniciadoras até probióticos em suplementos dietéticos, agentes de bioconversão, preparações farmacêuticas e síntese química (WEDAJO, 2015; PENG et al., 2020).

Outra forma de dividir as BALs é de acordo com a sua utilização dos açúcares disponíveis para a fermentação, sendo assim, classificadas em: Homofermentativo, heterofermentativo e heterofermentativo facultativo, conforme (Figura 1). Para os gêneros homofermentativos, como por exemplo, *Pediococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Lactococcus* sp. e alguns *Lactobacilos*, as hexoses são metabolizadas por enzimas da via glicolítica de Embden-Mayerhoff sendo mais de 90% do substrato convertido em ácido láctico durante o metabolismo anaeróbico. Gêneros heterofermentativos, *Weisella* sp., *Leuconostoc* sp. e alguns *Lactobacilos*, metabolizam hexoses pela via de Warburg-Dickens, isto é, pentose-fosfato, e durante o processo apenas 50% do substrato é convertido em ácido láctico, sendo restante metabolizado em ácido acético, ácido fórmico e etanol. De forma facultativa, alguns *Lactobacilos* heterofermentativos, podem metabolizar hexoses por meio de ambas as vias, no entanto, quando há deficiência de açúcares fermentáveis, a via Warburg-Dickens se predomina (HUTKINS, 2006; KOCKOVÁ; DILONGOVA; HYBENOVÁ, 2013;).

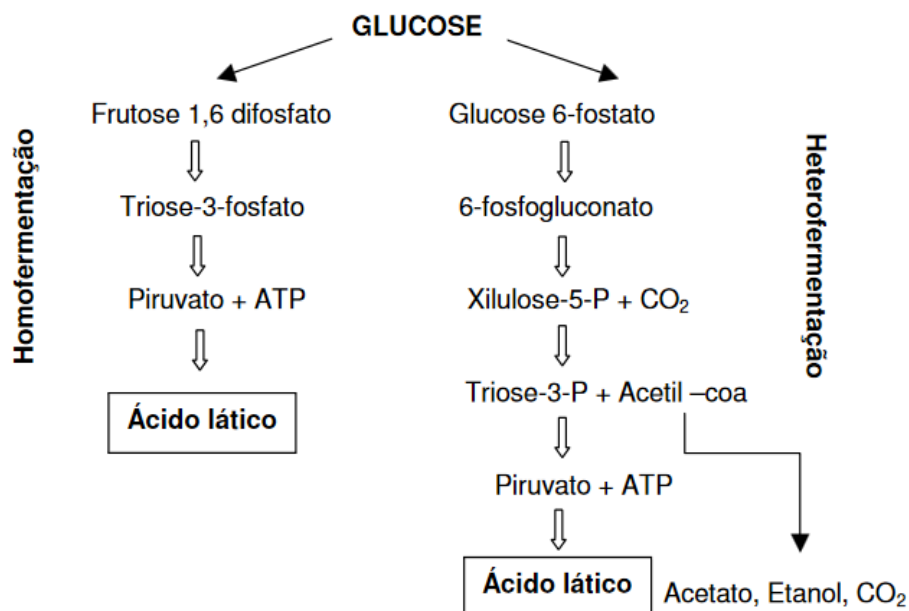


Figura 1 - Apresentação resumida da fermentação de bactérias homofermentativas e heterofermentativas.

Fonte: Ventura, 2007.

Na fermentação de alimentos, há três principais vias envolvidas no desenvolvimento do sabor característico nos produtos alimentícios sendo eles: glicólise (fermentação de açúcares), a lipólise (degradação das gorduras) e a proteólise (degradação das proteínas) (HAYEK; IBRAHIM, 2013; WEDAJO, 2015).

O produto da fermentação dos carboidratos é o lactato e uma fração de piruvato intermediário, que pode ser convertido em diacetil, acetoína, acetaldeído ou ácido acético (BINTSIS, 2018). Já na degradação das gorduras, as BALS apresentam pequena participação sendo a proteólise a principal via bioquímica relacionada a degradação destes componentes que posteriormente podem ser convertidos em vários álcoois, aldeídos, ácidos, ésteres e compostos de enxofre relacionados ao desenvolvimento de sabores específicos em alimentos (SOUSA; ARDO; MCSWEENEY, 2001; AMMOR; MAYO, 2007).

Além das características que são capazes de conferir aos alimentos, as BALS têm a capacidade de controlar o crescimento de fungos e remover substâncias que contaminam os alimentos, como por exemplo, as micotoxinas, formar compostos antimicrobianos capazes de biopreservar os alimentos contribuindo para a redução de conservantes, controlando o uso abusivo de antibióticos, reduzindo a temperatura ou outros tratamentos convencionais de esterilização sendo, também, considerada

como um grupo principal de bactérias probióticas (BINTSIS, 2018; PERCZAK et al., 2018).

3.4 Encapsulação

A encapsulação de probióticos pode ser definida como a tecnologia que permite aprisionar as células em cápsulas seladas a fim de isolar as células do meio externo. As cápsulas, por sua vez, permitem a proteção e liberação do seu conteúdo em taxas controladas sob a influência de condições de processamento e ambientais no meio intestinal (MADENE et al., 2006).

O encapsulamento é um processo físico-químico ou mecânico para aprisionar uma substância em um material para produzir partículas com diâmetro de alguns nanômetros (nm) micrômetros (μm) e alguns milímetros (mm) (CHEN; CHEN, 2007).

De acordo com o tamanho da partícula, a tecnologia é denominada de microencapsulação (de 3 a 800 μm) ou nanoencapsulação (de 10 a 1000 nm). O uso de nano/microencapsulação pode ajudar a substância encapsulada, denominada como material de núcleo, a serem entregues diretamente no local alvo, bem como serem protegidas, melhorando, assim, sua biodisponibilidade (BURGAIN ET AL., 2011; KWAK, 2014; REQUE; BRANDELLI, 2021).

A encapsulação de probióticos pode promover sua viabilidade e funcionalidade em produtos alimentícios, no entanto, a utilização da micro e/ou nanoencapsulação na indústria de alimentos é restrita devido ao sortimento limitado de agentes e de tecnologias que sejam geralmente reconhecidas como seguras (GRAS) (KWAK, 2014; CASSANI et al., 2020).

Segundo Krasaekoopt et al., (2003), esta pode ser a melhor forma de proteção para as bactérias. No entanto, a encapsulação de probióticos não é uma técnica simples e muitos fatores devem ser observados como: a técnica deve ser simples e não deve reduzir a viabilidade probiótica; os materiais utilizados devem ser seguros a saúde e compatíveis com os alimentos e a eficiência de encapsulação deve ser a mais alta possível (DINKÇI; AKDENİZ; AKALIN, 2019).

Outro ponto importante a ser avaliado é a manutenção da viabilidade das células probióticas e de sua biodisponibilidade no hospedeiro durante a produção de alimento contendo estes microrganismos. Assim, a encapsulação parece ser uma das técnicas mais promissoras para proteger os probióticos contra as condições

ambientais adversas por aprisionamento dentro de uma matriz de material polimérico (REQUE; BRANDELLI, 2021). Tanto células quanto moléculas bioativas, como antioxidantes, enzimas, polifenóis e micronutrientes podem ser envolvidos dentro de materiais encapsulantes para formar materiais encapsulados (REQUE; BRANDELLI, 2021).

As técnicas de encapsulação podem ser classificadas em três grandes categorias principais: extrusão, emulsão e desidratação (CASSANI et al., 2020). O método escolhido irá determinar as características e propriedades do produto final (SARAO; ARORA, 2017). Enquanto que o processo de encapsulação é realizado geralmente em três etapas: Na primeira, o composto de interesse é incorporado em um sólido (aglomeração ou adsorção) ou líquido (dissolução ou dispersão), enquanto no segundo estágio, a matriz líquida é dispersa ou pulverizada no caso de uma solução de matriz sólida. A terceira fase corresponde a estabilização do sistema através de uma (evaporação, solidificação, coalescência), química (polimerização) ou processo físico-químico (gelificação). Além disso, essas partículas também podem ser obtidas usando lipossomas, inclusão molecular, coacervação ou co-cristalização (SARAO; ARORA, 2017).

A maioria dos alimentos contendo probióticos disponíveis no mercado são enriquecidos com microrganismos probióticos livres, enquanto uma pequena parte realiza a aplicação destes microrganismos de forma encapsulada (DE PRISCO; MAURIELLO, 2016). Ao serem incorporados em matrizes poliméricas comestíveis se tornam embalagens (bio)ativas de alimentos, representando uma alternativa natural aos antibióticos para controle de microrganismos patogênicos/deteriorantes e melhorar a segurança alimentar, além de seu papel na promoção da saúde do consumidor (ESPITIA et al., 2016).

De acordo com Misra et al., (2021) a co-encapsulação de bactérias probióticas com substâncias bioativas, como prebióticos, ácidos graxos ômega-3, curcuminoides e antioxidantes na mesma matriz, e depois, incorporados em uma matriz alimentícia, além de aumentar a bioatividade de ambos, tem o potencial de gerar benefícios sinérgicos à saúde.

3.4.1 Tipos de encapsulação

3.4.1.1 *Spray dryer*

A técnica de secagem por pulverização (*Spray dryer*), comumente utilizada na indústria de alimentos, gera partículas esféricas em forma de pó seco com propriedades desejadas, como boa fluidez, baixa umidade residual e específica, distribuição de tamanho e forma uniformes (BROECKX et al., 2016; RODRIGUES et al., 2020). De forma geral, esta técnica consiste na dispersão, via atomização, de uma solução contendo o microrganismo probiótico e o agente encapsulante em uma câmara de secagem com elevada temperatura promovendo a solidificação quase instantaneamente sendo, então, separadas do ar úmido por meio de um filtro ou ciclone a fim de coletá-las (RAY et al., 2016; DE LA CRUZ PECH-CANUL et al., 2020; RODRIGUES et al., 2020).

Assim, a secagem por pulverização oferece vantagens em comparação a outras técnicas por ser um processo rápido, ser realizado com diversos materiais encapsulantes, ser mais facilmente escalável, ser versátil a ponto de poder ser aplicado com diversas culturas e grandes volumes em tempo relativamente curto, realizar a liberação rápida dos microrganismos se o material escolhido for de fácil dissolução (BROECKX et al., 2016).

No entanto, as altas temperaturas durante o processo podem inativar os microrganismos e, com isso, as condições de processo como as temperaturas do ar de entrada e de saída, fluxo de ar juntamente com o material encapsulante escolhido são de extrema importância para a otimização do processo e das partículas produzidas reduzindo o estresse que os microrganismos probióticos enfrentam durante o processamento garantindo, assim, a viabilidade celular (RATHORE et al., 2013; BROECKX et al., 2016; RODRIGUES et al., 2020).

Barajas-Álvarez; Gonzáles-Ávila; Espinosa-Andrews, (2022) avaliaram o efeito de diferentes materiais de parede (Agave frutano, maltodextrina, inulina e trealose) misturadas com goma arábica nas propriedades físico-químicas, eficiência de encapsulação, e viabilidade do *L. rhamnosus* HN001 por *spray dryer* sob condições de armazenamento e condições gastrointestinais simuladas obtiveram a maior eficiência utilizando a mistura goma arábica/maltodextrina (93%). Após às condições gastrointestinais simuladas os probióticos encapsulados com goma

arábica/trealose demonstraram perda de viabilidade de 3 Log CFU g⁻¹, mantendo a viabilidade acima de 6 Log CFU.g⁻¹.

3.4.1.2 Liofilização

A liofilização, também denominada de criodessecação e secagem a frio, é uma técnica em que o solvente é congelado e sublimado, em um ambiente de pressão reduzida (DE LA CRUZ PECH-CANUL et al., 2020). Frakolaki et al., (2020) mencionam que esta técnica é a mais popular para compostos sensíveis ao calor, como microrganismos probióticos. No entanto, apresenta como desvantagens a alta demanda de energia, o longo tempo de processamento além de um efeito negativo na sobrevivência dos microrganismos em virtude de afetar o estado dos lipídeos da membrana celular e a estrutura das proteínas sendo necessário a utilização de crioprotetores, consiste em uma unidade de operação com custo mais elevado,, algumas substâncias podem ser perdidas em virtude do vácuo utilizado e a secagem de grandes materiais pode levar meses (NEDOVIC et al., 2011; SHUKLA, 2011; NAG; DAS, 2013; ANTHERO et al., 2021).

Segundo Broeckx et al., (2016), durante o congelamento formam-se cristais de gelo, sendo seu aumento de tamanho dependente da taxa de congelamento e da temperatura, capazes de danificar a parede celular dos microrganismos. No entanto, com a cristalização da água pode haver a concentração de solutos ocasionando danos químicos e osmóticos que também podem prejudicar os microrganismos (MALTESEN; VAN DE WEERT, 2008). Com isso, é aconselhável que o congelamento seja realizado de forma rápida para que os cristais de gelo formados sejam menores evitando, assim, extensos danos celulares (FOWLER; TONER, 2006).

Li et al., (2019) realizaram a encapsulação de *L. casei* BNCC 134415 por liofilização utilizando proteína isolada, goma gelana e acetato ftalado de celulose em combinação como materiais encapsulantes avaliando a viabilidade celular durante o armazenamento, resistência ao aquecimento e o rompimento no trato gastrointestinal constataram que as partículas formadas foram capazes de proteger os probióticos frente ao estresse provocado pelo aquecimento, durante a passagem pelo trato gastrointestinal e ao armazenamento.

3.4.1.3 Extrusão

A extrusão é uma técnica física que realiza encapsulação de microrganismos probióticos utilizando como material encapsulante hidrocolóides como alginato e carragena, por exemplo (BURGAIN et al., 2011). Nesta técnica se produz uma solução com o hidrocolóide e os probióticos que é injetada em uma extrusora (escala piloto) ou uma agulha de seringa (escala laboratorial) sendo o conteúdo da mistura gotejado em uma solução de gelificação ou endurecimento como cloreto de cálcio (GOUIN, 2004).

As principais vantagens desta técnica são a suavidade das condições de processo, possibilidade de uso de diferentes materiais de revestimento, as partículas podem ser secas ao ar, o processo de preparação é simples além da estabilidade das partículas de gel através do armazenamento. No entanto, apesar das condições favoráveis mencionadas, esta técnica é lenta, difícil de realizar o processo de escalonamento e requer o uso de soluções de hidrocolóides de baixa viscosidade (GOUIN, 2004; RODRIGUES et al., 2020).

Dentre todas as modificações que podem ser realizadas durante a aplicação desta técnica, os fatores que podem influenciar o tamanho das partículas geradas está o diâmetro do bico, a distância entre a saída da solução de hidrocolóides e a solução de reticulação catiônica, e viscosidade/taxa de fluxo da mistura célula-hidrocolóide (DONG et al., 2013).

Etchepare et al., (2016) realizaram a encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* utilizando a técnica de extrusão com amido e quitosana avaliando a viabilidade celular frente a passagem pelo trato digestivo e ao armazenamento em diferentes temperaturas e reportam que a adição destes materiais afetou positivamente a sobrevivência dos microrganismos tanto nos teste de resistência gastrointestinal quanto durante o armazenamento.

3.4.1.4 Gelificação

Esta técnica de encapsulamento é baseada na capacidade de polissacarídeos aniônicos formar gel na presença de íons (SILVA et al., 2006; BUREY et al., 2008). A formação das partículas por gelificação têm sido realizadas principalmente por dois processos, sendo eles a gelificação interna e externa.

A gelificação interna realiza a produção das partículas através da adição de sais diretamente na solução polimérica contendo o material de núcleo, onde

posteriormente, é realizada a diminuição do pH, com adição de solução ácida, a fim de liberar os íons, permitindo a complexação com os grupos carboxílicos. Por sua vez, na gelificação externa uma solução polimérica contendo o material de núcleo é gotejada sobre uma solução iônica podendo-se obter encapsulado e partículas de diferentes formas e tamanhos através da interação dos íons com os grupos carboxilato dos polissacarídeos resultando na formação de géis insolúveis.

Uma vez realizado este processo, o endurecimento das partículas ocorre instantaneamente, começando na superfície onde os íons reagem com as cadeias poliméricas carregadas negativamente, formando uma estrutura rígida tridimensional, com alto teor de água, meio pelo qual os íons se difundem para o interior favorecendo a reticulação do exterior para o interior (SMRDEL et al., 2008; HELGERUD et al., 2009; SCHOUBBEN et al., 2010).

Segundo Patil et al., (2010), a gelificação é um processo simples, que não utiliza solventes orgânicos, altas temperaturas ou pH extremos tornando-se de baixo custo em comparação com outras técnicas. Além disso, permite encapsular substâncias hidrofóbicas e hidrofílicas (MCCLEMENTS, 2005).

No entanto, mesmo que as cápsulas produzidas por esta técnica sejam capazes de proteger o material de núcleo, estas são sensíveis a valores de pH extremos. Para contornar isso, pode-se modificar a estrutura do gel a partir da combinação de diferentes tipos de biopolímeros aproveitando, assim, a vantagem de cada composição química dos compostos pela sua interação (PATIL et al., 2010).

Silva et al., (2018) realizaram a encapsulação de *L. acidophilus* utilizando a gelificação como técnica encapsulante com e sem adição de FOS como material de revestimento e aplicação em yogurt de forma livre e encapsulada avaliando a viabilidade ao armazenamento e a passagem ao trato gastrointestinal, em ambas as condições, constataram que a adição do FOS promoveu um acréscimo na viabilidade dos microrganismos frente as condições expostas quando comparado com os microrganismos livres.

3.4.1.5 Emulsificação

Neste tipo de técnica, um pequeno volume de uma suspensão de célula-polímero (fase descontínua) é adicionada a um grande volume de um óleo vegetal (fase contínua). A mistura é homogeneizada para formar uma emulsão de água em

óleo que, uma vez formada, o polímero solúvel em água deve ser insolubilizado (reticulado) formando pequenas partículas de gel dentro da fase oleosa (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2003).

A técnica de emulsificação é utilizada para a encapsulação devido ao seu baixo custo, formulações que podem ser facilmente modificadas em condições brandas de processo proporcionando alta retenção celular além de não requerer equipamentos sofisticados e reagentes caros possibilitando, para os probióticos, uma vantagem de não utilizar altas temperaturas com uma alta eficiência em partículas de pequeno tamanho (TAKEI et al., 2009).

A emulsificação é capaz de formar partículas com tamanho entre (25µm a 2mm) sendo que esta variação está relacionada com as condições de processo como a velocidade de agitação e o tipo de emulsificante utilizado (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2003).

Elvan, Baysal e Harsa (2022) estudaram a encapsulação de *Lactiplantibacillus pentosus* NRRL B-227 utilizando proteína do soro de leite e goma xilana como material encapsulante avaliando a viabilidade celular durante a passagem pelo trato gastrointestinal, armazenamento e sua impregnação em azeitonas observaram que a encapsulação conseguiu manter a viabilidade celular durante o armazenamento por quatro semanas, mantendo a contagem na superfície da azeitona em 10^6 - 10^7 CFU/g e aumentando em 60% a viabilidade celular durante a passagem no trato gastrointestinal.

Ao analisar os artigos resultantes da busca além de todas as técnicas, materiais e alimentos encontrados foi possível observar, também, que ao se tratar de paraprobióticos e pos-bióticos, nos poucos artigos encontrados, não há menções a respeito da aplicação destes de forma encapsulada e sim, relatos a respeito da inativação das células e o estudo de seus efeitos de forma livre como pode ser observado nos estudos de Almada et al., (2021), Barros et al., (2021).

3.5 Materiais encapsulantes

Os materiais encapsulantes, também mencionados como, matriz de encapsulamento, material de revestimento, parede, casca, membrana, são quais materiais que podem ser sintetizados a partir de uma ampla gama de polímeros naturais e sintéticos utilizados para realizar a proteção de quaisquer composto de interesse (RAZAVI et al., 2021). A escolha do material apropriado para o

encapsulamento de células probióticas é essencial para a estabilidade e propriedade das partículas produzidas melhorando a viabilidade durante o processamento e armazenamento prolongado (RODRIGUES et al., 2020; RAZAVI et al., 2021). Essa seleção do material encapsulante depende de vários fatores, incluindo a propriedade dos probióticos para encapsular, a compatibilidade entre o probiótico e o material encapsulante e as propriedades desejadas do produto final (FREIBERG; ZHU, 2004; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Além disso, o material encapsulante para que possa ser utilizado, não deve apresentar toxicidade, podendo influenciar diretamente na morfologia, diâmetro e permeabilidade das partículas, deve proteger as células frente a fatores ambientais, como calor, oxigênio, luz e umidade durante o processo de encapsulação, armazenamento e trânsito no sistema gastrointestinal, apresentar baixa higroscopicidade, viscosidade, elevada solubilidade em água, boa capacidade de retenção, ser neutro ao sabor, ser possível controlar o seu rompimento de forma satisfatória e possuir aprovação dos órgãos reguladores como a *Food and Drug Administration* (FDA/EUA) e *European Food Safety Authority* (Europa) para sua aplicação na indústria alimentícia (RATHORE et al., 2013; RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016; CHEN et al., 2017; RODRIGUES et al., 2020). No Brasil, a regulamentação para uso de novos ingredientes para consumo humano, é feito pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e dentro das suas atribuições há um guia para comprovação da segurança de ingredientes e alimentos para o consumo. (ANVISA, 2019).

Segundo a ANVISA, 2019, os ingredientes são definidos como substâncias utilizadas no preparo ou na fabricação de alimentos, e que estão presentes no produto final em sua forma original ou modificada sendo sua comprovação de segurança realizada a partir das informações encaminhadas a respeito da finalidade e das condições de uso do ingrediente.

Os materiais encapsulantes podem ser aplicados utilizando apenas um material ou uma mistura de dois ou mais materiais. Isso porque apenas um material pode não fornecer todas as características desejáveis que se espera, enquanto que a combinação de dois ou mais permite o desenvolvimento de diversas características desejáveis desenvolvendo uma variedade de sistemas de entrega bem como propriedades melhoradas de proteção (RAZAVI et al., 2021).

Diferentes polissacarídeos, proteínas e lipídios tem sido utilizado para encapsular células probióticas, particularmente, polímeros naturais solúveis em água e suas combinações permitindo o uso de técnicas brandas e consequentemente mantendo a integridade celular dos microrganismos encapsulados (RAJAM; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015; ARSLAN-TONTUL; ERBAS, 2017; RODRIGUES et al., 2017).

Assim, há uma diversidade de materiais que podem ser utilizados como material encapsulante, como carboidratos (alginato de sódio, pectina, quitosana, carragena, frutooligosacarídeos, amido, dextrana, agarose, celulose, pululano), gomas (goma arábica, goma gelana, goma xantana), proteínas (gelatina, caseína, albumina, soro de leite e queijo, glúten, proteína de ervilha, proteína isolada de soja), lipídeos (cera, parafina, óleos, gorduras) (GARCIA, 2016; NOGUEIRA, 2017; RAZAVI et al., 2021).

3.5.1 Proteínas do soro de queijo

As proteínas do soro de queijo são muito utilizadas como material de revestimento para encapsulação de probióticos devido a suas propriedades nutricionais agregadas (LOYEAU et al., 2018). As proteínas isoladas do soro de leite consistem em caseína, uma fosfoproteína e nas proteínas de soro de leite que são a β -lactoglobulina e a λ -lactalbumina, e o conteúdo destas proteínas no leite vai depender de diferentes fatores como a fonte. Essas proteínas podem ser recuperadas de diferentes formas, como o soro concentrado ou isolado ou hidrolisado ou ainda nativo, a depender do tipo de processamento, especialmente se a filtração foi utilizado no processo (GANJU; GOGATE, 2017).

Muitos estudos utilizam as proteínas do soro de leite isolado ou combinado a outros materiais na encapsulação por diferentes técnicas e encontram grande proteção e reforço na sobrevivência das células (KAREB et al. 2019; ROSOLEN et al. 2019; HERNÁNDEZ-BARRUETA et al. 2020). Rosolen et al. (2019), utilizou uma mistura de soro de queijo com inulina para conferir proteção ao probiótico *L. lactis* R7 e obteve resultados promissores na proteção a diversos parâmetros como, armazenamento, passagem gastrointestinal, resistência térmica, eficiência do processo entre outros.

3.5.2 Fruto-oligossacarídeos

Os frutooligossacarídeos (FOS), por vezes também designados por oligofructose ou oligofrutano, é uma designação comum dos oligossacáridos com ligações beta (2 →1) fructosil-frutose através de ligações glicosídicas. Possuem grau de polimerização (DP) de 2-10 e são geralmente designados por Fn ou GFn (onde G refere-se à unidade terminal da glicose, F as unidades de frutose e n do número de unidades de frutose na cadeia de frutano) (KELLY, 2008).

Nas plantas, ocorrem em muitos órgãos (por exemplo, folhas, frutos e rizomas) e servem como carboidratos de reserva. Os FOS podem ser extraídos com água quente assistida por ultra-sons de plantas, frutos e vegetais (CHEN et al., 2016).

A presença de ligações glicosídicas beta (2 →1) frutosil-frutose confere aos FOS propriedades físico-químicas e fisiológicas únicas, tornando-os resistentes à hidrólise por enzimas digestivas do trato gastrointestinal superior humano (CHEN et al., 2016). Assim, o FOS é classificado como “oligossacarídeos não digeríveis” distinguindo-o dos demais carboidratos (CRITTENDEN et al., 2004).

Nos últimos anos, vários oligossacarídeos não digeríveis (por exemplo, FOS, galactooligossacarídeo, isomaltooligossacarídeos, oligossacarídeos de soja, xilooligossacarídeos e maltitol) foram testados quanto aos seus efeitos prebióticos na comunidade microbiana (CHEN et al., 2016).

Os FOS preenche os critérios para ser classificado como prebiótico sendo resistente à acidez gástrica, à hidrólise por enzimas de mamíferos e à absorção gastrointestinal, a fermentação pela microflora intestinal e estimulação seletiva do crescimento e/ou atividade das bactérias intestinais que contribuem para a saúde e o bem-estar (GIBSON, et al., 2004).

Rajam e Anandharamakrishnam (2015), ao realizar a encapsulação de *L. plantarum* utilizando FOS, FOS em combinação com soro de leite e soro de leite desnaturado em concentrações de 1:1 e 1:1,5 núcleo/material observaram perda de 0,5 LOG CFU.g⁻¹ em até 60 dias de armazenamento a 4°C com viabilidade relativa variando entre 0,6 e 1 na exposição ao suco gástrico e entre 0,7 e 1,1 frente a exposição ao suco intestinal.

3.5.3 Goma xantana

Estudos recentes nos trazem a aplicação da goma xantana na microencapsulação de probióticos, oriundos de diferentes gêneros de bactérias, com o intuito de promover sua proteção frente as adversidades encontradas no processamento e aplicação (FAREEZ et al., 2015; CHEN, 2017).

A goma xantana é um exopolissacarídeo microbiano muito utilizado em aplicações biomédicas, como agente espessante, estabilizante sendo também utilizada em cosméticos, formulações de fármacos e produtos agrícolas. Tem sido empregada como material encapsulante de enzimas, compostos fenólicos presentes em extratos de frutas, óleos, carotenoides e bactérias (LIU et al., 2011; ROSA, 2012; RUTZ, 2013; PETRI, 2015; NOGUEIRA, 2017).

Devido a sua estrutura única, a goma xantana, apresenta propriedades reológicas distintas e incomuns, como alta viscosidade, estabilidade a uma ampla faixa de pH, sendo afetada apenas com valores maiores que 11 e menores de 2.5, concentração de goma utilizado, temperatura, possui também compatibilidade com sais metálicos e com outros polissacarídeos (KENNEDY; BRADSHAW, 1984; IMESON, 1997; KALOGIANNIS et al., 2003).

Os dados reológicos dos materiais de parede utilizados são de extrema importância para o cálculo de alguns processos envolvendo o escoamento de fluídos e tem importante função na análise das condições de escoamento em processos alimentícios como pasteurização, evaporação, secagem e processos assépticos (MARCOTTE et al., 2001).

Ao mesmo tempo que a alta viscosidade da goma xantana traz benefícios na encapsulação, em alguns casos, como na secagem pode se tornar um problema. Para sua utilização é necessário produzir emulsão de baixas concentrações (m/v), o que pode tornar as microcápsulas susceptíveis a degradação mais rapidamente.

Por isso, é de extrema importância a busca por novas cepas produtoras de goma xantana de baixa viscosidade que possibilitaria produzir emulsões de maiores concentrações, melhorando as propriedades das cápsulas sem afetar o processo de secagem para obtenção das mesmas.

CAPÍTULO 1

Encapsulação de probióticos: técnicas de imobilização, materiais encapsulantes e aplicação em alimentos

Resumo

Os alimentos funcionais, como os probióticos, vêm sendo cada vez mais utilizados como suplementos alimentares, reduzindo a incidência de diversas doenças. Dentre as diversas definições de probióticos, a mais utilizada pelos pesquisadores, é a que os define como “microrganismos vivos que quando administrados em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro”. Pesquisas se engajam na aplicação destes microrganismos, especialmente em alimentos para consumo humano, porém gargalos ainda são notados, devido a fastiosidade deste grupo de microrganismos. Este artigo teve por objetivo revisar a literatura dos últimos 5 anos quanto ao estado da arte em imobilização, materiais utilizados e aplicação de probióticos em diferentes matrizes alimentares. Técnicas como as de imobilização são opções estudadas e até já aplicadas para proteção dos mesmos, melhorando assim o processamento, armazenamento, condições de aplicação e qualidade do produto final. Não menos importante é a escolha da técnica e o material de revestimento/aprisionamento destes microrganismos, mas tal escolha é determinada por muitos fatores, não existindo uma técnica única como padrão ouro e dentre os materiais, o que se tem são combinações mostrando eficiência de proteção, aliando suas características e potencializando os efeitos. A aplicação em alimentos abrange muito além de produtos lácteos, e almejam e/ou já com sucesso alcançam alimentos de origem não-láctea.

Palavras-chaves: Probiótico. Prebiótico. Simbiótico. Alimentos não-lácteos. Encapsulação.

Abstract

Functional foods, such as probiotics, have been increasingly used as dietary supplements, reducing the incidence of various diseases. Among the different definitions of probiotics, the one most used by researchers is the one that defines them as “live microorganisms that, when administered in adequate quantities, provide benefits to the health of the host”. Research is involved in the application of these microorganisms, especially in food for human consumption, but bottlenecks are still noticed, due to the fastidiousness of this group of microorganisms. This article aimed to review the literature of the last 5 years regarding the state of the art in immobilization, materials used and application of probiotics in different food matrices. Techniques such as immobilization are options studied and even applied to protect them, thus improving processing, storage, application conditions and quality of the final product. No less important is the choice of technique and coating/trapping material for these microorganisms, but this choice is determined by many factors, with no single technique as a gold standard and among the materials, what we have are combinations showing protection efficiency. , combining its characteristics and enhancing the effects. The application in food extends far beyond dairy products, and aims to and/or already successfully reaches foods of non-dairy origin.

Keywords: Probiotic. Prebiotic. Symbiotic. Non-dairy foods. Encapsulation.

1 Introdução

Devido às evidências científicas que apoiam o conceito e a manutenção da microbiota intestinal saudável, podendo oferecer proteção contra distúrbios gastrointestinais, os alimentos funcionais, como os probióticos, vêm sendo cada vez mais utilizados como suplementos alimentares, reduzindo a incidência de infecções, síndromes inflamatórias do intestino, alívio da constipação, possui efeitos imunomoduladores, redução dos níveis de colesterol, previne infecções do trato urinário além da melhora do bem-estar geral (ZANNINI et al., 2016; OLIVARES et al., 2019).

O mercado global de alimentos funcionais, mesmo em meio a crise do coronavírus (COVID-19) atingiu cifras em torno de US\$ 75,6 bilhões em 2020 com projeção de aumento de 7,6% ao ano, estimando para 2026 valores aproximados de US\$ 118,4 bilhões movimentados (REPORT, 2022).

O mercado de alimentos funcionais é majoritariamente constituído de alimentos lácteos. No entanto, com o avanço da ciência, dentre elas a medicina, as doenças, comorbidades e alergias, como a intolerância a lactose ou a algum constituinte do leite, o diagnóstico das mesmas tornou mais fácil e rápido acarretando em um grande aumento no número de indivíduos intolerantes a alimentos lácteos e, com isso, o mercado ou consumo de alimentos funcionais não lácteos ganha destaque.

Dentre as diversas definições de probióticos, a mais utilizada pelos pesquisadores como critério de aplicação em drogas, suplementos e alimentos probióticos, é proposta pela FAO/OMS (2001), que definiu como “microrganismos vivos que quando administrados em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro”. No entanto, estudos mais recentes demonstram que o microrganismo probiótico não necessita estar necessariamente viável para manter sua ação e com ele inativado, parcialmente rompido ou rompido apresentam efeitos probióticos em células não encapsuladas. Não são encontrados na literatura trabalhos que encapsulem os para e pós bióticos e que os aplique desta forma em alimentos.

Sua entrega via alimentos é motivação para muitas pesquisas, devido a serem microrganismos fastidiosos e que necessitam sobreviver ao processamento, armazenamento e transporte do alimento (ASGARI et al., 2020). Matrizes lácteas são as mais favoráveis para entregar probióticos ao consumidor, pois possuem todos os fatores de crescimento exigidos pelos mesmos e, isso pode ser observado,

analisando pesquisas recentes que demonstraram que o encapsulamento de microrganismos probióticos aplicados em alimentos lácteos apresentaram maior viabilidade (SHORI, 2016; FERREIRA et al., 2017).

Porém, produtos probióticos não lácteos são uma alternativa para indivíduos que não gostam ou não podem consumir produtos lácteos, incluindo pessoas intolerantes a lactose, alérgicas às proteínas do leite, hipercolesterolêmicas ou estritamente vegetarianas, estimulando assim o desenvolvimento de alimentos probióticos de base não láctea (BEVILACQUA et al., 2013; BRUNO et al., 2020).

No entanto, em muitos casos, o uso de matrizes não lácteas prejudicam a viabilidade probiótica, como acidez, presença de compostos antimicrobianos como os ácidos orgânicos e adição de saborizantes (SHORI et al. 2016). Neste contexto, o encapsulamento/imobilização surge como tecnologia alternativa para melhora da estabilidade de probióticos em alimentos e entrega efetiva.

Os benefícios proporcionados e comprovados do consumo de probióticos à saúde humana, como regulação da atividade intestinal, redução dos níveis de colesterol, reforço da imunidade do hospedeiro, além da melhora do bem-estar geral (ZANNINI et al., 2016), tem atraído olhares da indústria de alimentos. Entretanto, sua entrega via alimentos é motivação para muitas pesquisas, devido a serem microrganismos fastidiosos e que precisam sobreviver ao processamento, armazenamento e transporte do alimento (ASGARI et al., 2020). Porém, indivíduos com dietas restritas ou condições que impossibilitem o consumo de lácteos estimulam o desenvolvimento de alimentos probióticos de base não láctea e de manejo facilitado para indústria (BRUNO et al., 2020).

Imobilizar é criar uma barreira entre o material de núcleo e o meio externo permitindo obter um produto com menor volume, reduzindo custos em transporte e armazenamento facilitando sua dosagem nas aplicações e aumentando a estabilidade dos compostos encapsulados (JANISZEWSKA-TURAK, 2017). Existem diversas técnicas de imobilização, tais como, liofilização, extrusão, secagem em leito fluidizado, emulsão, coacervação e secagem por pulverização. A escolha da técnica está atrelada a capacidade de proteção do material, seu modo de operação, capacidade de produção e escalonamento, tamanho da partícula obtida, custos envolvidos no processo e na aplicação (TAO et al., 2019). Além da técnica utilizada, o material de revestimento tem suma importância para o sucesso da tecnologia empregada. Os biopolímeros que podem ser usados para encapsulamento de

probióticos devem ser biocompatíveis, biodegradáveis, processáveis e neutros aos probióticos (RAMOS et al., 2018; DE LA CRUZ PECH-CANUL et al., 2020). Dentre os utilizados na literatura pode-se separar em macronutrientes, aqueles predominantemente carboidratos (quitosana, xantana, prebióticos, amido), proteicos (soja, ovo, zeína, gelatina) e lipídicos (óleos), geralmente associados entre si, somando características desejáveis de proteção (SILVA et al. 2018).

Com o emprego dessas técnicas e materiais de revestimentos, o mercado de produtos contendo microrganismos probióticos vem se expandindo (Turkmen et al., 2019). Visto que, a combinação entre a técnica e o material de revestimento apresentam vantagens como a proteção do microrganismo e a viabilidade diante de processos de produção e durante a passagem pelo trato gastrointestinal (AREPALLY et al., 2020; RODRIGUES et al., 2020).

Sendo assim, essa nova abordagem de aplicação de probióticos está sendo empregada em diversos setores, desde produtos lácteos até aplicações em matrizes diferenciadas como alimentos cárneos, vegetais, cereais e frutas (GUL, 2017; EPHREM et al., 2018; MUZZAFAR; SHARMA, 2018; DIMITRELLOU et al., 2019; BIS-SOUZA¹ et al., 2020; NG et al., 2020).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi revisar sistematicamente a literatura, dos últimos 5 anos, quanto ao estado da arte em imobilização, materiais utilizados e aplicação de probióticos em alimentos.

2 Metodologia

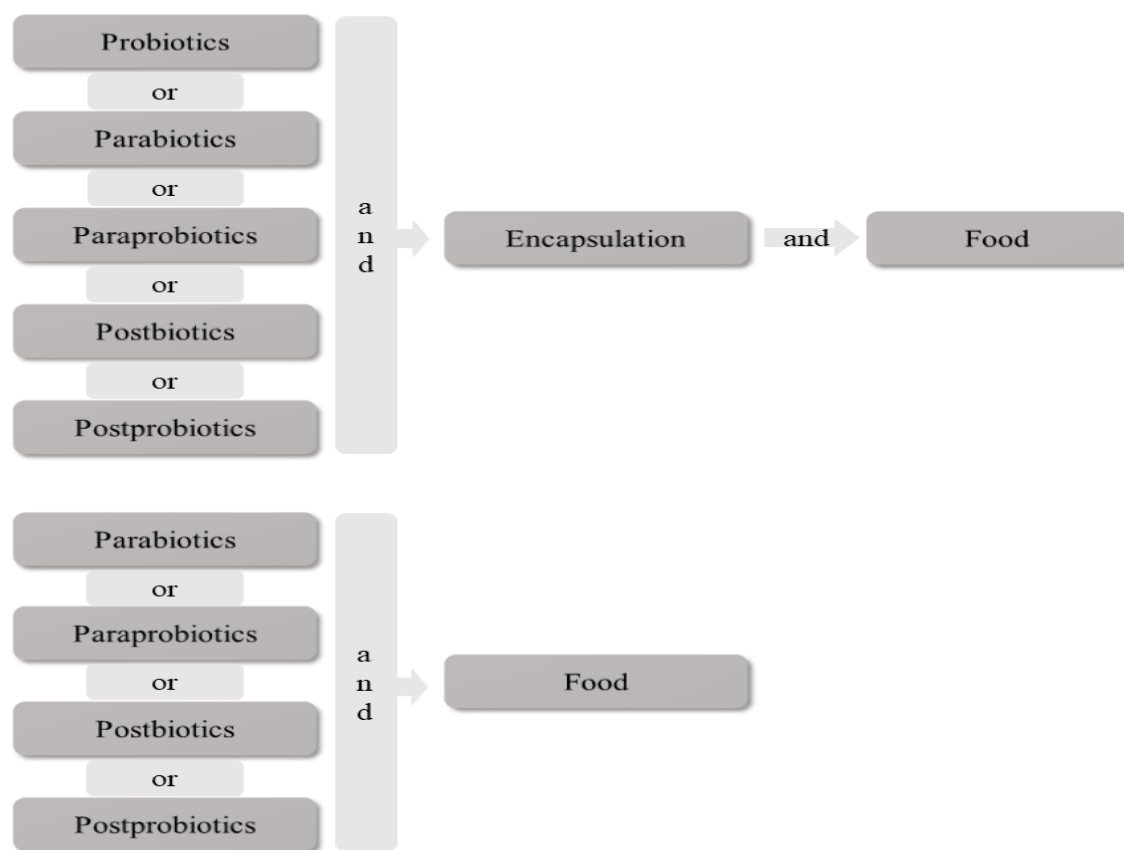
A pesquisa de trabalhos científicos foi realizada utilizando dois modos diferentes. Para a primeira parte da revisão, onde constam o histórico e os conceitos sobre probióticos, para-biótico e pós-biótico, foram utilizados artigos publicados definindo os próprios termos sem seleção de data de publicação.

Para os demais itens do trabalho foi realizada uma revisão sistemática para a busca de artigos que tratam sobre técnicas de encapsulação, materiais de revestimento e alimentos onde os microrganismos probióticos encapsulados foram aplicados.

O presente estudo utilizou um processo sistemático baseado em termos de identificação capazes de contemplar o objetivo proposto. Os seguintes termos: Probióticos e encapsulamento e alimentos; Paraprobióticos e encapsulamento e alimentos; Paraprobióticos e encapsulamento e alimentos; Pós-bióticos e

encapsulamento e alimentos; Pós-probióticos e encapsulamento e alimentos; Paraprobióticos e alimentos; Paraprobióticos e alimentos; Pós-bióticos e alimentação; Pós-probióticos e alimentos, conforme Figura 2. Foram pesquisados nas bases Scopus e ScienceDirect levando em consideração as seguintes restrições: o tipo de pesquisa (título, resumo e palavras-chave), ano da publicação (2016-2022), status da publicação (“All open access”) e tipo de publicação (pesquisa).

A pesquisa nas duas bases resultou em 383 artigos até janeiro de 2022. Deste conjunto de artigos foram excluídos os duplicados (30), os de revisão que não foram identificados pela plataforma de pesquisa (39) e os artigos no qual realizaram a aplicação dos probióticos de forma livre, testes em animais, *screening* de cepas, relacionados a análises genéticas, imunologia e demais (175). Assim, foram utilizados 138 artigos para o levantamento de dados a respeito das técnicas, materiais e alimentos que mais foram utilizados e aplicados neste período.



Ex: (Probiotics) and (Encapsulation) and (Food)

(Parabiotics) and (Food)

Figura 2 - Termos de identificação utilizados para a busca de artigos.

3 Análise bibliométrica e produção científica

A partir da análise dos 138 artigos, foi possível realizar o levantamento das técnicas encapsulantes, materiais protetores e alimentos onde foram aplicados os microrganismos probióticos encapsulados.

O levantamento das técnicas encapsulantes resultou no total de 116 artigos que foram identificados e classificados em 3 grandes grupos: Encapsulamento/aprisionamento (87), floculação (18) e estado sólido (11), sendo identificadas 116 técnicas utilizadas. Destas, as que mais foram encontradas foram a técnica de Spray dryer (33), extrusão (22), geleificação (20), emulsificação (18), liofilização (12) e adsorção (11), conforme Figura 3(A). As técnicas que não apareceram em mais de 10 artigos foram desconsideradas.

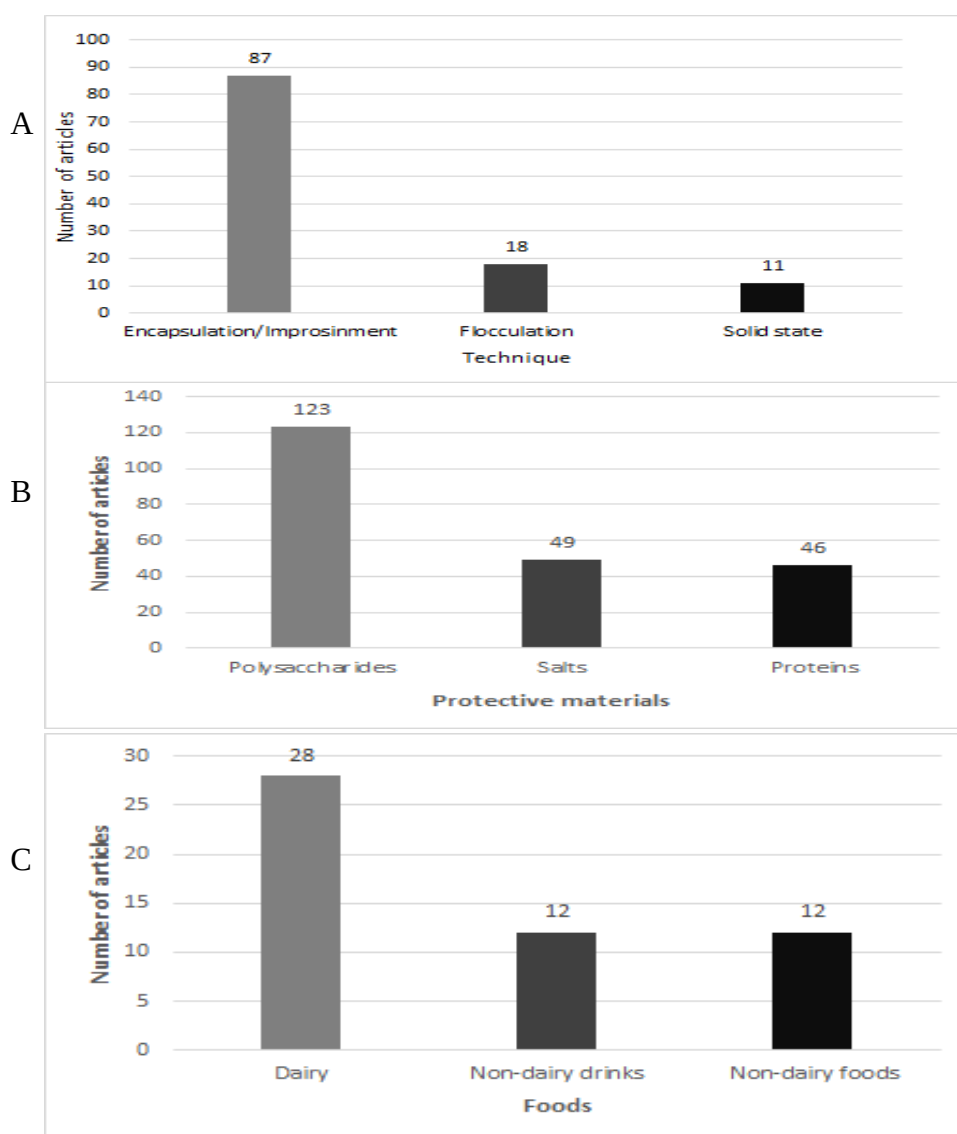


Figura 3 - Análise bibliométrica da produção científica encontrada.

Quanto aos materiais protetores, foram identificados 218 e classificados em 3 grandes grupos: polissacarídeos (123), sais (49) e proteínas (46), conforme Figura 3(B). Dentro destes grupos os materiais mais utilizados foram: alginato de sódio (42), proteína de soro de leite (32), quitosana, inulina e amido (18), maltodextrina (17) e pectina (10). Os demais materiais que não atingiram ao menos 10 artigos mencionados ou que a soma de materiais de igual característica não totalizaram 10 artigos foram desconsiderados.

Por fim, foram identificados 52 artigos nos quais realizaram a aplicação de probióticos encapsulados em alimentos. Para fins de maior compreensão, estes alimentos foram classificados em: lácteos (28), bebidas não-lácteas (12), alimentos não lácteos (12) (vegetais, frutas, cereais e cárneos), conforme Figura 3(C).

4 Probióticos, Para-biótico, Pós-biótico.

A história moderna dos probióticos começa no início de 1900, conforme descrito na Figura 4, com os estudos pioneiros de Élie Metchnikoff, que investigou os possíveis efeitos dos microrganismos envolvidos em processos de fermentação na saúde humana. Ele associou maior longevidade aos indivíduos que consumiam regularmente produtos fermentados como o iogurte (GASBARRINI et al., 2016). Após 56 anos, Lilly e Stillwell observaram que alguns microrganismos secretavam estimuladores de crescimento para outros promovendo um efeito positivo, levando a indução do termo probiótico. A primeira vez que o termo probiótico foi utilizado foi em 1960 por Parker, seguido de Fuller que enfatizou, em 1989, os probióticos como microrganismos vivos que afetam positivamente a saúde de animais endotérmicos, restaurando a microbiota natural. Em seguida, Haveenar (1992) definiu os probióticos como cultura pura ou mista de bactérias viáveis que, quando utilizadas no ser humano contribui beneficamente com a microbiota autóctone do indivíduo. A ampliação da definição de probióticos surgiu com Salminen (1996) e Schaafsma (1996) por não limitar os efeitos à saúde somente aos microrganismos presentes na microbiota intestinal (ZENDEBOODI et al., 2020).

De acordo com Salminen, um probiótico é "uma cultura microbiana viva ou um produto lácteo cultivado que influencia beneficamente a saúde e a nutrição do hospedeiro". Segundo Schaafsma, "Os probióticos orais são microrganismos vivos

que, ao serem ingeridos em quantidade adequada, exercem efeitos sobre a saúde além da nutrição básica inerente”, enquanto Schrezenmeir & De Vrese, (2001) consideraram que probióticos são microrganismos vivos que exercem efeitos benéficos à saúde independente do local de ação (ZENDEBOODI et al., 2020).

Uma das definições ainda muito utilizada pelos pesquisadores como critério de aplicação em drogas, suplementos e alimentos probióticos, é proposta pela FAO/OMS (2001), que definiu como “microrganismos vivos que quando administrados em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro”. Em 2014 foi convocado um painel de especialistas pelo International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) a fim de rever o conceito de probiótico sendo mantido o conceito proposto pela FAO/OMS (HILL et al., 2014).

No entanto, evidências recentes sugerem que a viabilidade bacteriana não é necessária para atingir os efeitos de promoção da saúde, uma vez que nem todos os mecanismos e benefícios clínicos estão diretamente relacionados a bactérias viáveis. Os para-probióticos, também conhecidos como “probióticos não viáveis ou probióticos inativados, refere-se às células microbianas inativadas, as quais, quando administradas em quantidades suficientes, conferem benefícios ao consumidor” (AGUILAR-TOALÁ et al., 2018). Apesar dos benefícios dos probióticos comprovados para a saúde, células microbianas não viáveis, ou frações inativadas podem ter vantagens, reduzindo o risco de translocação microbiana ou infecção demonstrada por alguns probióticos. A inativação celular bacteriana pode ser obtida por condições físicas (perturbação mecânica, tratamento térmico ou métodos de irradiação UV, alta pressão hidrostática e liofilização) ou químicas (desativação ácida) que pode alterar as estruturas celulares microbianas ou suas funções fisiológicas, e dessa forma, as bactérias tornam-se incapazes de multiplicarem-se e, assim, retêm os efeitos benéficos à saúde que a sua forma viável fornece (AGUILAR-TOALÁ et al., 2018).

As células inativadas podem liberar componentes bacterianos com importantes efeitos imunomodulatórios e com propriedades antagônicas contra patógenos. Diferentes componentes bacterianos como ácidos lipoteóicos, peptidoglicanos ou exopolissacarídeos estão, supostamente, envolvidos em mecanismos responsáveis por exercer efeitos benéficos à saúde do hospedeiro (PIQUÉ et al., 2019).

A aplicação de para-probióticos em alimentos pode oferecer certas vantagens em relação aos probióticos como menor ou nenhuma interação com outros componentes dos produtos alimentares, que poderiam diretamente refletir na vida útil

do produto; maior facilidade de processamento como a possibilidade de ser adicionado antes do tratamento térmico com manutenção das suas propriedades exigidas para os benefícios à saúde pretendidos; simplicidade de armazenamento e transporte, o que pode resultar em maior facilidade para administração como suplementos para indivíduos imunocomprometidos (DE ALMADA et al., 2016).

Recentes pesquisas sugerem que produtos bacterianos, na ausência de organismos viáveis, podem ter efeitos semelhantes à saúde. Esses produtos bacterianos são amplamente caracterizados como pos-bióticos e podem ser definidos como produtos bacterianos não viáveis ou subprodutos metabólicos de microrganismos probióticos que possuem atividade biológica no hospedeiro. Em geral, os pos-bióticos incluem bacteriocinas, ácidos orgânicos, etanol, diacetil, acetaldeídos e peróxido de hidrogênio. Além desses, certos probióticos inativados pelo calor também podem reter estruturas bacterianas importantes que podem exercer atividade biológica no hospedeiro. Os pós-bióticos não são tóxicos, nem patogênicos e resistem à hidrólise por enzimas de mamíferos (GEORGE KERRY et al., 2018).

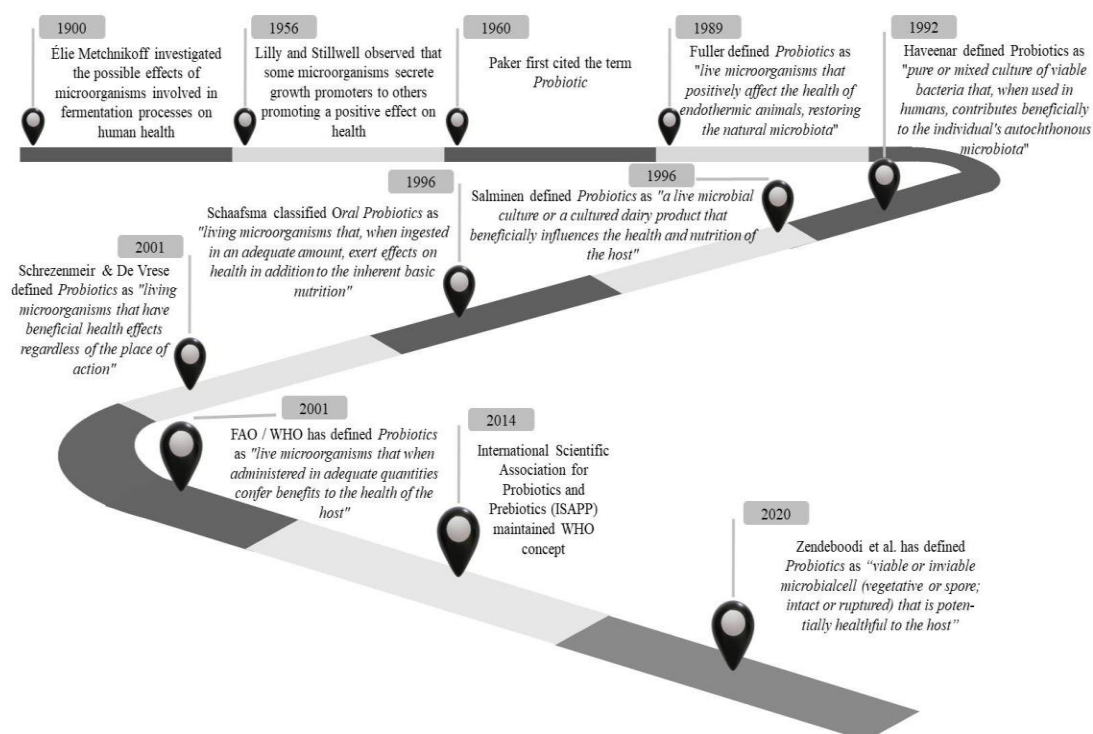


Figura 4 - Linha do tempo das definições de probióticos.

Fonte: Os autores.

Neste contexto, Zendeboodi et al., (2020) propõe uma nova terminologia para abranger todos os estados de benefícios para saúde definindo probiótico como “microrganismos viáveis ou células não viáveis (vegetativa ou esporo; intacta ou rompida) que é potencialmente promotor de saúde para o hospedeiro”. Incluindo probiótico verdadeiro (viável e ativo), pseudo-probiótico (viável, inativo, nas formas vegetativo ou esporo) e probiótico fantasma (inviável, inativo, nas formas intacta ou rompida).

5 Imobilização de microrganismos probióticos

Durante o processo de fabricação e armazenamento, a temperatura e o oxigênio são cruciais e muitas vezes indissociáveis na manutenção da viabilidade celular. Os microrganismos probióticos são principalmente microaerófilos, anaeróbios facultativos ou anaeróbios, portanto, a falta de uma cadeia de transporte de elétrons resulta na redução incompleta do oxigênio a peróxidos de hidrogênio. O acúmulo celular de metabólitos tóxicos de oxigênio eventualmente leva à morte celular, o que é referido como toxicidade do oxigênio (YAO et al., 2020). Além disso, o efeito da temperatura pode ser atribuído à reação de oxidação dos lipídeos de membrana (potencial redox positivo) na presença de oxigênio, contribuindo para inativação celular durante o armazenamento (ZHAO et al., 2018; ASGARİ et al., 2020). Para um armazenamento eficiente, o controle de umidade relativa e temperatura são imprescindíveis, embalagens impermeáveis ou com atmosferas modificadas livres de oxigênio são recomendados para maior viabilidade e estabilidade de armazenamento de muitas cepas probióticas (YAO et al., 2020).

A passagem gástrica promove fatores de estresse como pH ácido do estômago, sais biliares, várias enzimas digestivas, matriz alimentar ou a microbiota hospedeira, e cada cepa probiótica pode exibir diferentes respostas (TERPOU et al., 2019). Além disso, o suco gástrico contém enzimas hidrolíticas como a lisozima, várias proteases e compostos líticos encontrados na pancreatina e em sais biliares podem danificar adicionalmente as células. Nos fluidos intestinais a bile tem capacidade detergente, pois afeta os fosfolipídios e proteínas da membrana celular, atravessando e interrompendo a homeostase celular, resultando em danos ao DNA e proteínas, bem como vazamento de componentes intracelulares, propiciando eventual morte bacteriana. Visto que a capacidade de resistência é cepa-dependente (GAUCHER et al., 2019; XIAO et al., 2020).

Produtos como leite e derivados lácteos têm sido os transportadores mais utilizados e estudados para cepas probióticas e possuem várias características favoráveis. No entanto, públicos específicos como vegetarianos, intolerantes à lactose, hipercolesterolêmicos dentre outros, levaram ao desenvolvimento de novos produtos probióticos de base não-láctea (BRUNO et al., 2020). Neste contexto, as demandas por novos alimentos funcionais aumentaram o uso de formulações contendo células encapsuladas pela indústria de alimentos aumentando a proteção e viabilidade garantindo a entrega direcionada e assegurando as propriedades funcionais dos produtos produzidos (SHAH et al., 2020).

A imobilização celular consiste em confinar fisicamente células em uma determinada região, preservando atividades desejadas (ALTIERI et al., 2019). Sendo assim, a imobilização (Figura 5), pode ser dividida em ligação em suporte sólido, sendo estas a adsorção, ligação iônica e covalente (A1 a A3) e encapsulação compreendendo o aprisionamento em matriz e em membrana (B1, B2, C e D), facilita a recuperação e reutilização de produtos biotecnológicos aprimorando a estabilidade, controle operacional e flexibilidade (CHO et al., 2018; NGUYEN et al., 2018; ALTIERI et al., 2019).

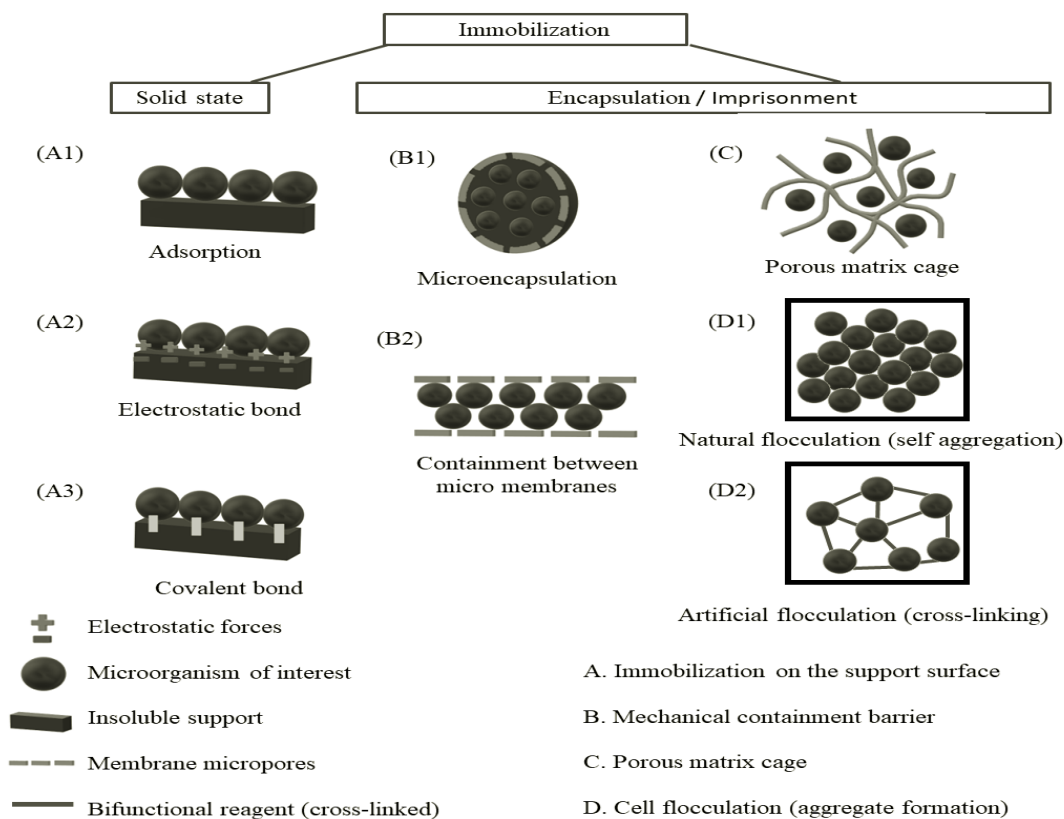


Figura 5 - Diferentes mecanismos de imobilização celular de microrganismos.

Fonte: Covizzi et al., (2007), com modificações.

Cabe destacar que o processo de imobilização é importante não somente para a entrega de células vivas como também em garantir a entrega de compostos bioativos como pos-bióticos e para-probióticos no local alvo, além de permitir a resistência às condições adversas, assegurando os efeitos de saúde propostos (PUCCETTI et al., 2018).

As cápsulas podem ser classificadas de acordo com seu tamanho, podendo ser macrocápsulas, superiores a 5000 μm , e microcápsulas que podem variar entre 0.2 e 5000 μm sendo estas resultantes do tipo de técnica e material encapsulante selecionado (CAVALHEIRO et al., 2015). Conforme mostra a (Figura 6), para as técnicas de inclusão celular, emulsificação, secagem por pulverização, liofilização, extrusão e geleificação selecionadas a partir dos critérios descritos no item 3.

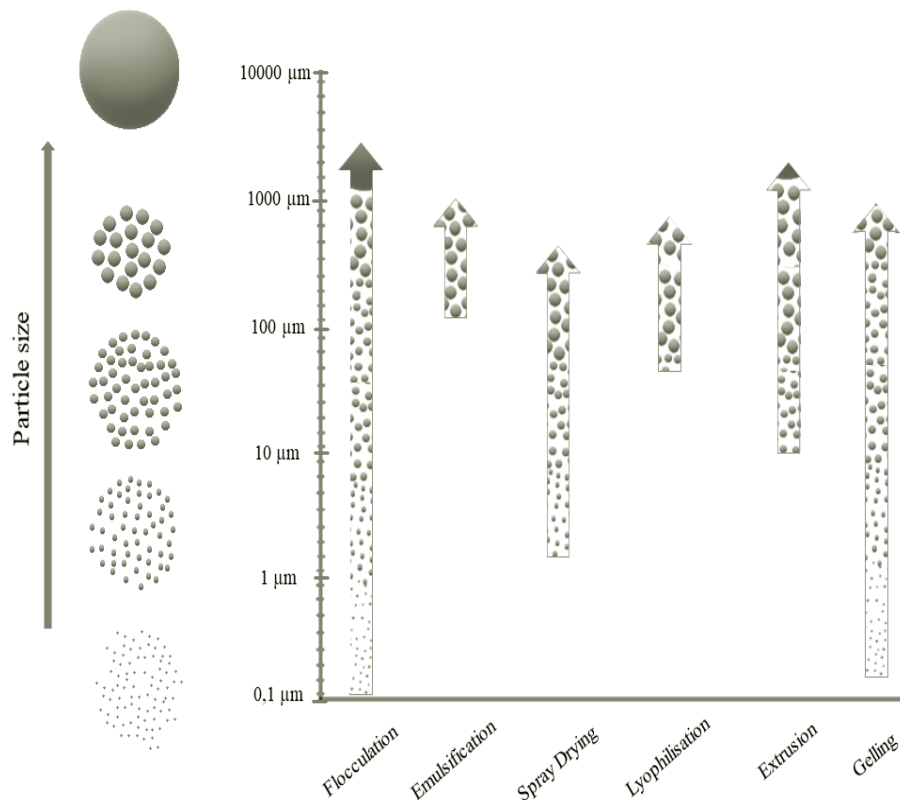


Figura 6 - Tamanhos de partículas obtidas pelas diferentes técnicas utilizadas para a imobilização de microrganismos probióticos.

5.1 Liofilização

A liofilização, também denominada de criodessecação e secagem a frio, é uma técnica em que o solvente é congelado e sublimado, em um ambiente de pressão

reduzida (PECH-CANUL et al., 2020). Frakolaki et al., (2020) mencionam que esta técnica é a mais popular para compostos sensíveis ao calor, como microrganismos probióticos. No entanto, apresenta como desvantagens a alta demanda de energia, o longo tempo de processamento além de um efeito negativo na sobrevivência dos microrganismos em virtude de afetar o estado dos lipídeos da membrana celular e a estrutura das proteínas sendo necessário a utilização de crioprotetores, consiste em uma unidade de operação com custo mais elevado,, algumas substâncias podem ser perdidas em virtude do vácuo utilizado e a secagem de grandes materiais pode levar meses (NEDOVIC et al., 2011; SHUKLA, 2011; NAG; DAS, 2013; ANTHERO et al., 2021).

Segundo Broeckx et al., (2016), durante o congelamento formam-se cristais de gelo, sendo seu aumento de tamanho dependente da taxa de congelamento e da temperatura, capazes de danificar a parede celular dos microrganismos. No entanto, com a cristalização da água pode haver a concentração de solutos ocasionando danos químicos e osmóticos que também podem prejudicar os microrganismos (MALTESEN; VAN DE WEERT, 2008). Assim, é aconselhável que o congelamento seja realizado de forma rápida para que os cristais de gelo formados sejam menores evitando, assim, extensos danos celulares (FOWLER; TONER, 2006).

Li et al., (2019) realizaram a encapsulação de *L. casei* BNCC 134415 por liofilização utilizando proteína isolada, goma gelana e acetato ftalado de celulose em combinação como materiais encapsulantes avaliando a viabilidade celular durante o armazenamento, resistência ao aquecimento e o rompimento no trato gastrointestinal constataram que as partículas formadas foram capazes de proteger os probióticos frente ao estresse provocado pelo aquecimento, durante a passagem pelo trato gastrointestinal e ao armazenamento.

5.2 Extrusão

A extrusão é uma técnica física que realiza encapsulação de microrganismos probióticos utilizando como material encapsulante hidrocolóides como alginato e carragena, por exemplo (BURGAIN et al., 2011). Nesta técnica se produz uma solução com o hidrocolóide e os probióticos que é injetada em uma extrusora (escala piloto) ou uma agulha de seringa (escala laboratorial) sendo o conteúdo da mistura gotejado em uma solução de gelificação ou endurecimento como cloreto de cálcio (GOUIN, 2004).

As principais vantagens desta técnica são a suavidade das condições de processo, possibilidade de uso de diferentes materiais de revestimento, as partículas podem ser secas ao ar, o processo de preparação é simples além da estabilidade das partículas de gel através do armazenamento. No entanto, apesar das condições favoráveis mencionadas, esta técnica é lenta, difícil de realizar o processo de escalonamento e requer o uso de soluções de hidrocolóides de baixa viscosidade (GOUIN, 2004; RODRIGUES et al., 2020).

Dentre todas as modificações que podem ser realizadas durante a aplicação desta técnica, os fatores que podem influenciar o tamanho das partículas geradas está o diâmetro do bico, a distância entre a saída da solução de hidrocolóides e a solução de reticulação catiônica, e viscosidade/taxa de fluxo da mistura célula-hidrocolóide (DONG et al., 2013).

Etchepare et al., (2016) realizaram a encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* utilizando a técnica de extrusão com amido e quitosana avaliando a viabilidade celular frente a passagem pelo trato digestivo e ao armazenamento em diferentes temperaturas e reportam que a adição destes materiais afetou positivamente a sobrevivência dos microrganismos tanto nos teste de resistência gastrointestinal quanto durante o armazenamento.

5.3 Secagem por pulverização (*Spray drying*)

A técnica de secagem por pulverização, comumente utilizada na indústria de alimentos, gera partículas esféricas em forma de pó seco com propriedades desejadas, como boa fluidez, baixa umidade residual e específica, distribuição de tamanho e forma uniformes (BROECKX et al., 2016; RODRIGUES et al., 2020). De forma geral, esta técnica consiste na dispersão, via atomização, de uma solução contendo o microrganismo probiótico e o agente encapsulante em uma câmara de secagem com elevada temperatura promovendo a solidificação quase instantaneamente sendo, então, separadas do ar úmido por meio de um filtro ou ciclone a fim de coletá-las (RAY et al., 2016; PECH-CANUL et al., 2020; RODRIGUES et al., 2020).

Assim, a secagem por pulverização oferece vantagens em comparação a outras técnicas por ser um processo rápido, ser realizado com diversos materiais encapsulantes, ser mais facilmente escalável, ser versátil a ponto de poder ser aplicado com diversas culturas e grandes volumes em tempo relativamente curto,

realizar a liberação rápida dos microrganismos se o material escolhido for de fácil dissolução (BROECKX et al., 2016).

No entanto, as altas temperaturas durante o processo podem inativar os microrganismos e, com isso, as condições de processo como as temperaturas do ar de entrada e de saída, fluxo de ar juntamente com o material encapsulante escolhido são de extrema importância para a otimização do processo e das partículas produzidas reduzindo o estresse que os microrganismos probióticos enfrentam durante o processamento garantindo, assim, a viabilidade celular (RATHORE et al., 2013; BROECKX et al., 2016; RODRIGUES et al., 2020).

Barajas-Álvarez; Gonzáles-Ávila; Espinosa-Andrews, (2022) avaliaram o efeito de diferentes materiais de parede (Agave frutano, maltodextrina, inulina e trealose) misturadas com goma arábica nas propriedades físico-químicas, eficiência de encapsulação, e viabilidade do *L. rhamnosus* HN001 por spray dryer sob condições de armazenamento e condições gastrointestinais simuladas obtendo a maior eficiência utilizando a mistura goma arábica/maltodextrina (93%). Após exposição às condições gastrointestinais simuladas os probióticos encapsulados com goma arábica/trealose apresentaram perda de viabilidade de 3 Log CFU.g⁻¹, mantendo a viabilidade acima de 6 Log CFU.g⁻¹.

5.4 Engaiolamento/Inclusão celular

O método de engaiolamento baseia-se na inclusão das células em uma malha rígida ou semi-rígida impedindo a difusão das mesmas e possibilitando a troca de nutrientes, metabólitos e gases durante o processo fermentativo (COVIZZI et al., 2007).

O mecanismo clássico para que seja realizado este tipo de imobilização envolve a mistura das células em um composto polimérico que possui carga elétrica negativa. Essa mistura é então gotejada em uma solução que contém íons carregados positivamente promovendo a formação de ligações iônicas que resultam na formação de um gel consistente o qual imobiliza as células (COVIZZI et al., 2007).

O tamanho da barreira formada irá depender da velocidade do fluxo do gotejamento, da densidade da solução polimérica e da concentração da solução iônica (WANG et al., 2005).

Devarajan et al., (2022), realizaram a encapsulação por engaiolamento/inclusão celular de *Lactobacillus rhamnosus* MF00960 e *Pediococcus pentosaceus* MF000967 oriundo do leite de camelo fêmea. como também a caseína do leite de camelo fêmea e gelatina avaliando a eficiência de encapsulação, a passagem pelo trato gastrointestinal e a resistência térmica demonstraram que as partículas produzidas foram eficientes na proteção dos probióticos durante sua passagem no trato gastrointestinal frente às condições adversas de temperatura.

5.5 Gelificação

Esta técnica de encapsulamento é baseada na capacidade de polissacarídeos aniônicos formar gel na presença de íons (SILVA et al., 2006; BUREY et al., 2008). A formação das partículas por gelificação têm sido realizadas principalmente por dois processos, sendo eles a gelificação interna e externa.

A gelificação interna realiza a produção das partículas através da adição de sais diretamente na solução polimérica contendo o material de núcleo, onde posteriormente, é realizada a diminuição do pH, com adição de solução ácida, a fim de liberar os íons, permitindo a complexação com os grupos carboxílicos. Por sua vez, na gelificação externa uma solução polimérica contendo o material de núcleo é gotejada sobre uma solução iônica podendo-se obter encapsulado e partículas de diferentes formas e tamanhos através da interação dos íons com os grupos carboxilato dos polissacarídeos resultando na formação de géis insolúveis.

Uma vez realizado este processo, o endurecimento das partículas ocorre instantaneamente, começando na superfície onde os íons reagem com as cadeias poliméricas carregadas negativamente, formando uma estrutura rígida tridimensional, com alto teor de água, meio pelo qual os íons se difundem para o interior favorecendo a reticulação do exterior para o interior (SMRDEL et al., 2008; HELGERUD et al., 2009; SCHOUBBEN et al., 2010).

Segundo Patil et al., (2010), a gelificação é um processo simples, que não utiliza solventes orgânicos, altas temperaturas ou pH extremos tornando-se de baixo custo em comparação com outras técnicas. Além disso, permite encapsular substâncias hidrofóbicas e hidrofílicas (MCCLEMENTS, 2005).

No entanto, mesmo que as cápsulas produzidas por esta técnica sejam capazes de proteger o material de núcleo, estas são sensíveis a valores de pH extremos. Para contornar isso, pode-se modificar a estrutura do gel a partir da

combinação de diferentes tipos de biopolímeros aproveitando, assim, a vantagem de cada composição química dos compostos pela sua interação (PATIL et al., 2010).

Silva et al., (2018) realizaram a encapsulação de *L. acidophilus* utilizando a gelificação como técnica encapsulante com e sem adição de FOS como material de revestimento e aplicação em yogurt de forma livre e encapsulada avaliando a viabilidade ao armazenamento e a passagem ao trato gastrointestinal, em ambas as condições, constataram que a adição do FOS promoveu um acréscimo na viabilidade dos microrganismos frente as condições expostas quando comparado com os microrganismos livres.

5.6 Emulsificação

Neste tipo de técnica, um pequeno volume de uma suspensão de célula-polímero (fase descontínua) é adicionada a um grande volume de um óleo vegetal (fase contínua). A mistura é homogeneizada para formar uma emulsão de água em óleo que, uma vez formada, o polímero solúvel em água deve ser insolubilizado (reticulado) formando pequenas partículas de gel dentro da fase oleosa (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2003).

A técnica de emulsificação é utilizada para a encapsulação devido ao seu baixo custo, formulações que podem ser facilmente modificadas em condições brandas de processo proporcionando alta retenção celular além de não requerer equipamentos sofisticados e reagentes caros possibilitando, para os probióticos, uma vantagem de não utilizar altas temperaturas com uma alta eficiência em partículas de pequeno tamanho (TAKEI et al., 2009).

A emulsificação é capaz de formar partículas com tamanho entre (25µm a 2mm) sendo que esta variação está relacionada com as condições de processo como a velocidade de agitação e o tipo de emulsificante utilizado (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2003).

Elvan, Baysal e Harsa (2022) estudaram a encapsulação de *Lactiplantibacillus pentosus* NRRL B-227 utilizando proteína do soro de leite e goma xilana como material encapsulante avaliando a viabilidade celular durante a passagem pelo trato gastrointestinal, armazenamento e sua impregnação em azeitonas observaram que a encapsulação conseguiu manter a viabilidade celular durante o armazenamento por quatro semanas, mantendo a contagem na superfície da azeitona em

10^6 - 10^7 CFU.g⁻¹ e aumentando em 60% a viabilidade celular durante a passagem no trato gastrointestinal.

Ao analisar os artigos resultantes da busca além de todas as técnicas, materiais e alimentos encontrados foi possível observar, também, que ao se tratar de paraprobióticos e pos-bióticos, nos poucos artigos encontrados, não há menções a respeito da aplicação destes de forma encapsulada e sim, relatos a respeito da inativação das células e o estudo de seus efeitos de forma livre como pode ser observado nos estudos de Almada et al., (2021), Barros et al., (2021)

6 Materiais utilizados na encapsulação de microrganismos probióticos

Os materiais que podem ser usados para encapsulamento de microrganismos probióticos devem ser biocompatíveis, biodegradáveis, processáveis e neutros aos probióticos. Um material de revestimento ideal deve ter as seguintes características desejáveis: ser quimicamente inerte com o material do núcleo; ser capaz de selar e conter o material do núcleo dentro da cápsula; fornecer proteção contra condições desfavoráveis e ser sustentável e de baixo custo. Até hoje, ainda não existe um revestimento ideal que se adapte a todos os fins, principalmente porque as características do revestimento não podem ser melhoradas simultaneamente. Assim, a obtenção de revestimentos adequados para microcápsulas como um sistema de distribuição de probióticos, implica em encontrar um ponto de equilíbrio entre as características desejáveis, como proteção contra os efeitos da umidade, acidez, pressão, troca de gás (O₂/CO₂) e/ou estresse térmico. No entanto, para uma seleção adequada do material de revestimento, a interdependência com o método de encapsulação e o microrganismo probiótico também deve ser considerada (RAMOS et al. 2017; PECH-CANUL et al., 2020). Todos os materiais descritos neste item seguem os critérios estabelecidos neste trabalho descritos no item 3.

6.1 Carboidratos

6.1.1 Maltodextrina

A maltodextrina é derivada da hidrólise ácida do amido de milho e devido sua baixa viscosidade e alta solubilidade em água é utilizada como agente encapsulante, especialmente na pulverização devido a tais características favorecem a secagem de líquidos (KARAASLAN et al. 2021), também possui como pontos favoráveis a

indústria de alimentos seu sabor suave e valor razoável. Parâmetros como higroscopicidade, eficiência de encapsulação e atividade antioxidante podem ser melhoradas com seu uso (ZHANG et al. 2018). Entretanto sua maior limitação é consequentemente a baixa capacidade emulsificante, sendo comumente combinada a outros materiais para formar emulsões estáveis (KANG et al. 2019).

Na microencapsulação de probióticos não é diferente, muitos estudos utilizam a combinação de maltodextrina e outro agente de parede para aumentar e somar os efeitos protetores às células (SULTANA et al. 2018; AREPALLY et al. 2020; CHAPARRO et al. 2021). Como na pesquisa de Chaparro et al. 2021 que utilizou uma mistura de proteína-trealose-maltodextrina para encapsular *L. rhamnosus* ATCC 7469 por pulverização mostrou alta proteção térmica, características físico-químicas aceitáveis e aumento da sobrevivência do probiótico (entre 70 e 75%). Já Arepally et al, (2020) combinou 20% de maltodextrina a concentrações variadas de goma arábica ao encapsular *Lactobacillus acidophilus* NCDC 016 por pulverização observaram que ambos materiais apresentaram estabilidade estrutural durante o processo de secagem, assim como exibiram melhor sobrevivência aos testes gástricos e também ao armazenamento, onde mantiveram viabilidade por 12 semanas refrigeradas (4°C) e expostas à temperatura ambiente (25°C).

6.1.2 Quitosana

Quitosana é um polissacarídeo composto por 2-acetamido-2-desoxi- β -D-glicopirranose e 2-amino-2-desoxi- β -D-glicopirranose um derivado desacetilado da quitina. Seu grau de desacetilação é um aspecto importante, pois determina sua solubilidade em condições aquosas ácidas. Quando o grau de desacetilação ultrapassa 50%, obtém-se a quitosana, a qual se torna solúvel em tais condições. Além disso, as condições homogêneas ou heterogêneas de desacetilação têm um impacto importante na microestrutura da quitosana, que também influencia em sua solubilidade e aplicações carreadoras de fármacos ou alimentos. Sua origem está nos resíduos da casca de caranguejo, camarão e lagosta, e sua fonte influencia o peso molecular, que por sua vez é responsável por propriedades de cristalinização, degradação, resistência à tração e teor de umidade, mas pode ser diminuída com o processamento para aumentar a desacetilação (CALINOIU et al., 2019).

As principais vantagens do revestimento de quitosana são o caráter catiônico exclusivo, alta biocompatibilidade, não toxicidade e biodegradabilidade, sendo de grande interesse no campo da liberação direcionada de probióticos devido à sua alta compatibilidade com células vivas (CALINOIU et al., 2019).

Matrizes que envolvem misturas de proteínas e polissacarídeos como materiais encapsulantes mostraram aumentar as qualidades de cada polímero separadamente. Quitosana, por exemplo, reduz a contagem inicial de células nas suspensões a serem secas devido a sua natural capacidade antimicrobiana, mas, durante o armazenamento, bem como sob condições digestivas simuladas, aumenta suas taxas de sobrevivência (VANDEN BRABER et al., 2020).

Diversos estudos relatam a imobilização de bactérias probióticas utilizando quitosana associada a diferentes materiais (BEPEYEVA et al., 2017; FAREEZ et al., 2017; HOSSEINI et al., 2019; MOJAVERI et al., 2020). Mojaveri et al., (2020) utilizou quitosana mais inulina para proteger *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis Bb12 por electrospinning e obteve resultados positivos quanto a espessura da fibra bem como a impregnação do probiótico na mesma. Além disso, apresentou alto ponto de fusão indicando aplicação adequada para alimentos que necessitem de tratamento térmico. Enquanto, Bepeyeva et al. 2017 estudou o encapsulamento de *Lactobacillus casei* NCIMB 30185 (PXN37) com gel de pectina e revestido com quitosana pela técnica de extrusão, mostrando que o revestimento de quitosana protegeu as células bacterianas do ácido no trato gástrico e também intestinal.

6.1.3 Amido

O amido constitui um importante suprimento de energia para humanos em todo o mundo e é produzido como um carboidrato de reserva nas plantas, sendo as principais fontes os diversos cereais, rizomas, raízes e tubérculos. Os grânulos de amido contêm as macromoléculas de amilose e amilopectina, que consistem em cadeias de resíduos d- glicose ligados a α - (1,4), que são interconectados por meio de ligações α - (1,6)-glucosídicas, formando assim ramificações nos polímeros (BERTOFT, 2017). Durante a formação do gel, a amilose e a amilopectina formam reticulações inter e intramoleculares de modo que produzem uma rede macromolecular e, posteriormente, o filme após a evaporação da água. O amido e seus derivados têm sido amplamente utilizados como hidrocolóides alimentares, por serem baratos, abundantes, biodegradáveis e fácil manipulação (PAVLI et al., 2018).

Esses amidos modificados geram moléculas porosas com grande capacidade adsorvente, devido à sua grande área superficial, além disso tais poros proporcionam um microambiente protetor para probióticos devido ao seu espaço expansível, onde bactérias são fisicamente adsorvidas nos poros e cavidades sem que ocorram ligações covalentes, permitindo assim sua total liberação em forma sustentada sempre que o tamanho e formato dos mesmos for adequada (Benavent-Gil et al., 2018). Uma variedade de amidos e amidos modificados foram testados como materiais na imobilização com efeito protetor de bactérias probióticas, como amido de arroz (ALFARO-GALARZA et al., 2020), milho (LI et al., 2016), batata (LUCA; OROIAN, 2020), araruta (SAMEDI; CHARLES, 2019), mandioca (OROZCO-PARRA et al., 2020).

No estudo de Alfaro-Galarza e al., (2020), foi estudado efeito protetor do arroz ou taro na microencapsulação de *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* (LPSP) por spray drying. Os autores relatam que os resultados com amido de Taro foram mais promissores na proteção das células quando comparado ao de arroz e que a temperatura de entrada do sistema afetou a viabilidade celular, sendo necessário ajustes, mas apresentou boa sobrevivência a passagem gastrintestinal. Já a pesquisa realizada por Luca; Oroian, (2020) utilizou amido de batata para proteger cepas de *Lactobacillus* pela técnica de extrusão e observou que o amido de batata foi capaz de proteger as células durante 30 dias de armazenamento.

6.1.4 Inulina

Outro material interessante é a inulina, pertencente a um grupo de frutanos que ocorre naturalmente em plantas como um carboidrato de armazenamento. É um polímero de β (1-2) D-frutose constituindo cadeias de diferentes comprimentos, cada uma delas com uma unidade terminal de glicose. Entre as fontes naturais de inulina, a chicória industrial é uma das mais importantes devido ao seu teor de inulina com alto grau de polimerização (SAMOLIŃSKA; GRELA, 2017).

Histórico de processamento e grau de polimerização têm um grande impacto no comportamento físico-químico da inulina, o qual determina sua funcionalidade para diferentes aplicações. A inulina tem um peso molecular maior do que mono e dissacarídeos, com isso tem uma maior transição vítrea e temperatura de fusão, e é mais viscoso quando dissolvido. O peso molecular mais alto também se correlaciona com uma solubilidade mais baixa. Comparado a outros oligo- e polissacarídeos, a

inulina tem uma alta flexibilidade molecular por causa de seu (2 → 1) ligado - D estrutura de frutossil (FAYED et al., 2019).

Apresenta características básicas como: não sofrer hidrólise pelas secreções gástricas e não ser absorvida no intestino delgado, sendo fermentável pela microbiota do intestino grosso. Possui baixo valor calórico em virtude de sua não-digestibilidade. Além disso, o uso nutricional da inulina fornece uma maneira favorável de estimular o equilíbrio microbiano, fornecendo um mecanismo de defesa contra o ataque e a translocação de patógenos, assim como na inibição de doenças do TGI (SHOAIB et al., 2016). A inulina de cadeia longa com alto grau de polimerização possui alta estabilidade térmica e baixa solubilidade, o que justifica a difusão mais lenta do material, proporcionando maior estabilidade do microrganismo (ROSOLEN et al., 2019). Diversos estudos utilizam inulina na encapsulação de probióticos, geralmente de forma combinada (NUNES et al., 2018; ROSOLEN et al., 2019; SANTOS et al., 2019; RADDATZ et al., 2020).

6.1.5 Pectina

Já as pectinas são polissacarídeos estruturais da parede celular vegetal compostos principalmente por unidades de ácido galacturônico, onde grupos carboxílicos envolvidos nas ligações podem ser esterificados por grupos metil, e resíduos de açúcares estão presentes ao longo da cadeia, podendo ser classificada conforme seu grau de metoxilação. Este polissacarídeo é frequentemente associado a outros componentes da parede celular, como celulose, hemicelulose e lignina. Tem sido usado nas indústrias de alimentos e bebidas por muitos anos, como agente gelificante, espessante, estabilizante e emulsificante (LARA-ESPINOZA et al., 2018).

A pectina possui capacidade de formação de complexos com outros polímeros, dependendo do pH, e devido a esta capacidade estudos relacionados ao revestimento de microcápsulas probióticas com esses complexos vêm sendo estudados (DAFE et al., 2017; VAZIRI et al., 2018; RADDATZ et al., 2020; YAN et al., 2020). Como é o caso do estudo realizado por Vaziri et al., (2018) que co-microencapsulou o probiótico *L. plantarum* e óleo rico em DHA utilizando uma combinação de pectina, alginato e gelatina obtendo 88,66% de sobrevivência celular. Utilizando outra cepa de *L. plantarum* (ATCC 13643), Dafe et al., (2017) também utilizou a pectina para microencapsular, mas desta vez combinando com amido e pela técnica de extrusão, que demonstrou resistência às condições adversas do trato gastrintestinal.

6.2 Proteínas

6.2.1 Proteínas do soro de leite

As proteínas do soro de queijo são muito utilizadas como material de revestimento para encapsulação de probióticos devido a suas propriedades nutricionais agregadas (LOYEAU et al., 2018). As proteínas isoladas do soro de leite consistem em caseína, uma fosfoproteína e nas proteínas de soro de leite que são a β -lactoglobulina e a α -lactalbumina, e o conteúdo destas proteínas no leite vai depender de diferentes fatores como a fonte. Essas proteínas podem ser recuperadas de diferentes formas, como o soro concentrado ou isolado ou hidrolisado ou ainda nativo, a depender do tipo de processamento, especialmente se a filtração foi utilizado no processo (GANJU; GOGATE, 2017).

Muitos estudos utilizam as proteínas do soro de leite isolado ou combinado a outros materiais na encapsulação por diferentes técnicas e encontram grande proteção e reforço na sobrevivência das células (ROSOLEN et al. 2019; HERNÁNDEZ-BARRUETA et al. 2020; KAREB et al. 2019). Rosolen et al. (2019), utilizou uma mistura de soro de queijo com inulina para conferir proteção ao probiótico *L. lactis* R7 e obteve resultados promissores na proteção a diversos parâmetros como, armazenamento, passagem gastrointestinal, resistência térmica, eficiência do processo entre outros.

6.3 Sais

6.3.1 Alginato de sódio

O alginato de sódio é categorizado como um polissacarídeo linear composto por resíduos de ácido D-manurônico (M) ligado em β -(1 $\rightarrow$ 4) e ácido L-gulurônico (G) ligado em α -(1 $\rightarrow$ 4) derivados de algas marrons e bactérias fontes (FAYED et al. 2019), sendo o material encapsulante mais utilizado devido sua atoxicidade, biocompatibilidade, fácil manuseio, baixo custo e ser degradado em pH baixo, permitindo a liberação de probióticos em condições digestivas (AFZAAL et al. 2018; HU et al. 2021). Assim como outros materiais descritos até aqui, o alginato de sódio é comumente combinado a outros materiais na encapsulação de bioativos, incluindo

os probióticos. Quando combinado, é capaz de formar géis e proteger as células probióticas (HU et al. 2021).

A exemplo, Liu et al. (2021) encapsularam *B. longum* por gelificação de dupla rede utilizando alginato de sódio e gelatina de peixe melhorando a eficiência de encapsulação de 15,85% para 91,91%, além da melhora na estabilidade térmica, quando comparado ao probiótico livre. Afzaal et al. (2018) combinaram o uso de alginato de sódio com carragenina para microencapsular *L. acidophilus* e incorporar a um sorvete e obtiveram resultados positivos na manutenção da viabilidade probiótica no produto e também na passagem gastrointestinal quando comparado às células livres. Similar a este estudo, Hu et al., (2021) encapsularam pela técnica de extrusão o probiótico *L. bulgaricus* utilizando alginato de sódio e pectina para incorporação em um iogurte, observando uma melhora na sobrevivência gastrointestinal e que embora as microesferas obtidos por tal técnica apresentem tamanho maiores quando comparados a por exemplo a pulverização, neste estudo a análise sensorial mostrou que as microesferas possuíam boa elasticidade e mastigabilidade.

7. Microrganismos Probióticos em Matrizes Alimentares

Nos últimos anos a demanda por produtos que ofereçam uma melhor qualidade de vida e bem-estar às pessoas tem se acentuado devido ao aumento da conscientização das pessoas em relação aos alimentos funcionais e seus benefícios à saúde (ZAFAR; PING, 2020). Uma vez que esses alimentos possuem propriedades anti-inflamatórias e anticarcinogênicas, atuam na prevenção de doenças, controle da obesidade e alívio do diabetes, se tornando assim, um dos principais aliados no combate a diversas doenças (DAS; SEN, 2014).

Esta tendência social incentiva a indústria de alimentos a produzir alimentos contendo compostos funcionais como probióticos, prebióticos, peptídeos bioativos, composto antioxidantes e nutrientes como alguns minerais e vitaminas, a fim de proporcionar benefícios à saúde do consumidor (MORELLI et al., 2018).

Atualmente, o setor lácteo abrange a maior parte de alimentos funcionais contendo probióticos e prebióticos, onde iogurtes e leites fermentados representam os principais produtos vendidos em todo o mundo, simbolizando 60-70% do mercado de produtos funcionais (KAREB; AİDER, 2019). Sendo assim, o mercado global de produtos lácteos funcionais é caracterizado por ter um segmento muito dinâmico na

indústria de laticínios, onde estima-se que nos últimos anos, estes produtos representaram um valor de mercado de 13,9 bilhões de dólares (TURKMEN et al., 2019).

Mesmo com o grande interesse em proporcionar novas conformações de produtos contendo probióticos, o emprego desses microrganismos em diferentes matrizes alimentares representa um desafio para as indústrias e pesquisadores visto que o microrganismo deve manter sua viabilidade superior a 10^6 CFU.g⁻¹ durante o processamento, armazenamento do produto e ao ser consumido, assim como garantir aceitação do produto pelo consumidor (FAO/WHO, 2001; SARAO; ARORA, 2017).

Sendo assim, essa nova abordagem de aplicação de probióticos está sendo uma aposta em laboratórios de pesquisa para ampliar a gama de produtos funcionais probióticos disponíveis no mercado, os quais estão englobando tanto os setores lácteos quanto produtos cárneos, sucos e sobremesas (GUL, 2017; EPHREM et al., 2018; MUZZAFAR; SHARMA, 2018; DIMITRELLOU et al., 2019; BIS-SOUZA² et al., 2020; NG et al., 2020) Além do uso de microrganismos probióticos e pos-bioticos na produção de embalagens bioativas (MOZAFFARZOGH et al., 2020; YORDSHAHI et al., 2020).

7.1 Probióticos em alimentos lácteos

O consumo de leite e produtos derivados representa um fator de extrema importância para a promoção da saúde. Uma vez que estes alimentos apresentam macro e micronutrientes importantes para o desenvolvimento esquelético, muscular e neurológico, além de ser um veículo apropriado para a absorção de nutrientes solúveis em lipídios (VISIOLI; STRATA, 2014). Com isso, o leite e produtos derivados, mesmo com os altos índices de intolerância, ainda representam um dos alimentos mais consumidos pelas pessoas, caracterizando a dinâmica no mercado (TURKMEN et al., 2019).

Diante do alto perfil de consumo de produtos lácteos e suas propriedades nutricionais favoráveis, pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de ampliar a disponibilidade de produtos no mercado, assim como complementar o seu valor nutricional (TERPOU et al., 2018; NG et al., 2020; PEREIRA et al., 2020), assim como o de produtos derivados de leites de origem não-bovina (RANADHEERA et al., 2018; ALJUTAILY et al., 2020; CUI et al., 2021).

Além da presença de microrganismos responsáveis pelo processo de fermentação e produção dos produtos lácteos, uma das apostas das pesquisas com o intuito de aprimorar o valor nutricional destes alimentos, é a aplicação de probióticos em matrizes lácteas, visto que o emprego de microrganismos probióticos nestes alimentos colabora para a obtenção de uma microbiota saudável, bem como pode auxiliar no combate a síndrome metabólica e obesidade (ALJUTAILY et al., 2020). Sendo assim, o mercado de produtos lácteos probióticos está em ascensão.

Dentre as conformações de produtos funcionais lácteos contendo microrganismos probióticos está o leite fermentado, uma vez que estes, com a utilização de microrganismos ácido-láticos com potencial probiótico, ultrapassam a funcionalidade anteriormente conhecida dos leites fermentados, os quais eram valorizados por representarem um método biológico de preservação do leite. A frente disso, os leites fermentados contendo microrganismos fermentativos com qualidades probióticas podem apresentar propriedades nutricionais e funcionais aprimoradas em função da capacidade de transformação de substratos e formação de produtos finais bioativos ou biodisponíveis através do metabolismo do probiótico (MARCO et al., 2017; BENGGOA et al., 2020).

Vale salientar que além do efeito benéfico adicional proveniente dos microrganismos probióticos, pesquisadores complementam ainda mais o valor funcional de produtos lácteos através da adição de prebióticos. A frente disso, a aplicação de prebióticos pode então restaurar a diversidade e atividade da microbiota intestinal, potencializando o efeito dos microrganismos probióticos. Dantas et al., (2020) demonstraram essa interação ao produzir microcápsulas pela técnica de *Spray dryer* contendo *Bifidobacterium* BB-12, leite sem lactose, e os prebióticos: inulina e oligofrutose como materiais de revestimento. Com isso, foi salientado que as microcápsulas de leite sem lactose e inulina demonstraram o maior rendimento e viabilidade após 120 dias de armazenamento. Enquanto a microcápsula de leite sem lactose e oligofrutose apresentou melhor resultado de taxa de sobrevivência probiótica na exposição ao trato gastrointestinal simulado. Manifestando a possibilidade de geração de produtos com valor funcional elevado devido aos benefícios dos prebióticos.

Além de leites de origem bovina, outros leites estão sendo alvo de estudos com probióticos, uma vez que leites derivados de camelo, cabra e alguns extratos vegetais

podem apresentar diversos benefícios e servir como fonte de microrganismos probióticos (AYYASH et al., 2020).

Os leites de origem não bovina também estão sendo relacionados com a melhora do funcionamento do trato gastrointestinal. De forma geral, os produtos lácteos não bovinos estão sendo utilizados como veículos de probióticos e demonstrando eficiência nesse processo, pois os substratos presentes nestes produtos podem facilitar a viabilidade probiótica ideal durante o armazenamento, além de fornecer o aumento das propriedades funcionais dos probióticos. Porém, um dos fatores que representa uma desvantagem são as características sensoriais consideradas como desagradáveis. Como por exemplo a acidez e propriedade reológica baixa da coalhada obtida através do leite de cabra (RANADHEERA et al., 2016; RANADHEERA et al., 2018). Diante disso, a técnica de encapsulação de probióticos pode ser uma aliada na utilização de leites de origem não bovina. Uma vez que a aplicação desta metodologia é capaz de aumentar a aceitabilidade e a vida útil desses produtos. Dado que o uso da técnica de imobilização de bactérias ácido lácticas combinada com ágar e o bioproduto *Ocimum basilicum* para a produção de queijos de leite de cabra apresentou pH mais alto e menor dureza, promovendo uma diferença significativa na aceitabilidade geral do queijo de leite de cabra (BARTKIENE et al., 2018).

Além disso, os leites de origem não bovina e seus derivados, têm sido utilizados como materiais de revestimento para aplicação de probióticos em queijo. Um exemplo disso é dado por Mudgil et al., (2021), onde a proteína de leite de camelo e amido de trigo foram utilizados como materiais para encapsular *Pediococcus pentosaceus* pela técnica de emulsificação seguida de liofilização. As microcápsulas foram aplicadas em queijo macio tradicional (Chami), onde as cápsulas produzidas com proteína de leite de camelo demonstraram uma maior viabilidade celular em comparação com as cápsulas de amido de trigo. Entretanto, ambas as cápsulas tiveram sucesso na exposição ao trato gastrointestinal simulado e apresentaram atividade inibitória para α -glicosidase, α -amilase e DPP-IV no período de 9 dias de armazenamento a 4°C.

Outrossim, a imobilização de células microbianas reflete um efeito positivo na produção de alimentos funcionais lácteos probióticos com viabilidade favorecida durante o processo e produção dos produtos. Ferreira et al., (2017) demonstraram isso ao utilizar as técnicas de liofilização e spray drying para a produção de culturas

starters encapsuladas para posterior aplicação na fabricação de queijos de leite de búfala. Os autores constataram que as microcápsulas feitas pela técnica de *spray drying* demonstraram um melhor resultado no armazenamento durante 60 dias a 4°C e uma maior redução no pH do leite em comparação com as cápsulas produzidas por liofilização. Já em relação ao teste térmico, ambas as microcápsulas apresentaram uma baixa perda na viabilidade celular, indicando o potencial para aplicações industriais.

Mais uma abordagem foi feita por Moghanjoughi et al., (2020), onde foi elaborado um filme de celulose bacteriana contendo *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium animalis* livres e microencapsulados. Onde as microcápsulas foram produzidas através da técnica de emulsão seguida de centrifugação e com a utilização de pectina e alginato de sódio como materiais de revestimento. Os filmes bioativos foram aplicados em queijo branco de salmoura e a viabilidade probiótica, o efeito antifúngico e o efeito sobre as características químicas do queijo branco de salmoura foram avaliados durante 45 dias de armazenamento. Após esse período, os autores constataram que a metodologia aplicada no estudo resultou no aumento da viabilidade dos probióticos, assim como na produção favorável de bacteriocinas e ácido láctico pelos microrganismos imobilizados, demonstrando ser um método alternativo de biopreservação de queijos.

A eficiência de cápsulas produzidas com spray na proteção a ambientes ácidos também foi conferida por Pourjafara et al., (2020) ao testarem a viabilidade de *L. acidophilus* PTCC 4356 e *L. rhamnosus* PTCC 1469 livre e encapsulados aplicados em iogurte Doogh, em que foi utilizado alginato de sódio combinado com cloreto de cálcio para a realização da técnica de extrusão. Como resultados os autores obtiveram que a encapsulação protegeu os microrganismos probióticos durante o armazenamento de 42 dias, a exposição ao trato gastrointestinal, apresentando mais uma abordagem promissora para a indústria de alimentos.

Outra alternativa foi demonstrada por Farias et al., (2019), onde a viabilidade de *Lactobacillus rhamnosus* ASCC 290 e *Lactobacillus casei* ATCC 334 livre e microencapsulado foi analisado em sorvete de mamão. No qual as microcápsulas foram produzidas pela técnica de extrusão e com a utilização de alginato de cálcio e quitosana como materiais de revestimento, e o armazenamento e exposição ao trato gastrointestinal foi avaliado. Com isso, os autores afirmaram que a aplicação da

técnica de encapsulação foi vantajosa para a viabilidade celular de *Lactobacillus casei* ATCC 334.

Apesar da alta disponibilidade de produtos lácteos probióticos no mercado, e do volume promissor de pesquisas na área, a disponibilidade de produtos probióticos ainda apresenta alguns fatores limitantes, sendo a incompatibilidade com pessoas intolerantes a lactose o principal deles. Com isso, o estudo com a aplicação de probióticos em matrizes lácteas de origem bovina e não bovina sem lactose também estão sendo realizados (PINTO et al., 2019; PEREIRA et al., 2020). Além disso, a preferência do consumidor é outro fator que pesa na oferta de produtos probióticos lácteos, visto que parte da população mundial não ingere leite e derivados na dieta. Com isso, a aplicação de microrganismos e produção de produtos probióticos funcionais não lácteos é alvo de diversos pesquisadores.

7.2 Bebidas não lácteas probióticas

Nos últimos anos, muitas pesquisas com aplicação de microrganismos probióticos em matrizes não lácteas vem crescendo, dentro deste período, as bebidas não lácteas como sucos de frutas ganharam destaque. Uma vez que os sucos de frutas são bebidas nutritivas, sem lactose e com baixo teor de gordura, se tornando de grande interesse dos consumidores (EPHREM et al., 2018). Diante disso, a adição de probióticos potencializa o valor nutricional das bebidas, tornando esse mercado cada vez mais promissor.

Uma das conformações apresentadas nos estudos é relatada por Vivek et al., (2021), em que objetivou-se avaliar o potencial probiótico e a viabilidade do *L. plantarum* subsp. *plantarum* MCC 2974 microencapsulado com suco de amora da Meghalaya (Sohiong) e maltodextrina pela técnica de *spray drying*. Ao final de 36 dias de armazenamento em temperatura ambiente, e 104 dias em temperatura refrigerada, o microrganismo microencapsulado apresentou viabilidade de $6,0 \text{ Log CFU.g}^{-1}$. Demonstrando a produção promissora de suco de Sohiong em pó com propriedades probióticas e características sensoriais adequadas.

Outra abordagem semelhante foi realizada por Rama et al., (2020), na qual foram aplicadas as cepas *Lactobacillus pentosus* ML 82 endógeno e a cepa referência *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 encapsuladas com soro de leite bovino e de búfala em suco de laranja. E a resistência ao armazenamento em temperatura ambiente, a exposição simulada ao trato gastrointestinal no suco foram avaliadas. Ao

final de 90 dias de armazenamento, as microcápsulas probióticas manifestaram viabilidade celular acima de 7 Log CFU.g⁻¹, maiores taxas de sobrevivência em comparação com as células livres na exposição ao trato gastrointestinal simulado.

Estes artigos demonstraram o aumento das características nutricionais e vida útil do produto. Além das vantagens atreladas aos produtos, a aplicação de probióticos em sucos favorece a atividade intestinal dos consumidores, enfatizando uma das principais características intrínsecas dos microrganismos probióticos.

Com isso, os benefícios da relação probiótico-suco passam a ser de grande interesse industrial. Apesar da ampla aplicação de microrganismos nestas matrizes, fatores como acidez e presença de compostos nocivos aos microrganismos acabam limitando algumas abordagens. Neste caso, os pesquisadores têm apostado no uso de técnicas que favorecem o desenvolvimento do probiótico em ambientes adversos. Horáčková et al., (2018) exemplificaram essa temática ao desenvolver microcápsulas de proteína de leite contendo *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 pela técnica de emulsificação, e aplicar em suco de abacaxi e suco de morango. Como resultado, os autores salientaram que as microcápsulas aumentaram a estabilidade do probiótico após 28 dias de armazenamento refrigerado, e o número de células de bifidobactérias, pH e teor de ácido láctico e acético não se alteraram no suco de abacaxi e morango após 24 h de cultivo a 37°C. Entretanto, apenas o suco de abacaxi demonstrou ser um veículo adequado para *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 ao manter a viabilidade celular durante o armazenamento, e manteve suas características sensoriais.

Além disso, alguns estudos apostam na utilização da própria matriz como material encapsulante, a fim de, ao final do processo de encapsulação ou imobilização, já se obter o produto probiótico (NAMI et al., 2020; VIVEK et al., 2020). Uma das vantagens atreladas a isso é o fácil preparo por apresentar estrutura instantânea, além de favorecer o armazenamento e o transporte destes produtos (MOKOENA, 2017; ÇOPUR et al., 2019).

7.3 Aplicação de probióticos em vegetais, cereais e frutas

Quanto mais distintas as matrizes alimentares, mais se faz jus ao uso de técnicas de encapsulação. No caso dos vegetais, cereais e frutas estas técnicas são as principais aliadas na hora de acrescentar os probióticos de forma que as características físico-químicas dos produtos e os fatores externos não afetem os

microrganismos. Dentre estes fatores, a interação bioquímica entre os probióticos e a matriz é um dos alvos dos pesquisadores, onde a encapsulação pode colaborar para a liberação controlada do microrganismo, possibilitando diferentes aplicações (BASU et al., 2018).

Dentre estas aplicações, os vegetais em forma de chá são amplamente consumidos. Entretanto, a perda de compostos polifenólicos durante o período de armazenamento e a ocorrência de fermentação indesejada do produto quando suplementado com probióticos são fatores que atrapalham a produção de chá probiótico. Diante disso, Hernández-Barrueta et al., (2020) formularam um chá verde probiótico com a utilização de *Lactobacillus rhamnosus* GG microencapsulado com proteína isolada de soro de leite e amido de huauzontle modificado (espécie de planta comestível). Assim, obtiveram um chá verde probiótico com viabilidade estável por 5 semanas, sem acidificação do produto durante o armazenamento e de fermentação indesejável. Lopes et al., (2020) demonstraram um efeito semelhante ao aplicar microcápsulas de alginato e quitosana contendo *Lactobacillus acidophilus* La-05 - produzidas pela técnica de gelificação iônica externa, em leite vegetal de arroz e soja. Onde observaram que a microencapsulação proporcionou maior proteção ao microrganismo no armazenamento, tratamento térmico e exposição ao trato gastrointestinal simulado.

Além da viabilidade celular dos microrganismos probióticos, a tolerância ao trato gastrointestinal é outro aspecto importante na produção de alimentos funcionais desse porte. Uma vez que, a combinação de probióticos com alguns cereais e fibras exercem papel fundamental na manutenção da saúde e bem-estar (SHAH et al., 2020). Diante disso, a aplicação de cápsulas simbióticas também tem mostrado eficiência no desenvolvimento de cereais secos probióticos, demonstrando mais uma abordagem para esse mercado (MOUMITA et al., 2017).

Atualmente um dos alimentos mais consumidos são os pães devido a sua praticidade e valor funcional, o que os torna uma matriz em potencial para a aplicação de probióticos. Zhang et al., (2018) desenvolveram pães probióticos com a utilização de microcápsulas revestidas com leite desnatado reconstituído, goma arábica, maltodextrina e inulina, produzidas pela técnica de liofilização. Os autores constataram que a viabilidade celular foi diretamente proporcional com a metodologia utilizada para a incorporação dos probióticos e das propriedades físicas dos materiais de revestimento em relação à exposição ao calor úmido. Com isso, foi possível

salientar que as microcápsulas contendo *Lactobacillus plantarum* P8 e leite desnatado reconstituído como material de revestimento, apresentaram a sobrevivência máxima dos probióticos após 15 minutos de cozimento a 100°C quando distribuído na superfície da massa. A partir disso, foi demonstrado que essa combinação pode ser uma alternativa com valor funcional elevado aos pães convencionais e torna promissora a aplicação desta formulação a outros alimentos aquecidos. Seyedain-Ardabili et al., (2016) utilizaram uma abordagem semelhante ao propor a utilização de *Lactobacillus acidophilus* LA-5 e *L. casei* 431 encapsulados com alginato de cálcio e amido de milho resistente, pela técnica de emulsão e revestidos com quitosana, para a produção de pão de hambúrguer e pão branco. Ao final do cozimento dos pães, foi possível afirmar que a proteção adicional da quitosana nas microcápsulas favoreceu a resistência probiótica a viabilidade celular não sofreu alteração durante 4 dias de armazenamento e não houve alterações nas características sensoriais dos pães.

Assim como os pães, as frutas são outra aposta de grande praticidade e que representa grande parte da dieta dos consumidores em busca de produtos funcionais. Por esse motivo, alguns pesquisadores têm interesse em desenvolver frutas probióticas, uma vez que elas também representam proteção ao microrganismo, visto que não necessitam passar por tensões durante o processamento e armazenamento do produto (ESTER et al., 2019). Apesar disso, vale salientar que dependendo da fruta o tempo de vida útil, assim como a forma de transporte pode representar um fator negativo. Como solução, os pesquisadores têm apostado na utilização de técnicas de secagem a fim de evitar esses possíveis danos e também estão usando para incorporar microrganismos probióticos (SUN-WATERHOUSE, 2011). Elvan et al., (2022), exemplificam essa metodologia ao utilizar *Lactiplantibacillus pentosus* NRRL B-227 encapsulado pela técnica de emulsificação seguida por uma centrifugação e com a utilização de xilana e proteína de soro de leite concentrada como materiais de revestimento. O qual foi aplicado de forma livre e encapsulada na superfícies de azeitonas e o potencial antioxidantes, resistência a antibióticos e a passagem pelo trato gastrointestinal simulado foram avaliados. Com isso os autores demonstraram uma nova possibilidade de produto funcional.

Dentro deste ramo, pesquisadores têm ampliado esta gama de produtos probióticos através de aplicações inovadoras que futuramente podem representar grande consumo de alimentos funcionais.

Um exemplo disso foi relatado por Santos et al., (2019), onde desenvolveram uma mousse simbiótica contendo microcápsulas de *Lactobacillus acidophilus* La-5, revestidas de inulina e produzidas pela técnica de *spray drying*. Possibilitando uma sobremesa com valor nutricional e funcional elevado. Outro exemplo foi demonstrado por Qaziyani et al., (2019) através do desenvolvimento de uma goma de mascar probiótica, na qual *Lactobacillus reuteri* foi microencapsulado usando alginato, inulina e lecitina como materiais de revestimento para a técnica de extrusão. A partir disso, os autores obtiveram uma goma de mascar promissora para a entrega de probióticos.

Mais uma aplicação inovadora e tecnológica foi desenvolvida por Mirković et al., (2018). Foi investigada a viabilidade de *Lactobacillus plantarum* 564 e *Lactobacillus plantarum* 299v revestidos com leite desnatado reconstituído e encapsulados pela técnica de *spray drying* para a produção de chocolate amargo. Após o processo de microencapsulação, os chocolates probióticos foram submetidos ao armazenamento por 180 dias e à análise sensorial, onde os microrganismos encapsulados se mantiveram viáveis durante todo o período de armazenamento e características sensoriais aceitáveis. Demonstrando uma aplicação promissora para o desenvolvimento de produtos probióticos.

De modo geral, o emprego de tecnologias de imobilização e encapsulação de probióticos têm representado a ascensão do mercado de produtos funcionais probióticos onde futuramente a gama de alimentos probióticos não lácteos tende a ser maior. Mais detalhes sobre alguns estudos mostrados e outras abordagens estão demonstrados na tabela 1.

Tabela 1 - Aplicação de probióticos em matrizes alimentares por diferentes técnicas e materiais encapsulantes.

Matriz alimentícia	Probiótico	Materiais encapsulantes	Método/Técnica	Análises	Referência
Produtos Lácteos	Leite fermentado	<i>Bacillus casei</i> ATCC 393	Alginato	Barreira de contenção mecânica/extrusão	Exposição ao trato gastrointestinal simulado Armazenamento à 4°C por 28 dias (Dimitrellou et al., 2019)
	Iogurte	<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA-5	Soro de leite em pó e goma arábica	Barreira de contenção mecânica /Spray Dryer	Eficiência de encapsulamento e eficiência de produção de microcápsulas Exposição ao trato gastrointestinal simulado (Leylak et al., 2021)
	Queijo	<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 8014	Isolado de proteína de soro de leite e goma arábica	Barreira de contenção mecânica/Freeze dryer e Spray dryer	Eficiência de encapsulação Armazenamento por 60 dias (Sharifi et al., 2020)
	Sorvete	<i>Lactobacillus casei</i>	Alginato de cálcio e concentrado de proteína de soro de leite	Aprisionamento em matriz porosa/Encapsulador (B-390; Buchi-Switzerland)	Eficiência de encapsulação Características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais Exposição ao trato gastrointestinal simulado Armazenamento por 80 dias (Afzaal et al., 2020)
	Suco de romã	<i>Lactobacillus paracasei</i> K5	Farelo de trigo designificado	Adsorção	Armazenamento à 4°C por 4 semanas (Mantzourani et al., 2020)
	Suco de laranja	<i>Lactococcus lactis</i> ABRINW-N19	Alginato-goma persa, fruto-oligossacarídeos (FOS) e inulina	Barreira de contenção mecânica /Extrusão	Estabilidade, taxa de sobrevivência, liberação de colônia e teor de pH / açúcar de células probióticas livres e microencapsuladas Eficiência de encapsulação Exposição ao trato gastrointestinal simulado Armazenamento à 4°C por 6 semanas (Nami et al., 2020)
	Cerveja e suco de maçã	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	Alginato e alginato-silica	Barreira de contenção mecânica /Liofilização	Armazenamento a 4°C (Haffner; Pasc, 2018)

Vegetais, cereais e frutas	Suco de maracujá em pó	<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 17938	Maltodextrina, gelatina e polpa de maracujá	Barreira de contenção mecânica/ <i>Spray Dryer</i>	Eficiência de encapsulamento Taxa de sobrevivência	(Monteiro et al., 2020)
	Chá Verde	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	Soro de leite e amido de huauzontle modificado	Barreira de contenção mecânica/ <i>Spray Dryer</i>	Armazenamento à 4°C Sobrevivência celular Aceitabilidade sensorial	(Hernández-Barrueta et al., 2020)
	Tamil Nadu e bebida maltada	<i>Lactobacillus acidophilus</i> NCIM 2660, <i>Lactobacillus bulgaricus</i> NCIM 102 2056, <i>Lactobacillus fermentum</i> NCIM 2165 e <i>Lactobacillus plantarum</i> NCIM 2083	Pleurotus ostreatus (prebiótico) e alginato de sódio	Aprisionamento em matriz porosa /Extrusão	Exposição ao trato gastrointestinal simulado Resistência térmica Armazenamento à temperatura ambiente por 3 semanas	(Moumita et al., 2017)
	Leite de soja e leite de arroz	<i>Lactobacillus acidophilus</i> La-05	Alginato e alginato+quitosana	Aprisionamento em matriz porosa /Encapsulador B-395	Armazenamento à 7°C por 120 dias Resistência térmica Exposição ao trato gastrointestinal simulado Análises físico-químicas	(Lopes et al., 2020)
	Snacks de maçã desidratados	<i>Bifidobacterium bifidum</i>	Alginato de sódio e carragenina	Aprisionamento em matriz porosa /Encapsulador (B-390, Buchi-Switzerland)	Exposição ao trato gastrointestinal simulado Características físico-químicas e microbiológicas Armazenamento por 25 dias	(Afzaal et al., 2020)
Cárneos	Salsichas fermentadas a seco	<i>Enterococcus faecium</i> CECT 410	Alginato, leite em pó, dextrina e trealose	Aprisionamento em matriz porosa /Extrusão	Características físico-químicas e microbiológicas Tempo de amadurecimento	(Cavalheiro et al., 2020)
	Carne de porco	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Alginato	Aprisionamento em matriz porosa /Extrusão	Rendimento de encapsulação Armazenamento à 4°C	(Corbo et al., 2016)

Presunto fatiado	<i>Bifidobacterium animalis</i> Bb-12 ou <i>Lactobacillus casei</i> -01	Soro de leite	Adsorção	Características físico-químicas Armazenamento à 4°C por 45 dias	(Pereira et al., 2018)
Filé de peixe	<i>Lactobacillus reuteri</i> E81	Nanofibras à base de poli (álcool vinílico)	Barreira de retenção mecânica /Electrospinning	Características morfológicas e potencial antioxidante	(Ceylan et al., 2019)

8. Considerações finais

Inovações e descobertas nos mais diversos setores são apresentadas diariamente, ao se falar de probióticos não é diferente. Seu conceito, benefícios e aplicações são constantemente revisados, descobertos e divulgados. Especialmente no que tange a aplicação destes microrganismos benéficos a saúde, comenta-se, pesquisa-se sobre a imobilização dos mesmos para melhoramento do processamento e/ou da aplicação de probióticos em alimentos. Mas a escolha da técnica e do material de revestimento/aprisionamento envolvido precisa observar vários fatores, como custo para implementação, tempo de processamento, e qualidade do produto final. O que se sabe até o presente momento é que muitas técnicas apresentam resultados promissores e eficientes e que os materiais geralmente são combinados, aliando seus potenciais e consequentemente cumprindo papéis importantes. Por fim, constatou-se que a aplicação de probióticos caminha para além daqueles alimentos clássicos de fonte probiótica que são os derivados lácteos, devido a diferentes demandas no setor alimentício probiótico, e muitas pesquisas que investigam formas inovadoras, em muitos casos com sucesso, na aplicação de probióticos encapsulados em bebidas vegetais, produtos cárneos, frutas desidratadas entre outros, ampliando a gama destes alimentos, possibilitando maior acesso da população e movimentando o comércio/economia destes produtos.

Agradecimentos:

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001.

CAPÍTULO 2

Microencapsulação de *Lactobacillus casei* CSL3 utilizando soro de queijo, fruto-oligossacarídeo e goma xantana por *spray dryer*

Resumo

Este estudo investigou o efeito protetor da proteína do soro de queijo (CW), fruto-oligossacarídeos (FOS) e goma xantana (XG) como materiais de parede em microcápsulas sobre a viabilidade de *Lacticaseibacillus casei*, com foco na estabilidade térmica, armazenamento e simulação do trato gastrointestinal. . Foram examinadas duas composições de materiais de parede, uma com proteína de soro de queijo e fruto-oligossacarídeos, e outra com os mesmos componentes e adição de goma xantana. Ambas as composições demonstraram elevadas eficiências de encapsulamento de aproximadamente 99%. Microcápsulas contendo goma xantana exibiram melhor estabilidade térmica e maior viabilidade celular contra o calor. Durante o armazenamento, ambos os tipos de microcápsulas preservaram efetivamente a viabilidade de *Lacticaseibacillus casei* por pelo menos 56 dias, com microcápsulas CW/FOS/XG demonstrando preservação superior em diferentes temperaturas. Além disso, as microcápsulas proporcionaram proteção eficaz durante condições gastrointestinais simuladas, com ambas as microcápsulas apresentando resistência a ácidos e sais biliares. A combinação de goma xantana, fruto-oligossacarídeos e proteína de soro de queijo desempenhou um papel crítico na proteção de *Lacticaseibacillus casei*, oferecendo aplicações potenciais na indústria alimentícia.

Palavras-chaves: Viabilidade celular; Trato gastrointestinal; Probiótico; Armazenamento; Degradação térmica.

Abstract

This study investigated the protective effect of cheese whey protein (CW), fructo-oligosaccharides (FOS), and xanthan gum (XG) as wall materials in microcapsules on the viability of *Lactocaseibacillus casei*, focusing on thermal stability, storage, and gastrointestinal tract simulation. Two compositions of wall materials were examined, one with cheese whey protein and fructo-oligosaccharides, and the other with the same components and addition of xanthan gum. Both compositions demonstrated high encapsulation efficiencies of approximately 99%. Microcapsules containing xanthan gum exhibited improved thermal stability and enhanced cell viability against heat. During storage, both types of microcapsules effectively preserved the viability of *Lactocaseibacillus casei* for at least 56 days, with CW/FOS/XG microcapsules demonstrating superior preservation at different temperatures. Moreover, the microcapsules provided effective protection during simulated gastrointestinal conditions, with both microcapsules displaying resistance to acid and bile salts. The combination of xanthan gum, fructo-oligosaccharides and cheese whey protein played a critical role in protecting *Lactocaseibacillus casei*, offering potential applications in the food industry.

Keywords: Cell viability; Gastrointestinal tract; Probiotic; Storage; Thermal degradation.

1 Introdução

Nos últimos anos (SIMEONI et al., 2014; SILVA et al., 2015; TONTUL-ARSLAN; ERBAS, 2017; ROSOLEN et al., 2019; LEYLAK et al., 2021; MINJ, ANAND, 2022), observou-se um aumento no interesse por alimentos probióticos pela população devido aos benefícios à saúde humana.

A utilização de microrganismos probióticos exige alguns critérios de seleção sendo, o principal deles, que a cepa não deve ser patogênica e considera como segura com certificação GRAS – “*generally recognized as safe*” além de ser resistente ao ácido biliar, ser capaz de se fixar nas células epiteliais intestinais e colonizar o trato gastrointestinal humano (FRIGHETTO, 2012; HUERTAS et al., 2010; MONDRAGÓN-BERNAL, 2004).

Quando da sua utilização em alimentos com alegação de propriedade funcional é fundamental que os microrganismos utilizados apresentem resistência aos níveis de acidez, bile e enzimas do trato gastrointestinal (ALAMPRESE et al., 2002) além de possuir resistência frente às operações do processamento como congelamento, liofilização, desidratação e se apresentar viáveis durante o período de estocagem (FRIGHETTO, 2012).

Tendo em vista a alta suscetibilidade dos probióticos à perda de viabilidade celular frente às condições adversas de processamento e do trato gastrointestinal técnicas de imobilização bem como a utilização de prebióticos, como oligossacarídeos, tem o potencial de melhorar a viabilidade e vêm sendo empregadas a fim de manter ou melhorar a sobrevivência das células probióticas (BURGAIN et al., 2011; YING et al., 2013; YEUNG et al., 2016).

A encapsulação possibilita ampliação das aplicações visando à proteção das suas características contra a deterioração, promovendo a formação de uma parede para o aprisionamento das gotículas/partículas (SHEN; QUEK, 2014). Assim, a encapsulação ganha destaque uma vez que permite a obtenção de um produto com menor volume, reduzindo os custos de transporte e armazenamento, facilitando sua dosagem e, principalmente, protegendo o material encapsulado, aumentando sua estabilização (JANISZEWSKA-TURAK, 2017).

Um método físico bastante utilizado é o *spray drying* (secagem por pulverização) pois seu procedimento é rápido, possui fácil repetibilidade, é flexível podendo ser facilmente operada e controlada sendo eficiente para a produção de partículas de boa qualidade (BURGAIN et al., 2011; FRASCARELI et al., 2012; RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016; ALIAKBARIAN et al., 2018).

Para que o encapsulamento seja realizado com sucesso um ponto importante a se verificar é a seleção de um material de suporte/parede adequado. O material ou materiais escolhidos devem ser GRAS, biodegradáveis, economicamente viáveis e ter a capacidade de criar uma barreira entre o material de núcleo e o ambiente externo. Dentre os diversos materiais existentes alguns exemplos são: alginato (DONG et al., 2013), celulose (MOZAFFARZOGH et al., 2020), gomas (TA et al., 2021), gelatina (VAZIRI et al., 2018), soro de leite/queijo (YING et al., 2013), além dos com potencial prebióticos como inulina (SHOAIB et al., 2016), fruto-oligossacarídeos (FOS) (NAMI et al., 2020) e galactooligossacarídeos (GIBSON, 1999; LEYLAK et al., 2021).

Carboidratos como o amido e a maltodextrina são amplamente utilizados como material encapsulante, no entanto, a utilização de (FOS) é pouco relatada na literatura como potencial material encapsulante devido principalmente a sua baixa temperatura de transição vítrea (RAJAM; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015).

Contudo, essa situação pode ser contornada com uma combinação de materiais de alto peso molecular como soro de leite e goma xantana alterando a temperatura de transição vítrea da mistura tornado possível a sua utilização como material encapsulante.

Assim, o objetivo do presente estudo foi realizar a maximização de encapsulação e avaliar as características físico-químicas do whey protein, fruto-oligossacarídeo e goma xantana como materiais de parede em microcápsulas, seu efeito protetor, considerando estabilidade térmica, armazenamento e simulação do trato gastrointestinal, na viabilidade celular de *Lactocaseibacillus casei*.

2. Material e métodos

2.1 Microrganismo e condições de cultura

A cultura probiótica de *Lactocaseibacillus casei* CSL3 (*L. casei*) CSL3 foi isolado a partir de amostras de silagem de colostro procedentes do Centro de Treinamento de Agricultores de Canguçu-RS (CETAC) e cedida pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (UFPEL). As células foram armazenadas sob ultracongelamento (-80°C).

O *L. casei* CSL3 foi reativado em 40 mL de meio MRS (DE MAN, ROGOSA e SHARP, 1960) contendo 10% (v/v) e incubadas em agitador orbital (CERTOMAT BS-1) a 150 rpm, 37°C por 24 h. Após este período, o conteúdo total do reativado foi transferido para 360 mL de meio

MRS totalizando um inóculo de 400 mL o qual foi mantido a 37 °C por 24 h a 150 rpm em agitador orbital (CERTOMAT BS-1). Ao final, as células foram centrifugadas a 2370 x g por 10 min a 4 °C, o pellet foi lavado com água peptonada (2%), e ressuspendido em 20 ml de água peptonada (2%). Após, foram adicionados nas misturas de materiais encapsulantes, como descrito no item 2.2, com concentração celular entre 10 ± 2 Log CFU.g⁻¹ e mantidos à 25 °C até o momento da secagem. Todos os testes de rompimento foram realizados até a contagem de 10⁶, sendo este o valor descrito na literatura, como mínimo para desempenhar o potencial probiótico (TRIPATHI; GIRI, 2014).

2.2 Otimização da encapsulação de probióticos por *spray dryer*

Visando a maximização do rendimento de encapsulação dos probióticos foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) 2³ (4 ensaios + 4 ensaios nos pontos axiais + 3 pontos centrais) para as variáveis temperatura (°C) e concentração de sólidos solúveis (CSS), apresentados na Tabela 2, sendo a respostas avaliadas no planejamento o rendimento do processo (%) de secagem.

Tabela 2 - Planejamento experimental 2³ com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais.

Ensaio	Variáveis	
	Temperatura (°C)	*CSS (%)
1	-1 (95)	-1 (27,5)
2	+1 (105)	-1 (27,5)
3	-1 (95)	+1 (32,5)
4	+1 (105)	+1 (32,5)
5	- 1,41 (90)	0 (30)
6	+ 1,41 (110)	0 (30)
7	0 (100)	- 1,41 (25)
8	0 (100)	+ 1,41 (35)
9	0 (100)	0 (30)
10	0 (100)	0 (30)
11	0 (100)	0 (30)

Valores reais expressos entre parênteses. * concentração de sólidos solúveis (CSS).

As cápsulas probióticas foram elaboradas conforme a metodologia proposta por Rascón et al. (2011), com modificações. Para a proteção celular, foi elaborado duas misturas de materiais encapsulantes: a primeira sendo composta por (90% soro de queijo + 10% fruto-oligossacarídeos (FOS)), denominada SF e a segunda por (90% soro de queijo + 5% FOS + 5% de goma xantana) denominada SFX, seguidas de um tratamento térmico à 65°C por 30 min e dissolvida sob agitação magnética.

A suspensão celular de *L. casei* CSL3 foi adicionada as misturas de material encapsulante e mantidas em homogeneização em agitador magnético. Ambas as soluções foram submetidas ao processo de secagem utilizando um spray dryer (LabMaq – MSDi 1.0, São Paulo, SP, Brazil) sendo as condições operacionais utilizadas a temperatura do ar de entrada 90, 95, 100, 105 e 110°C e temperatura do ar de saída de 60±10°C, fluxo de alimentação de 0,25 L h⁻¹ e vazão de ar comprimido de 4 m³.min⁻¹. O produto resultante da secagem foi armazenado em frascos estéreis acondicionados em dessecador à 25°C.

2.3 Rendimento do processo e eficiência de encapsulação

O rendimento do processo de encapsulação pode ser calculado de acordo com Aliakbarian et al., (2018) através da Equação 1.

$$YM = \frac{DW_M}{DW_E + W_{XG}} \times 100 \quad (1)$$

Onde, YM é o rendimento de encapsulação, DW_M (g) é o total de micropartículas secas recuperadas, DW_E (g) é a massa de células probióticas adicionados e W_{XG} (g) é a massa do material protetor utilizado.

A eficiência de encapsulamento (EE) pode ser definida como a sobrevivência dos microrganismos durante o processo e pode ser calculado conforme Equação (2), proposto por Nunes et al. (2018).

$$E (\%) = \frac{N}{N_0} \times 100 \quad (2)$$

Onde N é o número de células viáveis (Log CFU.g⁻¹) de matéria seca em cápsulas e N₀ é o número de células viáveis (Log CFU.g⁻¹) de matéria seca nas soluções de alimentação (antes da secagem).

2.4 Teste de ruptura da cápsula

Para determinar a ruptura da cápsula duas soluções de rompimento foram utilizadas: Tampão fosfato-salino (PBS) (100 mM, pH 7,4), solução salina 0,5% (m.v⁻¹). Para isso, 0,1 g da amostra foi ressuspensa em 1 mL de cada solução, misturada em vórtex e mantida em agitador

orbital a 150 rpm a 37 °C nos tempos de 30, 60 e 120 min. As contagens de células viáveis foram determinadas por diluição seriada em 0,1% (m.v⁻¹) de água peptonada, plaqueadas em placa com ágar De Man Rogosa Sharpe (MRS) e incubadas a 37 °C por 48 h em jarras de anaerobiose. A concentração de células viáveis foi realizada e expressa em Log de unidades formadoras de colônias por grama (Log CFU.g⁻¹).

2.5 Viabilidade de *L. casei* CSL3 encapsulado ao armazenamento

A viabilidade das células encapsuladas de *L. casei* CSL3 foi realizada durante o armazenamento a 25 ± 1 °C (ambiente). Para o rompimento da cápsula, utilizou-se 0,1 g do pó em 1 mL de solução salina 0,5% (m.v⁻¹) em agitador orbital a 150 rpm a 37°C por 30 min. Alíquotas foram coletadas e analisadas para avaliar a contagem de células viáveis conforme descrito no item 2.6.

2.6 Viabilidade de *L. casei* CSL3 encapsulado frente as condições do trato gastrointestinal

As cápsulas de *L. casei* CSL3 armazenadas durante 63 dias à 25°C foram avaliadas quanto à sobrevivência durante 60 minutos de exposição a fluidos gástricos e 240 minutos a fluidos intestinais simulados conforme descrito por Rosolen et al. (2019).

Para isso, 0,1 g de cápsulas foram expostas a 1 mL dos sucos gástricos e intestinais. O suco gástrico simulado consistiu de 3,0 mg.mL⁻¹ de pepsina e solução salina 0,5% (m.v⁻¹), acidificado com ácido clorídrico para pH 2,0, 2,5 e 3,0 (pH 2,0, 2,5 e 3). O suco intestinal simulado consistiu de 1,0 mg.mL⁻¹ de pancreatina e 0,5% (m.v⁻¹) de salina, e o pH foi ajustado para 8,0, com ou sem bile bovina a 0,5% (PAN S/B e PAN C/B), sendo todas as soluções obtidas mediante a filtração usando um filtro de membrana de 0,22 µm (Sartorius Stedim Biotech, GmbH, Goettingen, Alemanha).

As amostras foram incubadas a 37°C em agitador orbital a 150 rpm e posteriormente foram retiradas alíquotas para contagens de células viáveis sendo determinada a partir de diluição seriada (0,1% m.v⁻¹) das amostras. Após a diluição as amostras foram plaqueadas em MRS ágar e incubadas a 37°C por 48 h em jarras de anaerobiose com a posterior contagem das células viáveis expressas em unidades formadoras de colônias por grama (Log CFU.g⁻¹).

2.7 Resistência térmica

A resistência térmica do *L. casei* CSL3 encapsulado foi avaliado de acordo com Rosolen et al., (2019) usando temperaturas de 60, 65 e 70°C por 0, 5, 10, 15 e 30 min em banho termostático (QUIMIS, Brazil), com imediata imersão em banho de gelo por 10 min. Para isso, uma grama da cápsula foi transferida para tubos de ensaio contendo 9 mL de água peptonada 0.1% (m.v⁻¹). Alíquotas foram coletadas e as contagens de células viáveis foram determinadas por diluição seriada em 0,1% (m.v⁻¹) de água peptonada, plaqueadas em ágar MRS e incubadas a 37°C por 48 h em frascos anaeróbicos. A concentração de células viáveis foi expressa como Log CFU.g⁻¹.

2.8 Viscosidade

As soluções foram medidas em um reômetro (HAAKE, modelo RS150, Alemanha) a 25 °C. Foi utilizado um sensor de placa cônica (C60/2°) com folga de 0,104 mm e taxa de cisalhamento de 0,1-1000s⁻¹ por 300 s. As propriedades reológicas foram investigadas posteriormente usando o modelo de lei de potência (Eq. 3) (CHHABRA; RICHARDSON, 2008).

$$\eta_a = K_i \dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

Onde η_a é a viscosidade aparente (mPa s⁻¹), K_i é o índice consistente (mPa sn), $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s⁻¹) e n é o índice de comportamento do fluxo (adimensional)

2.9 Morfologia

A morfologia da superfície das amostras foi avaliada por microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL, JSM-6610, Japão). A análise foi operada em 10 kV, com ampliação de 1.000 e 4.000 vezes. Antes da análise MEV, as amostras foram colocadas em suportes de aço inoxidável e para o revestimento foi utilizado 1 nm de camada de ouro (GOLDSTEIN et al., 2003).

2.10 Infra-vermelho com transformada de Fourier

A caracterização das alterações estruturais nas microcápsulas foi realizada utilizando espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu, Prestige 21,

Japão). O FTIR foi realizado a 20°C, com faixa de número de onda de 650 a 4000cm⁻¹ (SILVERSTEIN; BASSLER, 1962).

2.11 Difração de raios X

A avaliação das modificações cristalinas através de microcápsulas foi realizada por difração de raios X (XRD) (Shimadzu, XD3A, Japão). A análise de XRD foi realizada a 40kV e 40mA. O ângulo de difração 2θ variou de 5° a 80° em passos de 0,05° (DE FARIAS et al., 2019).

2.12 Calorimetria Diferencial de Varredura

As propriedades térmicas das microcápsulas foram realizadas utilizando calorimetria diferencial de varredura (DSC) (Shimadzu, DSC-60, Japão). O DSC foi utilizado para investigar as transições físicas empregando uma taxa de nitrogênio de 50 mL min⁻¹ (25 °C a 500 °C) e uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹.

2.13 Sinética de Degradação do *L. casei*

A resistência térmica de *L. casei* livre e celular e microencapsulado foi avaliada utilizando diferentes temperaturas (60, 65 e 70 °C) por 0, 5, 10, 15 e 30 min em banho termostático (QUIMIS, Brasil) e resfriamento imediato por imersão em banho de gelo por 10 min. Um grama de cada amostra (células livres e microencapsuladas) foi transferido para tubos de ensaio contendo 9 mL de água peptonada a 0,1% (p/v). Alíquotas foram coletadas e as contagens de células viáveis foram determinadas por diluição seriada em água peptonada 0,1% (p/v), plaqueadas em ágar MRS, incubadas a 37 °C por 48h em condições anaeróbias. A concentração de células viáveis foi expressa como Log CFU.g⁻¹ (Rosolen et al., 2019). Os modelos Cerf (Eq. 4), Buchanan (Eq. 5) e Whiting e Buchanan (Eq. 6) foram ajustados aos dados experimentais (CERF, 1977; ARAGÓN-ROJAS et al., 2019).

$$\frac{N(t)}{N_0} = f e^{-k_1 t} + (1-f) e^{-k_2 t} \quad (4)$$

$$\text{Log} \frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{t-L}{D} \right) \quad (5)$$

$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{f(I + e^{-bL})}{I + e^{b(t-L)}} + \frac{(1-f)(I + e^{cL})}{I + e^{c(t-L)}} \quad (6)$$

Onde $N(t)$ é a viabilidade celular no tempo t (Log CFU.g⁻¹); t é o tempo (min); N_0 é a viabilidade celular inicial (Log CFU.g⁻¹); f é a porção inicial da inativação celular (adimensional); k_1 e k_2 são a taxa de inativação celular da primeira e segunda porção, respectivamente (min⁻¹); L é o tempo antes do início da inativação celular (min); D é o tempo de redução decimal (min); b é a taxa de inativação celular da porção maior (min⁻¹); c é a taxa de inativação celular da porção menor (min⁻¹).

2.14 Aplicação em matriz alimentar

Para aplicação das microcápsulas simbióticas foi escolhido um suplemento alimentar comercial, sopa desidratada, destinado a indivíduos com déficit nutricional. Para isso, 10% (m/m) de microcápsulas foi misturada em 40g de sopa com homogeneização em vórtex por 5min. O produto resultante, sopa probiótica, foi armazenado em dessecador a 25 °C. A reconstituição da sopa probiótica foi realizada mediante o indicado no modo de preparo do produto, com adaptações. Para isso, 1g de sopa probiótica foi adicionada em 5,5mL de água a 100 °C por 3s com agitação em vórtex. Após esse período, uma alíquota do sobrenadante foi coletado para contagens de células viáveis sendo determinada a partir de diluição seriada (0,1% m.v⁻¹) das amostras. Após a diluição, as amostras foram plaqueadas em MRS ágar e incubadas a 37 °C por 48h em jaras de anaerobiose com a posterior contagem das células viáveis expressas em unidades formadoras de colônias por grama (Log CFU.g⁻¹).

2.15 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do software Graphpad Prism 7, seguida do teste de Tukey para comparação de médias com nível de significância de 95% ($p < 0,05$). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados da microencapsulação foram determinados com base na média de três experimentos separados. Os parâmetros da lei de potência e dos modelos cinéticos térmicos foram estimados utilizando o método de estimativa não linear quase-Newton (Statistic 7.0, Statsoft, EUA). Os gráficos do estudo foram criados no OriginPro 8.5 (OriginLab, EUA).

3. Resultados e discussão

3.1 Maximização do rendimento de processo das misturas SF e SFX

As Tabelas 3 e 4 apresentam o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2³ (4 ensaios + 4 pontos axiais + 3 pontos centrais) para as misturas SF e SFX, respectivamente, a fim de investigar a influência das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis totais na resposta rendimento de processo de secagem. Com estas, é possível observar que o rendimento de processo para a mistura SF (Tabela 3) variou entre 32,5 % (ensaio 11) e 44,7 % (ensaio 6) enquanto para a mistura SFX (Tabela 4) os valores de rendimento encontrados variaram entre 17,8 % (ensaio 7) e 31,4 % (ensaio 6).

Em ambas as situações podemos observar que o aumento da temperatura do ar de entrada fornecido pelo ensaio 6 favoreceu a obtenção do maior rendimento de processo utilizando uma condição intermediária de sólidos solúveis.

Tabela 3 - Delineamento Composto Central Rotacional 2³ (valores reais) para maximização do rendimento da mistura SF.

Ensaio	X1	X2	R1	RP1	EA	DR1
1	-1 (95)	-1 (27,5)	38,5	40,79	-2,29	-5,95
2	+1 (105)	-1 (27,5)	39,2	40,79	-1,59	-4,06
3	-1 (95)	+1 (32,5)	38,1	40,79	-2,69	-7,06
4	+1 (105)	+1 (32,5)	38,9	40,79	-1,89	-4,86
5	-1,41 (90)	0 (30)	42	38,73	3,27	7,79
6	+1,41 (110)	0 (30)	44,7	38,73	5,97	13,36
7	0 (100)	-1,41 (25)	43,2	38,05	5,15	11,92
8	0 (100)	+1,41 (35)	41,6	38,05	3,55	8,53
9	0 (100)	0 (30)	32,6	32,65	-0,05	-0,15
10	0 (100)	0 (30)	32,8	32,65	0,15	0,46
11	0 (100)	0 (30)	32,5	32,65	-0,15	-0,46

Temperatura ar de entrada (°C); X2 = Concentração da mistura SF (%) (m/v); R1 = Rendimento (%); RP1 = Rendimento predito; EA = Erro de ajuste; DR1 = Desvio relativo do rendimento.

Leylak et al., (2021) ao realizar a otimização da encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* por *spray dryer* utilizando misturas de soro de leite e goma arábica em razões de (1:1, 3:1 e 1:0) com temperatura do ar de entrada variando entre 100, 120 e 140°C e vazão da

bomba de alimentação entre 10, 17,5 e 25 rpm obtiveram um rendimento de processo de 31,63% a 120°C, 3:1 e 17,5 rpm.

Tabela 4 - Delineamento Composto Central Rotacional 2³ (valores reais) para maximização do rendimento da mistura SFX.

Ensaio	X1	X2	R1	RP1	EA	DR1
1	-1 (95)	-1 (27,5)	18,9	20,39	-1,49	-7,88
2	+1 (105)	-1 (27,5)	20,7	24,99	-4,29	-20,72
3	-1 (95)	+1 (32,5)	22,4	20,39	2,01	8,97
4	+1 (105)	+1 (32,5)	25,4	24,99	0,41	1,61
5	-1,41 (90)	0 (30)	21,8	23,87	-2,07	-9,48
6	+1,41 (110)	0 (30)	31,4	30,35	1,05	3,33
7	0 (100)	-1,41 (25)	17,8	18,32	-0,52	-2,94
8	0 (100)	+1,41 (35)	20,5	18,32	2,18	10,62
9	0 (100)	0 (30)	28	27,11	0,89	3,18
10	0 (100)	0 (30)	27,6	27,11	0,49	1,78
11	0 (100)	0 (30)	28,4	27,11	1,29	4,54

Temperatura ar de entrada (°C); X2 = Concentração da mistura SF (%) (m/v); R1 = Rendimento (%); RP1 = Rendimento predito; EA = Erro de ajuste; DR1 = Desvio relativo do rendimento.

Bordini (2019), ao investigar o uso de soro de queijo associado a pectina e goma xantana como agentes protetores do *Pediococcus pentosaceus* P107 utilizando o *spray dryer* obteve um rendimento de processo de 9,58% sendo as condições de operação de 100°C, vazão de alimentação de 0,25 L h⁻¹ e fluxo de ar de 3,00 m³ min⁻¹.

Os resultados obtidos, descritos acima, reforçam os resultados encontrados neste trabalho para ambas as misturas sendo a SF 13% superior ao obtido por Leylak et al., (2021), em condições similares e cerca de 3,2 vezes maior ao obtido por Bordini (2019) em relação a mistura SFX.

3.1.1 Verificação do modelo empírico para o DCCR

Em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis foi obtido um modelo de segunda ordem em relação a variável resposta rendimento de processo para as misturas SF e SFX.

Para a verificação do modelo foram calculados os efeitos, desvio padrão e limites de confiança, apresentados no apêndice 1 e 2 para as misturas SF e SFX, respectivamente. A análise de variância (ANOVA), bem como os coeficientes de regressão, estão apresentados nas tabelas 5 e 6 para SF e 7 e 8 para SFX, respectivamente.

Ao analisar a tabela 5 para a resposta rendimento de processo para SF percebe-se que os coeficientes temperatura do ar de entrada (Q) e concentração de sólidos solúveis (Q) foram significativos ($p \leq 0,05$). Os termos não significativos foram adicionados à falta de ajuste para o cálculo da Análise de Variância (ANOVA), como mostra a tabela 6.

Tabela 5 - Coeficiente de regressão (CR), erro padrão (EP) e nível de significância para a resposta rendimento do processo.

	Rendimento do Processo (%)			
	CR	EP	t(5)	p
Média*	32,65	1,57	20,75	<0,01
T (L)	0,66	0,96	0,69	0,52
T(Q)*	4,31	1,15	3,74	0,01
C (L)	-0,37	0,96	-0,38	0,71
C (Q)*	3,83	1,15	3,33	0,02
T (L) x C (L)	0,02	1,36	0,02	0,99

* ($p \leq 0,05$); T: temperatura do ar de entrada (°C); C: Concentração de sólidos solúveis (%) (m/v).

Tabela 6 - Análise de variância para o Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 para SF.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F Calculado	F Tabelado
Regressão	2	144,71	72,35	13,86	4,46
Resíduo	8	41,75	5,22		
Total	10	186,46			

R:0,87; $F_{2;8;0,95}=4,46$

O coeficiente de correlação (R) para a variável rendimento de processo foi de 0,87 e com isso pode-se dizer que o modelo se ajusta aos dados experimentais. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi de 3,1. Portanto, pode-se concluir que o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

Dessa forma, foi possível construir a equação do modelo com as variáveis codificadas (Tabela 2) que representam o rendimento em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis, conforme Equação 7.

$$\text{Rendimento (\%)} = 32,65 + 4,31.T^2 + 3,83.C^2 \quad (7)$$

Onde: T: temperatura do ar de entrada e C: concentração de sólidos solúveis.

Na Figura 7, está apresentada a curva de contorno gerada a partir dos modelos preditivos e significativos para SF. Ao observar a curva de contorno podemos verificar que os melhores resultados são encontrados nas condições extremas das variáveis estudadas. A utilização dos níveis inferiores e superiores de temperaturas juntamente com os níveis inferiores e superiores de concentração de sólidos solúveis são capazes de gerar os maiores resultados para o rendimento de processo.

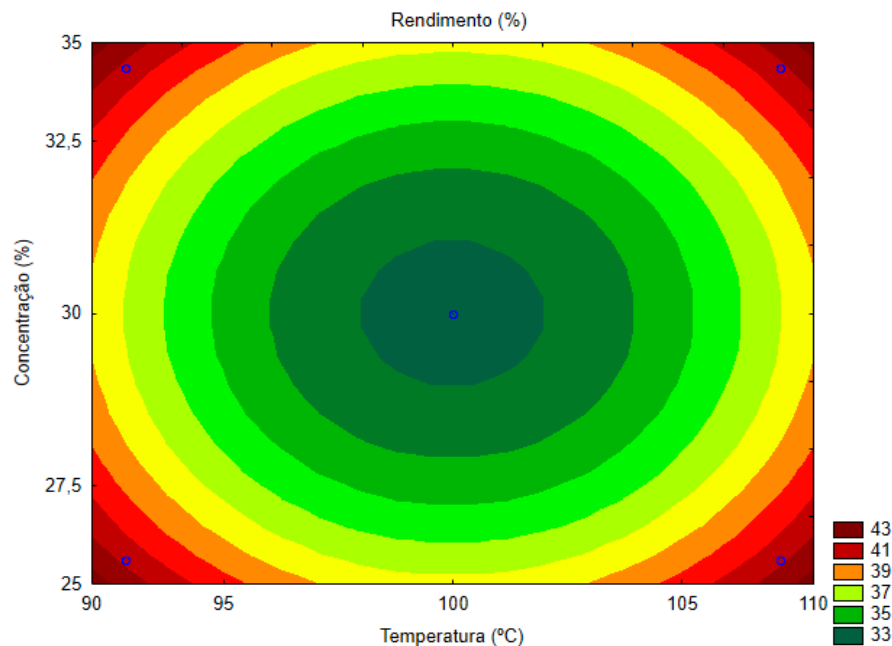


Figura 7 – Curva de contorno para rendimento (%) no DCCR 2³ em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis para SF.

Estes resultados estão de acordo com o observado na (Tabela 3) nos ensaios 1 (95°C; 27,5%), 2 (105°C; 27,5%), 4 (105°C; 32,5%), 5 (90°C; 30%) e 6 (110°C; 30%), 7 (100°C; 25%) e 8 (100°C; 35%) alcançando rendimentos de processo de 35,5, 39,2, 38,9, 42, 44,7, 43,2 e 41,6 %, respectivamente.

Os resultados do desvio relativo entre os resultados experimentais e preditos pelo modelo foram inferiores a 13,4 %, com um caso que chega a -7,06%. No entanto, na maior parte da zona de interesse os erros relativos obtidos são baixos considerando processos que envolvem microrganismos (RODRIGUES; IEMMA, 2014), conforme mostra a Tabela 3, demonstrando que a equação 7 prevê o comportamento do rendimento.

Para SFX, ao analisar a tabela 7 para a resposta rendimento de processo verifica-se que os coeficientes temperatura do ar de entrada (L) e concentração de sólidos solúveis (Q) foram

significativos ($p \leq 0,05$). Os termos não significativos foram adicionados à falta de ajuste para o cálculo da Análise de Variância (ANOVA), como mostra a tabela 8.

Tabela 7 - Coeficiente de regressão (CR), erro padrão (EP) e nível de significância para a resposta rendimento do processo.

	Rendimento do Processo (%)			
	CR	EP	t(5)	p
Média*	28,00	0,98	28,63	<0,01
T (L)*	2,30	0,60	3,83	0,01
T(Q)	-0,96	0,72	-1,34	0,24
C (L)	1,51	0,60	2,51	0,05
C (Q)*	-4,79	0,72	-6,57	<0,01
T (L) x C (L)	0,30	0,85	0,35	0,74

* ($p \leq 0,05$); T: temperatura do ar de entrada ($^{\circ}\text{C}$); C: Concentração de sólidos solúveis (%) (m/v).

Tabela 8 - Análise de variância para o Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 para SFX.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F Calculado	F Tabelado
Regressão	2	162,01	81	17,09	4,46
Resíduo	8	37,91	4,74		
Total	10	199,92			

R:0,90; $F_{2;8;0,95}=4,46$

O coeficiente de correlação (R) para a variável rendimento de processo foi de 0,90 e com isso pode-se dizer que o modelo se ajusta aos dados experimentais. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi de 3,83. Portanto, pode-se concluir que o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

Assim, foi possível construir a equação do modelo com as variáveis codificadas que representam o rendimento em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis, conforme Equação 8.

$$\text{Rendimento (\%)} = 27,11 + 2,30.T - 4,42.C^2 \quad (8)$$

Onde: T: temperatura do ar de entrada e C: concentração de sólidos solúveis.

Na Figura 8, está apresentada a curva de contorno gerada a partir dos modelos preditivos e significativos para SFX. Ao observar a curva de contorno podemos verificar a influência do aumento temperatura do ar de entrada sobre os resultados. A utilização das maiores

temperaturas estudadas juntamente com os níveis intermediários de concentração de sólidos solúveis alcançam os maiores resultados para o rendimento de processo.

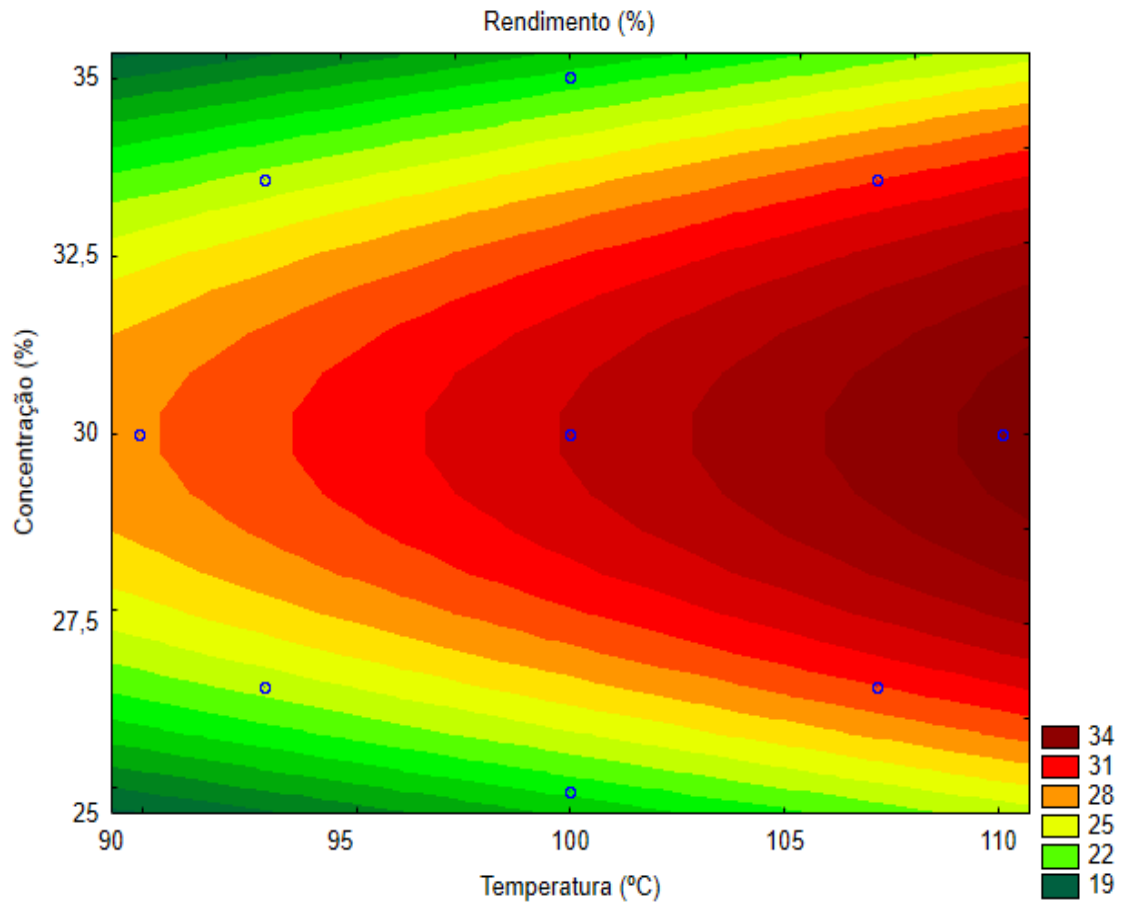


Figura 8 – Curva de contorno para rendimento (%) no DCCR 2³ em função das variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de sólidos solúveis para SFX.

Este comportamento pode ser verificado observando os ensaios 4 (105°C; 32,5%), e 6 (110°C; 30%), 9, 10 e 11 (100°C; 30%), Tabela 4, alcançando rendimentos de processo de 25,4, 31,4, 28, 27,6 e 28,4 %, respectivamente.

Os resultados do desvio relativo entre os resultados experimentais e preditos pelo modelo foram inferiores a 10,7 %, com um caso que chega a -20,72%, conforme mostra a Tabela 4, demonstrando que a equação 8 prevê o comportamento do rendimento.

3.2 Teste de ruptura da cápsula, viabilidade, eficiência de encapsulação e rendimento de processo

3.2.1 Teste de ruptura da cápsula

Estudos reportam que o rompimento de cápsulas probióticas encapsuladas com misturas de proteína de soro de queijo, polissacarídeos e gomas podem ser expostas utilizando PBS e solução salina (AREPALLY; GOSWAMI, 2019; LEYLAK et al., 2021; MINJ; ANAND, 2022).

Conforme mostra a Tabela 9, o rompimento foi verificado quando da exposição dos probióticos a diferentes soluções nos seus diferentes tempos.

Ao observar a exposição das células probióticas nos diferentes tempos, podemos verificar que não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para os ensaios 2, 3, 4, 7, 9, 10 e 11 em solução salina e PBS para a mistura SF. Sendo assim, os resultados mostraram que o melhor é realizar a exposição no menor tempo, independente da solução de rompimento.

Os ensaios 1 e 6, Tabela 9, tanto para a mistura SF quanto SFX, demonstram que houve diferença significativa quanto ao tempo de exposição, ($p \geq 0,05$), na solução de PBS sendo a melhor condição 30 minutos.

Por sua vez, o ensaio 5 apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para a solução salina no tempo de 120 minutos sendo observado a melhor condição de exposição. E, por fim, o ensaio 8, apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$) para a exposição em PBS em 120 minutos.

Ao analisar as respostas obtidas para a mistura SFX nos diferentes tempos, nota-se que os ensaios 1, 4, 5, 7, 9, 10 e 11 não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) em ambas as soluções, salina e PBS, nos diferentes tempos de exposição. Sendo assim, a melhor escolha de exposição é em 30 minutos, por ser o menor tempo, independente da solução de ruptura.

Os ensaios 2 e 6, analisando as misturas SF e SFX, apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) para os tempos de exposição estudados em ambas as soluções. Para o ensaio 2 a melhor condição de exposição de utilização é 30 minutos em solução salina ou PBS e, no ensaio 6, a maior concentração celular foi observada utilizando solução salina em 60 minutos.

Por fim, os ensaios 3 e 8 apresentaram diferença significativa ($p \geq 0,05$) durante a exposição aos diferentes tempos em apenas uma das soluções de ruptura. O ensaio 3, apresentou a melhor exposição em PBS por 30 minutos enquanto o ensaio 8 demonstrou a melhor ruptura em solução salina no mesmo tempo.

Em virtude das misturas elaboradas como material encapsulante apresentar diferente composição, pode-se realizar a observação do comportamento das mesmas frente à ruptura nos diferentes tempos em ambas as soluções. Sendo assim, é notável que a mudança de composição das misturas resultou em uma grande diferença na forma de ruptura e exposição

ao ponto que apenas o ensaio 7 não apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as misturas, soluções e tempos.

Para todos os demais ensaios, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 11, podemos verificar a diferença significativa ($p \geq 0,05$) em todos os tempos de exposição, em alguns casos apenas em um dos tempos e em outros entre as soluções de ruptura. Assim, pode-se dizer que a diferença de composição das misturas influenciou diretamente na criação de cápsulas com propriedades de exposição diferentes sendo, para a mistura SF, a maior contagem encontrada no ensaio 1 ($9,2 \text{ Log CFU.g}^{-1}$) e, para a mistura SFX, a maior contagem foi observada no ensaio 6 ($11,9 \text{ Log CFU.g}^{-1}$).

Arepally; Goswami, 2019, ao realizarem a encapsulação de *Lactobacillus Acidophilus* (NCDC 016) utilizando uma combinação de maltodextrina e goma arábica observaram que as cápsulas que continham maiores concentrações de goma apresentaram maior contagem celular quando expostas ao rompimento.

Esta observação está de acordo com o encontrado nos testes de rompimento deste estudo onde nota-se que as cápsulas produzidas com a mistura SFX, contendo goma xantana, apresentaram uma maior contagem celular quando expostas as soluções de rompimento. Este fato, se deve as propriedades da goma xantana, como seu alto peso molecular, em virtude de ser um polissacarídeo, sua pseudoplasticidade e viscosidade que são capazes de criar uma barreira de contenção para as células frente as condições adversas.

Tabela 9 - Rompimento das cápsulas imersas em PBS e solução salina.

Assay	Time	Initial Count (CFU.g ⁻¹)	SF		Initial Count (CFU.g ⁻¹)	SFX	
			Salina solution (pH 2)	PBS (pH 7.4)		Salina solution (pH 2)	PBS buffer (pH 7.4)
			Log CFU.g ⁻¹			Log CFU.g ⁻¹	
1	30	9,3±0,1	9,2±0,1 ^{a,B}	9,2±0,1 ^{a,B}	12±0,03	11,6±0,04 ^{a,A}	11,6±0,02 ^{a,A}
	60		8,6±0,4 ^{a,B}	9±0,0 ^{a,B}		11,7±0,01 ^{a,A}	11,6±0,03 ^{a,A}
	120		8,5±0,5 ^{a,B}	8,3±0,01 ^{b,B}		11,9±0,1 ^{a,A}	11,6±0,01 ^{a,A}
2	30	9,2±0,04	9±0,1 ^{a,A}	8,7±0,4 ^{a,A}	11,9±0,03	8,6±0,15 ^{a,A}	8,8±0,1 ^{a,A}
	60		8,7±0,4 ^{a,A}	8,3±0,3 ^{a,A}		7,3±0,3 ^{b,A}	8,7±0,2 ^{a,A}
	120		8,5±0,08 ^{a,A}	8,2±0,2 ^{a,A}		7±0,0 ^{b,B}	7,2±0,2 ^{b,B}
3	30	9,5±0,0	8,2±0,3 ^{a,A}	8±0,3 ^{a,A}	12,6±0,2	7,8±0,2 ^{a,B}	8±0,0 ^{a,B}
	60		7,7±0,4 ^{a,A}	7,8±0,3 ^{a,A}		7,9±0,2 ^{a,A}	7,7±0,06 ^{b,A}
	120		7,8±0,3 ^{a,A}	8,1±0,1 ^{a,A}		7,8±0,2 ^{a,A}	7,8±0,05 ^{b,A}
4	30	8,7±0,05	7,6±0,06 ^{a,A}	7,3±0,3 ^{a,A}	12,6±0,1	7,3±0,1 ^{a,A}	7,6±0,06 ^{a,A}
	60		7,5±0,2 ^{a,A}	7,6±0,09 ^{a,A}		7,1±0,2 ^{a,A}	7,5±0,2 ^{a,A}
	120		8±0,0 ^{a,A}	7,7±0,1 ^{a,A}		7,1±0,04 ^{a,B}	7,2±0,08 ^{a,B}
5	30	8,8±0,1	8,1±0,2 ^{ab,B}	8,6±0,01 ^{a,A}	11,6±0,0	8,0±0,03 ^{a,B}	8,0±0,0 ^{a,B}
	60		7,5±0,2 ^{b,A}	8,3±0,3 ^{a,A}		7,9±0,04 ^{a,A}	7,9±0,04 ^{a,A}
	120		8,4±0,1 ^{a,A}	8±0,0 ^{a,B}		7,9±0,04 ^{a,B}	7,9±0,1 ^{a,B}
6	30	9,1±0,2	8,2±0,2 ^{a,D}	9±0,06 ^{a,C}	12±0,06	11,3±0,03 ^{b,B}	11,9±0,1 ^{a,A}
	60		8,3±0,1 ^{a,B}	8,3±0,1 ^{a,b,B}		11,9±0,03 ^{a,A}	11,9±0,1 ^{a,A}
	120		8±0,0 ^{a,A}	8,2±0,2 ^{b,A}		6,2±0,2 ^{c,B}	6,2±0,2 ^{b,B}
7	30	11,4±0,4	7±0,0 ^{a,A}	7,2±0,08 ^{a,A}	8,4±0,1	7,2±0,2 ^{a,A}	7,3±0,3 ^{a,A}
	60		7,3±0,3 ^{a,A}	7,2±0,05 ^{a,A}		7,3±0,3 ^{a,A}	7±0,0 ^{a,A}
	120		7,3±0,0 ^{a,A}	7,3±0,3 ^{a,A}		6,5±0,5 ^{a,A}	6,5±0,2 ^{a,A}
8	30	10±0,0	6,7±0,05 ^{a,C}	6,6±0,0 ^{c,C}	12±0,06	11,9±0,1 ^{a,A}	11,2±0,2 ^{a,B}
	60		7±0,4 ^{a,B}	7±0,02 ^{b,B}		11,2±0,3 ^{b,A}	11,2±0,1 ^{a,A}
	120		6,8±0,2 ^{a,C}	8,1±0,01 ^{a,B}		11±0,1 ^{b,A}	11,2±0,1 ^{a,A}
9	30	8,5±0,0	7,1±0,1 ^{a,B}	7±0,0 ^{a,B}	12,6±0,03	8,1±0,2 ^{a,A}	8±0,1 ^{a,A}
	60		7±0,02 ^{a,B}	6,7±0,05 ^{a,B}		8,2±0,2 ^{a,A}	8,1±0,2 ^{a,A}
	120		7±0,3 ^{a,B}	7±0,1 ^{a,B}		8,4±0,03 ^{a,A}	8,1±0,1 ^{a,A}
10	30	8,1±0,09	7,7±0,05 ^{a,A,B}	7,2±0,2 ^{a,B}	12,1±0,04	8,4±0,4 ^{a,A}	7,6±0,1 ^{a,A}
	60		7,7±0,2 ^{a,A}	7,8±0,04 ^{a,A}		8,4±0,1 ^{a,A}	7,7±0,2 ^{a,A}
	120		7,5±0,08 ^{a,A,B}	7,3±0,3 ^{a,B}		8,5±0,2 ^{a,A}	7,3±0,3 ^{a,B}
11	30	8,3±0,1	7,4±0,4 ^{a,A}	7,2±0,2 ^{a,A}	12,4±0,03	8,2±0,2 ^{a,A}	7,8±0,1 ^{a,A}
	60		7,5±0,2 ^{a,A,B}	7,4±0,1 ^{a,B}		8,3±0,03 ^{a,A}	7,9±0,2 ^{a,A,B}
	120		7,3±0,0 ^{a,B}	7,5±0,2 ^{a,B}		8,3±0,03 ^{a,A}	7,7±0,2 ^{a,A,B}

3.2.2 Viabilidade, eficiência de encapsulação e rendimento de processo

A viabilidade celular do *L. casei* CLS 3 com o uso das duas diferentes misturas encapsulantes, SF e SFX, antes e após a secagem são apresentados na Tabela 10.

Alcançar uma alta viabilidade de microrganismos probióticos durante o processo de secagem e posterior armazenamento é um grande desafio para as pesquisas e classificado como um dos maiores problemas para a indústria alimentícia de produtos probióticos (MOUNSEY; O'RIORDAN, 2008). Para que uma cápsula possa ser considerada com potencial probiótico, esta deve assegurar uma eficiência de encapsulação de no mínimo $10^6 - 10^7$ Log CFU.g⁻¹ (TRIPATHI; GIRI, 2014).

Ao observar a Tabela 10, verifica-se que ambas as misturas, em conjunto com as condições de processo, foram capazes de gerar uma alta eficiência de encapsulação em mais de uma condição. A mistura SF, nos ensaios 1, 5 e 6 apresentaram eficiência de encapsulação superior a 98%, no ensaio 6 alcançando um valor máximo de 98,7% com 44,7% de rendimento. Por sua vez, a mistura SFX, nos ensaios 1, 6 e 8 chegaram em uma eficiência superior a 98,5%, já no ensaio 6 apresentou maior eficiência de encapsulação de 99,4% e rendimento de processo de 31,4%.

A literatura demonstra que o aumento da temperatura do ar de entrada durante o processo de encapsulação seria um fator crítico para a obtenção de altas taxas de eficiência de encapsulação, uma vez que o aumento da temperatura acarreta em uma condição de estresse para as células, conforme pode ser observado nos estudos de Arepally; Goswami, 2019 e Minj; Anand, 2022.

No entanto, mesmo o aumento da temperatura do ar de entrada ser um fator de estresse, é possível encontrar na literatura relatos de que utilizar condições de altas temperaturas do ar de entrada em concordância com as demais condições e conjunto de material ou materiais encapsulantes é possível encontrar alta eficiência de encapsulação conforme pode ser visto nos estudos de Leylak et al., (2022) e Huang et al., (2017) que estão em conformidade com os dados obtidos para ambas as misturas desenvolvidas no presente trabalho.

No estudo conduzido por Leylak et al., (2022), ao realizar a encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* por spray dryer utilizando misturas de proteína do soro de leite e goma arábica como material encapsulante obtiveram um máximo de 93,95% de eficiência de encapsulação e 48,36% de rendimento de processo utilizando uma mistura encapsulante composta por 83% de proteína de soro de leite e 17% de goma arábica em condições de processo com temperatura do ar de entrada de 140°C e vazão de alimentação de 0,485 L h⁻¹.

Huang et al., 2017, ao realizar a secagem de *Lactobacillus casei* BL23 e *Propionibacterium freudenreichii* ITG P20 utilizando spray dryer em três diferentes escalas de processo, laboratorial, semi-industrial de um estágio e semi-industrial de dois estágios, obtiveram eficiência de encapsulação entre 60 e 100% utilizando temperaturas do ar de entrada variando entre 127 e 140°C. Como observado anteriormente, a temperatura do ar de entrada mesmo sendo um ponto crítico para a obtenção de elevadas eficiências de encapsulação, pode ser utilizada. Assim como a entrada, a temperatura do ar de saída deve ser avaliada como uma condição de controle para uma maior eficiência de encapsulação.

Durante a secagem em spray dryer, a temperatura do ar de saída tem efeito mais dominante sobre as partículas do que o próprio ar de entrada. Assim que são atomizadas, as gotículas entram em contato com o ar quente causando a evaporação da água e um resfriamento rápido da gotícula até a temperatura de bulbo úmido (40-50°C). Assim, a medida que a partícula se move em direção ao fundo da câmara de secagem, ela se aproxima da temperatura do ar de saída, longe da temperatura de bulbo úmido. Com a temperatura do ar de saída mais alta e a secagem rápida há influência na sobrevivência das células após a secagem (OLDFIELD; TAYLOR; SINGH, 2005; ANANDHARAMAKRISHNAN; RIELLY; STAPLEY, 2008; DOLLY et al., 2011; RAJAM et al. 2012).

Neste estudo, as maiores eficiências de processo estão relacionadas com as maiores temperaturas do ar de entrada e conseqüentemente com as maiores temperaturas do ar de saída assim como observado por Rajam e Anandharamakrishnan, 2015 que realizaram a encapsulação de *L. plantarum* (MTCC 5422) utilizando FOS em combinação com proteína isolada de soro de leite e proteína isolada do soro de leite desnaturada obtendo eficiência de processo de 72,82% para as cápsulas produzidas apenas com FOS nas proporções 1:1 e 1:1,5 sendo a melhor eficiência de encapsulação observada utilizando FOS e proteína isolada do soro de leite desnaturada na proporção 1:1 com eficiência de encapsulação entre 90-100% utilizando temperatura do ar de entrada de 110±2°C, temperatura do ar de saída de 55±3°C, vazão de alimentação de 4 mL min⁻¹ e vazão de ar de 25 m³ h⁻¹.

Que seja de nosso conhecimento, são poucos ou praticamente inexistentes os reportes na literatura a respeito da utilização de goma xantana como material encapsulante juntamente com a secagem em *spray dryer* para a encapsulação de probióticos.

Tabela 10 - Viabilidade do *L. casei* CSL3 antes e após a encapsulação.

Ensaio	SF					SFX				
	Número de células viáveis (Log CFU.g ⁻¹)		Redução (Log CFU.g ⁻¹)	Eficiência de encapsulação (%EE)	Rendimento (%)	Número de células viáveis (Log CFU.g ⁻¹)		Redução (Log CFU.g ⁻¹)	Eficiência de encapsulação (%EE)	Rendimento (%)
	Antes spray	Após spray				Antes spray	Após spray			
1	9,3±0,1	9,2±0,1	0,1	98,6±0,4 ^a	38,5	12±0,03	11,9±0,1	0,1	99,2±0,5 ^a	18,9
2	9,2±0,04	9±0,1	0,2	97,9±0,0 ^a	39,2	11,9±0,03	8,8±0,1	3,1	74±0,1 ^c	20,7
3	9,5±0,0	8,2±0,3	1,3	84,5±3,4 ^d	38,1	12,6±0,2	8±0,0	4,6	63,4±0,0 ^{f.g}	22,4
4	8,7±0,05	8±0,0	0,7	91,5±0,0 ^{b,c}	38,9	12,6±0,1	7,6±0,06	5	60,8±0,5 ^g	25,4
5	8,8±0,1	8,6±0,01	0,2	98,2±0,7 ^a	42	11,6±0,0	8±0,03	3,6	69,3±0,0 ^{d,e}	21,8
6	9,1±0,2	9±0,06	0,1	98,7±0,3 ^a	44,7	12±0,06	11,9±0,03	0,1	99,4±0,3 ^a	31,4
7	11,4±0,4	7,3±0,3	4,1	64,0±0,0 ^e	43,2	8,4±0,1	7,3±0,3	1,1	88±1,4 ^b	17,8
8	10±0,0	8,1±0,01	1,9	81±0,13 ^d	41,6	12±0,06	11,9±0,1	0,1	98,9±0,3 ^a	20,5
9	8,5±0,0	7,1±0,1	1,4	83,3±0,6 ^d	32,6	12,6±0,03	8,4±0,03	4,2	66,3±0,2 ^{e,f}	28
10	8,1±0,09	7,8±0,04	0,3	96,2±0,6 ^{a,b}	32,8	12,1±0,04	8,5±0,2	3,6	69,4±1,7 ^d	27,6
11	8,3±0,1	7,5±0,2	0,8	90,2±2 ^c	32,5	12,4±0,03	8,3±0,03	4,1	68,3±0,5 ^{d,e}	28,4

Alguns estudos podem ser encontrados utilizando goma xantana como material encapsulante único ou em misturas, utilizando diferentes técnicas de encapsulação como a emulsão, hidrogéis e extrusão para a encapsulação de probióticos como os observados nos estudos de Papagianni; Anastasiadou, 2009; Chen et al., 2017; Xiao et al., 2020; Frakolaki et al., 2021; Ta et al., 2021.

3.3 Viabilidade do *L. casei* CSL3 encapsulado durante o armazenamento à 25°C e sobrevivência frente a simulação *in vitro* das condições do trato gastrointestinal

Em virtude de se buscar a melhor relação entre rendimento de processo e eficiência de encapsulação entre todos os ensaios desenvolvidos, foram selecionados os ensaios 5 e 6 das misturas SF e SFX para que fossem analisados seu comportamento frente ao armazenamento e simulação do trato gastrointestinal conforme pode ser observado nas figuras 9 e 10 para SF e SFX, respectivamente. Resultados inferiores a 10^6 não foram apresentados nas figuras.

Ao observarmos a figura 9 SF, é possível notar que a cápsula produzida em ambas as condições de processo, ensaio 5 e 6, foram capazes de garantir a sobrevivência das células de *L. casei* CLS3.

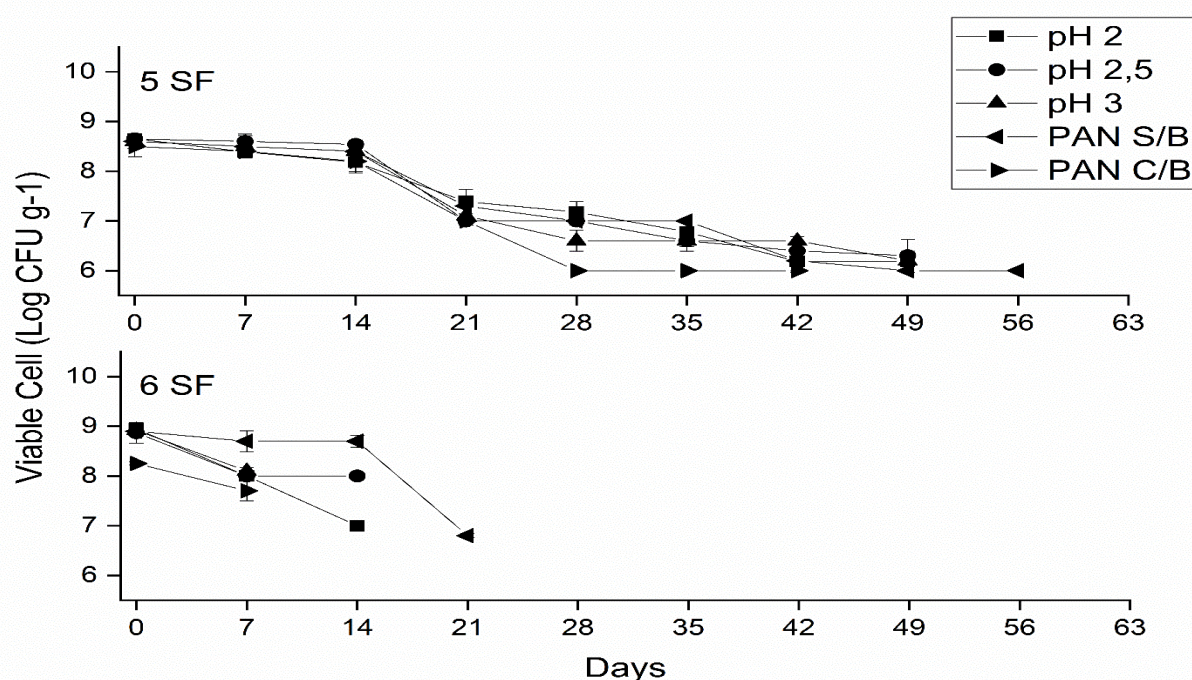


Figura 9 - Viabilidade da cápsula probiótica de *L. casei* CLS 3 produzida com a mistura SF ao armazenamento a 25°C com exposição ao trato gastrointestinal. Resultados apresentados como média±desvio padrão (n = 3). PAN S/B (pancreatina sem sais biliares). PAN C/B (pancreatina com sais biliares).

O ensaio 5 apresentou sobrevivência entre 98 e 100% em todo o trato gastrointestinal com redução entre 28 e 30% em até 49 dias de armazenamento à 25°C com contagens superiores a 10^6 Log CFU.g⁻¹. Ainda assim, para a das soluções do suco intestinal, PAN S/B, foi observado sobrevivência em até 56 dias de armazenamento com contagem de 10^6 Log CFU.g⁻¹.

Para o ensaio 6, a taxa de sobrevivência ficou entre 92 e 99,5% para todas as soluções do trato gastrointestinal. Em até 7 dias de armazenamento, houve uma redução na viabilidade entre 4 e 15% entre todas as soluções gastrointestinal. O maior tempo de armazenamento com contagem superior a 10^6 Log CFU.g⁻¹ para os sucos intestinais, foi observando para PAN S/B, que se manteve até 21 dias de armazenamento, para as misturas com SF.

Na sequência, foi observado o comportamento das cápsulas 5 e 6 SFX, apresentada na Figura 10, frente a exposição ao trato gastrointestinal sendo evidente a diminuição do tempo máximo de armazenamento obtidos com estas cápsulas.

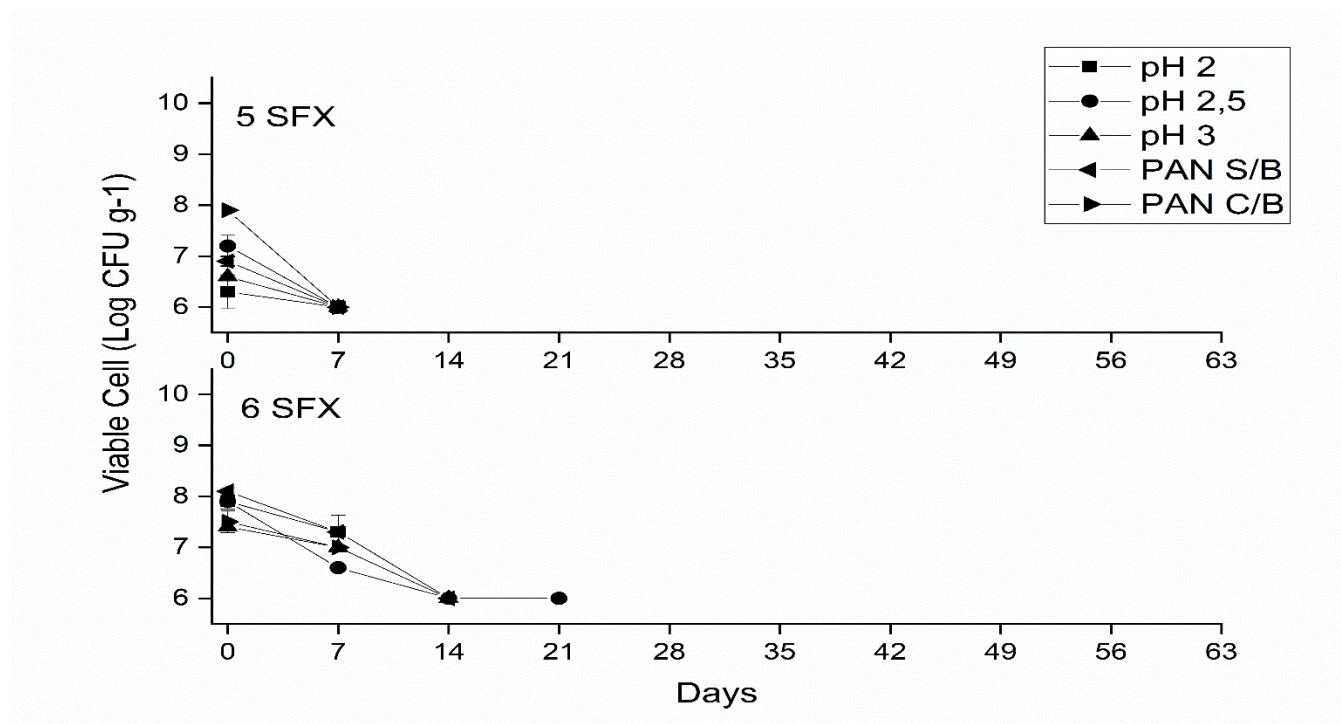


Figura 10 - Viabilidade da cápsula probiótica de *L. casei* CLS 3 produzida com a mistura SFX ao armazenamento a 25°C com exposição ao trato gastrointestinal. Resultados apresentados como média±desvio padrão (n = 3). PAN S/B (pancreatina sem sais biliares). PAN C/B (pancreatina com saisi biliares).

Apesar de conseguir uma taxa de sobrevivência entre 79 e 99%, a cápsula produzida no ensaio 5 SFX, não conseguiu garantir a viabilidade superior a 10^6 Log CFU.g⁻¹ por mais de 7 dias de armazenamento à 25°C.

A cápsula produzida pelo ensaio 6 SFX, por outro lado, foi capaz de manter viável as células do *L casei* CLS 3 por até 21 dias de armazenamento frente a exposição a solução gástrica de pH 2,5 com contagem superior a 10^6 Log CFU.g⁻¹. A taxa de sobrevivência alcançada por esta cápsula foi entre 62 e 68% entre todas as soluções do trato gastrointestinal.

A literatura mostra em diversos estudos, que a encapsulação de probióticos afeta positivamente a sobrevivência frente as condições adversas encontradas no trato gastrointestinal e armazenamento (BOSNEA; MOSCHAKIS; BILIADERIS, 2014; ARSLAN-TONTUL; ERBAS, 2017; ROSOLEN et al., 2019; LEYLAK et al., 2021; OBRADOVIĆ et al 2022).

Durante o armazenamento de cápsulas probióticas, a temperatura e o teor de umidade podem afetar a viabilidade celular, devido a oxidação lipídica da membrana celular. Assim, o uso de materiais com capacidade de retenção de umidade melhora a sobrevivência das células que foram encapsuladas. Além disso, materiais que liberam completamente células encapsuladas em sucos gástricos podem não ser adequados para a proteção celular durante a passagem pelo trato gastrointestinal sendo, o intestino, o local de entrega mais adequado (RAJAM, ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015).

A solução encapsulante pode ser composta de um único material ou uma mistura de dois ou mais. Um único material pode não conferir todas as características desejadas, sendo uma combinação de mais materiais, interessante ao ponto que esta combinação permite uma variedade de sistemas de entrega com propriedades aprimoradas e diferenciadas (RAZAVI et al., 2021).

Segundo Adhikari et al., (2009), a utilização de FOS como material encapsulante é limitada devido ao seu comportamento de viscosidade possuindo baixa temperatura de transição vítrea. No entanto, durante a secagem, há o aumento de temperatura podendo atingir a temperatura de transição vítrea podendo alterar a viscosidade com a introdução de matérias de alto peso molecular.

Nesse contexto, a utilização do soro de queijo se faz interessante, uma vez que a sua adição em misturas que contenham açúcares, promove uma alteração na viscosidade devido suas propriedades tensoativas, formação de filmes, emulsificação e gelificação (PEREZ-GAGO, KROTCHA, 2001; ADHIKARI et al., 2009).

Rajam e Anandharamakrishnam (2015), ao realizar a encapsulação de *L. plantarum* utilizando FOS, FOS em combinação com soro de leite e soro de leite desnatado em concentrações de 1:1 e 1:1,5 núcleo/material observaram perda de 0,5 Log CFU.g⁻¹ em até 60 dias de armazenamento a 4°C com viabilidade relativa variando entre 0,6 e 1 na exposição ao suco gástrico e entre 0,7 e 1,1 frente a exposição ao suco intestinal.

No presente estudo, os resultados obtidos para a mistura SF foram similares aos mencionados pelos autores acima, sendo possível proteger as células probióticas frente as adversidades da passagem pelo trato gastrointestinal e armazenamento à 25°C.

É possível observar que a diminuição da concentração de FOS na mistura SFX, e a incorporação de goma xantana não trouxe um benefício em relação ao tempo de armazenamento mesmo demonstrando uma alta taxa de sobrevivência, quando expostas as soluções do trato gastrointestinal, acima de 60% em ambas as cápsulas 5 e 6 SFX.

Este fato, pode ser explicado em virtude da goma xantana ser considerada não digerível em humanos acarretando em uma melhor passagem dos alimentos, que a contenham ou que sejam protegidos por ela, no entanto, fazendo com que a exposição do conteúdo nas soluções digestivas possa não ocorrer ou acontecer de forma parcial (FAN et al., 2008).

A presença da goma xantana, que é um polímero polianiónico, principalmente, devido aos resíduos de ácido glicurônico apresentarem $pK_a \sim 2,9$. Logo, no pH do fluido intestinal (8) ocorre a desprotonação dos grupos carboxílicos presentes nestes resíduos, resultando na formação de (COOH)⁻ (SANDFORD et al., 1977; SMITH et al., 1981).

Essa formação acarreta em uma repulsão eletrostática das cadeias poliméricas e, conseqüentemente pode ter auxiliado na difusão do fluido intestinal para o interior da microcápsula, logo o comprometimento da estrutura da microcápsula acarretou na redução da viabilidade celular comparada a microcápsula formulada sem a goma xantana. Por outro lado, a adição de sais é capaz de diminuir a repulsão eletrostática entre esses grupos, estabilizando a conformação ordenada da goma xantana, mostrando um melhor desempenho das microcápsulas no fluido intestinal simulado com a presença dos sais biliares.

A exposição a altas temperaturas (> 50 °C) é capaz de aumentar a estrutura desordenada e a reatividade da goma xantana, pela aparição de novas interações moleculares, como repulsões eletrostáticas ou interações não específicas (BRUNCHI et al., 2019). Sendo assim, capaz de explicar de uma maneira geral o menor desempenho das microcápsulas formuladas com goma xantana, devido a exposição as altas temperaturas (100°C) do processo de *spray*

drying, que apesar de possuir como vantagem o baixo tempo de retenção sob essas condições, o mesmo pode ter sido suficiente para acarretar essa mudança conformacional.

Leylak et al., (2021) ao realizar a otimização da encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* por spray dryer utilizando misturas de soro de leite e goma arábica em razões de (1:1, 3:1 e 1:0) obtiveram uma redução de 11% na taxa de viabilidade celular quando expondo as cápsulas aos sucos gastrointestinais.

Minj, Anand (2022), realizaram a encapsulação de *Bifidobacterium animalis ssp. lactis* ATCC27536 e *Lactobacillus acidophilus* ATCC4356 utilizando um material de parece conjugado sendo composto por soro de leite hidrolisado e maltodextrina verificaram a viabilidade celular acima de 10^6 Log CFU.g⁻¹ por até 4 semanas de armazenamento a 25°C.

3.4 Resistência das células do *L casei* CSL3 frente ao teste térmico

A fim de investigar o efeito protetor das cápsulas desenvolvidas pelas misturas SF e SFX, foi escolhido o ensaio 6, para ambas as misturas, que apresentou maior rendimento de processo e eficiência de encapsulação. Ao serem avaliadas frente a exposição ao tratamento térmico apresentaram contagem inicial de 9 e 11,9 Log CFU.g⁻¹ para o ensaio 6 com a mistura SF e SFX, respectivamente.

Conforme pode ser observado na Tabela 11, os resultados mostram que a cápsula oriunda da mistura SFX, contendo goma xantana, apresentou proteção frente ao tratamento térmico sendo capaz de conferir estabilidade as células probióticas quando submetidas a 70°C por 30 minutos mantendo viabilidade de 6,2 Log CFU.g⁻¹. Ao mesmo tempo, a cápsula desenvolvida com a mistura SF, foi capaz de proteger as células até 60°C por 5 minutos.

Essa diferença observada entre as cápsulas se deve ao fato de a mistura SFX conter goma xantana em sua formulação e, segundo Bhat et al., 2022, ela, quando incorporada a misturas, confere propriedades únicas como a estabilidade térmica, estabilidade frente a condições ácidas e alcalinas e biocompatibilidade, o que foi observado neste estudo pela sua capacidade de proteção frente a condições adversas de temperatura.

Na literatura, poucos estudos avaliam a condição de tratamento térmico letal em cápsulas probióticas. No entanto, Rosolen et al., (2019), ao avaliar o efeito do tratamento térmico sobre cápsulas probióticas de *L. lactis* R7 em 7 e 64 dias de armazenamento, verificou uma sobrevivência de 7,5 Log CFU.g⁻¹ na condição de 70°C por 10 minutos de exposição utilizando uma mistura contendo soro de leite e inulina.

Tabela 11 - Efeito do tratamento térmico nas cápsulas de *L casei* CLS 3.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	SF Número de células viáveis (Log CFU.g ⁻¹)	SFX Número de células viáveis (Log CFU.g ⁻¹)
6	60	0	9±0,1 ^{a,B}	11,9±0,1 ^{a,A}
		5	8,1±0,2 ^{b,B}	11,3±0,0 ^{b,A}
		10	VC	11,3±0,0 ^b
		15	VC	11,2±0,2 ^b
		30	VC	11,2±0,2 ^b
	65	0	9±0,1 ^{a,B}	11,9±0,1 ^{a,A}
		5	VC	10±0,0 ^b
		10	VC	9,3±0,3 ^c
		15	VC	9±0,0 ^c
		30	VC	8,2±0,2 ^d
	70	0	9±0,1 ^{a,B}	11,9±0,1 ^{a,A}
		5	VC	6,5±0,0 ^b
		10	VC	6,3±0,0 ^b
		15	VC	6,3±0,0 ^b
		30	VC	6,2±0,2 ^b

VC = Viabilidade celular < 6 Log CFU.g⁻¹.

^{a-b} Médias ± desvio padrão com diferentes letras minúsculas sobrescritas na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tempos estudados para uma mesma amostra na mesma temperatura avaliada.

^{A-B} Médias ± desvio padrão com diferentes letras maiúsculas sobrescritas nas colunas no mesmo horário e temperatura analisados, indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Ilha et al., (2015), ao realizar o teste térmico em cápsulas probióticas de *Lactobacillus paracasei* utilizando proteína de queijo e leite desnatado como material encapsulante, verificou sobrevivência de 6,06 Log CFU.g⁻¹ aplicando 65°C por 30 minutos de exposição.

3.5 Reologia das misturas SF e SFX utilizadas na obtenção de cápsulas de *L casei* CSL3

A viscosidade é uma propriedade reológica que mede a resistência de um material em fluir. Ela é observada quando uma camada de fluido se move em relação à outra. Quanto maior a viscosidade de um fluido maior a força de atrito gerada e conseqüentemente maior será a energia necessária para que aconteça o deslocamento (BRETAS et al., 2005).

A Figura 11 apresenta o comportamento da viscosidade aparente (cP) em função da taxa de cisalhamento (s⁻¹) para as misturas SF e SFX. Ao observar a figura, é possível notar um comportamento não-newtoniano (pseudoplástico), no qual a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento.

De acordo com a Figura 11, a adição de goma xantana na mistura SFX acarretou em um aumento de viscosidade (400,4 mPa.s) em cerca de 24,5 vezes em comparação com a mistura SF que apresentou viscosidade de (16,3 mPa.s) para uma taxa de cisalhamento de 2 s⁻¹.

A maior viscosidade pode ajudar na formação da camada protetora ao redor do material de núcleo e reduzir a desestabilização aumentando a estabilidade. Além disso, uma maior viscosidade apresenta maior resistência ao movimento das gotículas (LEKSHMI et al., 2021).

Conforme mencionado por Assis et al., (2014), misturas que incorporam goma xantana em suas formulações tendem a apresentar comportamento tipicamente pseudoplástico o que pode ser verificado no presente estudo.

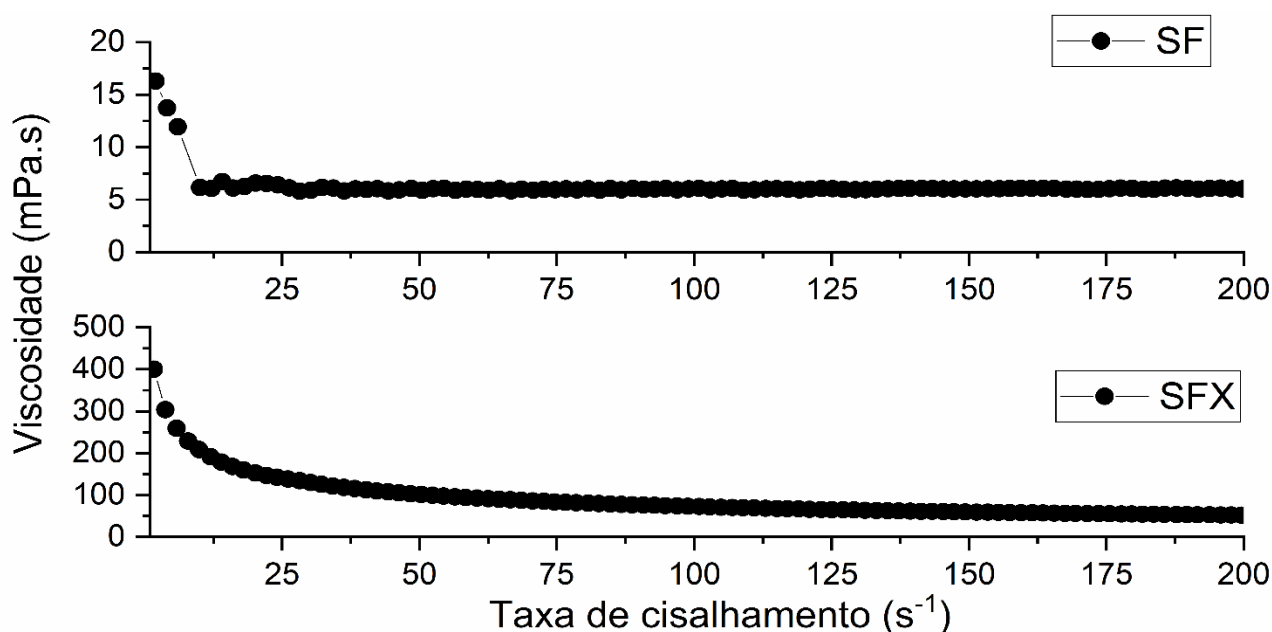


Figura 11 - Variação de viscosidade versus taxa de cisalhamento para as misturas SF e SFX.

Resultados semelhantes foram obtidos por Martínez-Padilla et al., (2015) ao avaliar o efeito da reologia da goma xantana nas propriedades espumantes do concentrado proteico de soro de leite produziram suspensão de goma xantana 0,15% (m/v) e observaram comportamento não-newtoniano para a suspensão bem como valores próximos a 1.000 mPa.s em uma taxa de cisalhamento de $1 s^{-1}$.

O modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da potência) vem sendo bastante utilizado para descrever o comportamento reológico de fluidos pseudoplásticos como as suspensões de goma xantana nos mais diversos estudos (WANG, et al., 2017; CAI, et al., 2018; DEMIRCI, et al., 2019;). Os coeficientes deste modelo para as misturas SF e SFX são apresentados na Tabela 12. O coeficiente de consistência 'k' descreve o intervalo geral de viscosidades em toda a parte modelada da curva de fluxo.

Tabela 12 - Parâmetros reológicos obtidos pelas análises das misturas SF e SFX pela aplicação do modelo da Lei da Potência (Modelo de Ostwald-de-Waele).

Amostra	Consistency index (k) [Pa.sn]	Flow behavior index (n) [--]	R ²
SF	0,03±0,02	0,64±0,2	0,98±0,02
SFX	0,54±0,03	0,57±0,01	0,99±0,01

Ao analisar a Tabela 12 é possível observar que o índice de consistência 'k' foi maior para a mistura SFX indicando que possui maior resistência ao escoamento por ser mais viscoso que a mistura SF, o que pode ser verificado na Figura 12. O valor do parâmetro 'n' foi menor na mistura SFX, indicando que a diminuição na concentração de FOS na mistura e o acréscimo de goma xantana produziu uma mistura com maior comportamento pseudoplástico com coeficientes de regressão acima de 0,98.

O parâmetro n pode assumir valores menores, igual ou maiores que a unidade. Quando o valor de n é igual a unidade, o modelo da lei da potência é similar ao modelo Newtoniano, portanto o valor de k é o valor da viscosidade do fluido. Para fluidos pseudoplásticos, n é menor que a unidade, e quanto menor o seu valor, mais expressivo é seu comportamento pseudoplástico (MOSER, 2012).

Heydari et al., (2021), ao realizar a otimização de nanocomplexos de soro de leite concentrado e pectina como material encapsulante de óleos essenciais observaram que o aumento na concentração de soro e a diminuição de pectina acarretou em uma diminuição de viscosidade, assim como Tarone et al., (2021) que ao investigar o efeito do FOS e da inulina e suas propriedades estruturais em um sistema a base de inulina para a encapsulação de polifenóis, observaram que o aumento na concentração de FOS diminui a viscosidade aparente da mistura, resultados estes que estão de acordo conforme com o observado neste estudo para a mistura SF.

Cai et al., (2018) avaliaram o efeito de misturas de goma xantana com proteína de noz quanto a adsorção interfacial e propriedades da emulsão produzindo suspensões de goma xantana de 0,00, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25 e 0,30 (m/m) obtendo valores de K de 0,001, 0,009, 0,032, 0,108, 0,695 (Pa.s) e n de 0,918, 0,826, 0,707, 0,585 e 0,435 demonstrando assim, um comportamento pseudoplástico em todas as suspensões.

3.6 Morfologia

Ao observar a Figura 12, as cápsulas obtidas a partir das misturas SF (a e b) e SFX (c e d), apresentaram formato esférico com paredes contínuas, sem fissuras ou rachaduras aparentes sugerindo uma boa proteção, com permeabilidade ao ar em níveis baixos ou inexistentes.

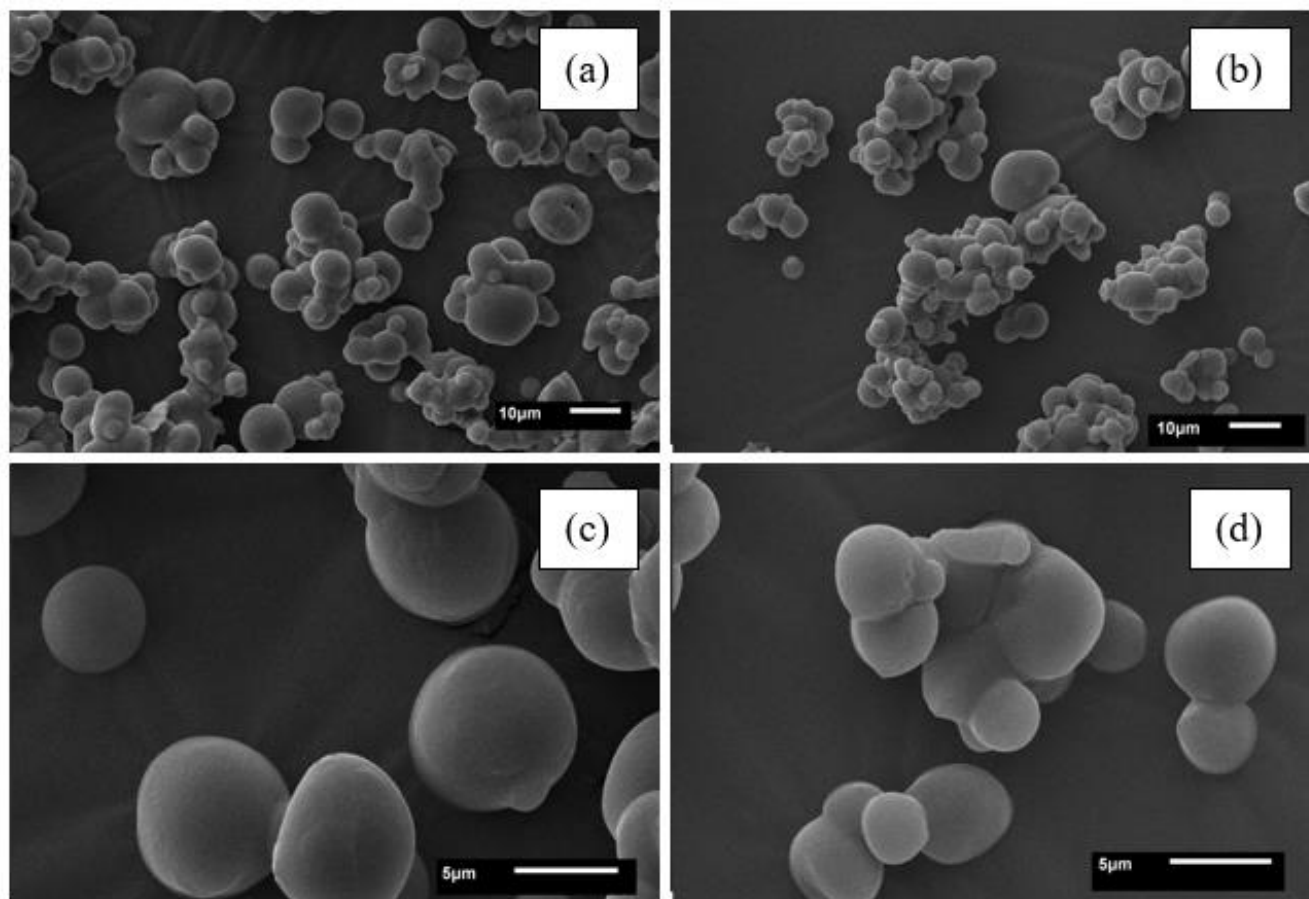


Figura 12 - Microscopia eletrônica de varredura (SEM) das cápsulas de *L casei* CLS3 encapsulado com as misturas SF (a e b) e SFX (c e d) armazenados à 25°C.

O tamanho de partícula observado foi de $14,73 \pm 5,13 \mu\text{m}$ e $11,96 \pm 4,20 \mu\text{m}$ para as cápsulas obtidas a partir das misturas SF e SFX, respectivamente. Os resultados obtidos nesse estudo estão de acordo com o observado na literatura para tamanho de partícula conforme pode ser visto nos estudos de Rajam; Anandharamakrishnam, 2015; Leylak et al., 2022, Minj, Anand, 2022; Obradović et al., 2022.

Com isso, a variação da composição das misturas não afetou a morfologia ou o tamanho de partícula sendo os resultados obtidos nesse estudo similares aos observados na literatura e reportados como adequados para serem utilizados em alimentos por não afetarem as características sensoriais (ILHA et al., 2015; MARTÍN et al., 2015; ROSOLEN et al., 2019).

3. 7 Avaliação estrutural das microcápsulas

A Figura 13 mostra o espectro FTIR das microcápsulas SF e SFX. A semelhança de todo o espectro de FTIR na Figura. 13 indica a presença de grupos funcionais ou ligações moleculares comuns nestas amostras. Aproximadamente 3650cm^{-1} , foi identificado o estiramento --OH dos grupos álcool, sugerindo a presença de grupos hidroxila nas amostras. A região entre $2500\text{--}3300\text{cm}^{-1}$ exibiu vibrações de estiramento dos grupos --NH e --OH , indicando a presença de grupos funcionais ácido carboxílico. Também foi observado o estiramento C=O dos grupos carbonila em 1650cm^{-1} , o que pode estar relacionado à banda amida I na proteína do soro de queijo e *L. casei*, bem como aos grupos éster na goma xantana e FOS. Além disso, a presença das vibrações de estiramento C=C em 1530cm^{-1} sugere a presença de compostos aromáticos. Além disso, a 1020cm^{-1} , foram identificadas vibrações de estiramento de CO associadas às unidades de glicose e manose, refletindo a presença de numerosas porções de açúcar na estrutura polimérica da goma xantana. A presença dessas ligações e grupos funcionais nas microcápsulas SF e SFX pode indicar que o *spray dryer* não afetou a estrutura química desses compostos.

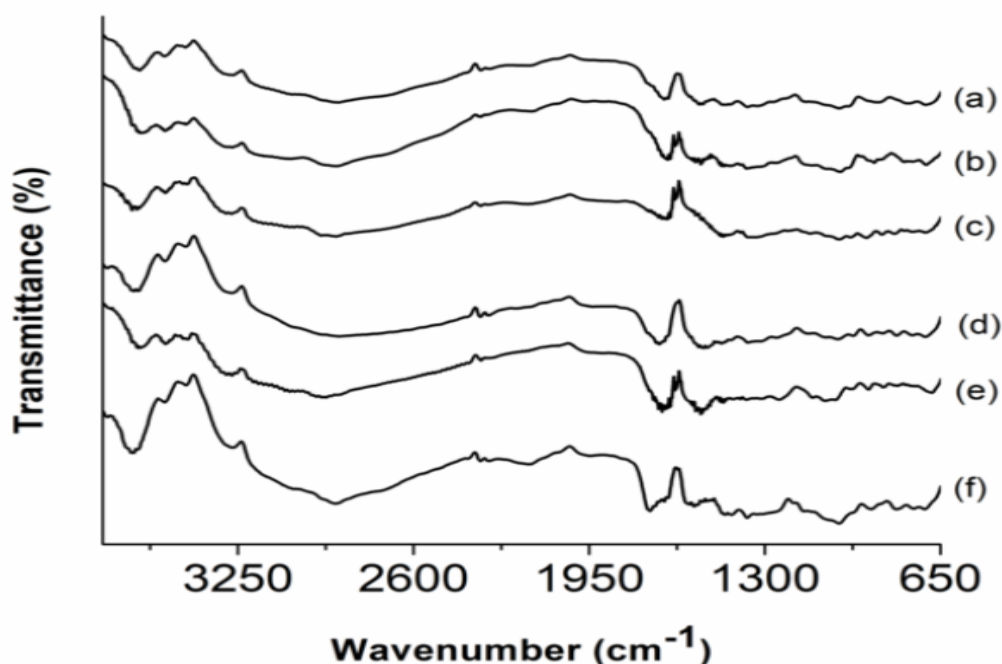


Figura 13. Espectro de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier: (a) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos, goma xantana e *Lactacaseibacillus casei* CSL3; (b) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos e *Lactacaseibacillus casei* CSL3; (c) fruto-oligossacarídeos; (d) proteína de soro de queijo; (e) *Lactacaseibacillus casei* CSL3; (f) goma xantana.

3. 8 Avaliação da cristalinidade das microcápsulas

Os difratogramas de raios X (XRD) de soro de queijo, fruto-oligossacarídeos, goma xantana, *L. casei* e microcápsulas estão representados na Figura. 14. O difratograma de XRD da goma xantana (Figura.1 4 (f)) revelou um semi-cristalino estrutura caracterizada por múltiplos picos de difração. Esta natureza semicristalina pode ser atribuída ao arranjo de unidades de glicose dentro de sua estrutura molecular. As unidades repetidas de glicose formam regiões de estrutura ordenada, enquanto outras regiões permanecem menos ordenadas e amorfas (CHIH et al., 2021). Por outro lado, os padrões de DRX de soro de queijo, fruto-oligossacarídeos e *L. casei* exibiram ausência de picos de difração, indicando sua natureza amorfa. Além disso, os padrões de XRD das microcápsulas SF e SFX também apresentaram um caráter amorfo, o que é consistente com a composição da maioria dos compostos presentes nas amostras.

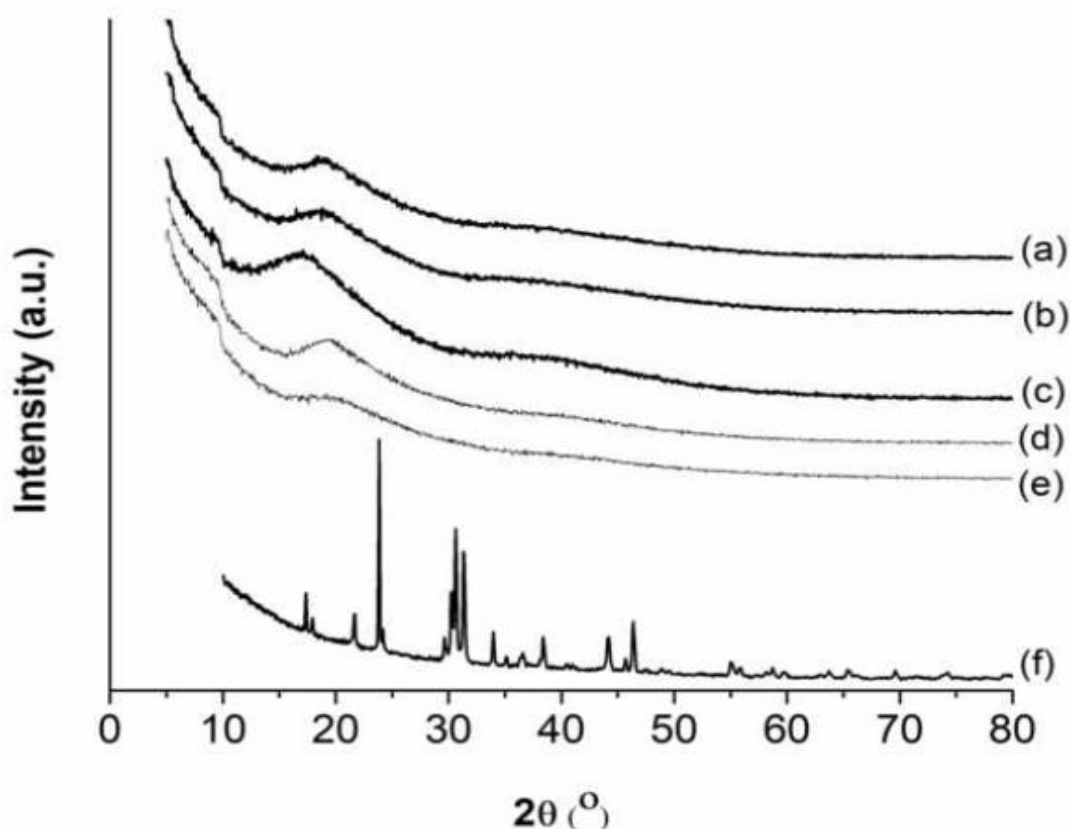


Figura 14. Difratogramas de raios X: (a) microcápsulas contendo soro de queijo, frutooligossacarídeos, goma xantana e *Lacticaseibacillus casei* CSL3; (b) microcápsulas contendo soro de queijo, fruto-oligossacarídeos e *Lacticaseibacillus casei* CSL3; (c) fruto-oligossacarídeos; (d) proteína de soro de queijo; (e) *Lacticaseibacillus casei* CSL3; (f) goma xantana.

3. 9 Propriedades térmicas das microcápsulas

As propriedades térmicas resultantes da análise DSC das microcápsulas SF e SFX são mostradas na Tabela 13. A temperatura de transição vítrea (T_g) da goma xantana foi identificada a 64°C , consistente com relatórios anteriores (60°C) (KOCHERBITOV et al., 2010).

Esta transição física indica a mudança de um estado rígido, semelhante ao vidro, para um estado mais flexível e emborrachado. Portanto, a presença de goma xantana no estado vítreo poderia restringir a mobilidade molecular dentro das microcápsulas e reduzir a difusão de fluidos durante a digestão (DE FARIAS et al., 2019; WANG et al., 2000).

Tabela 13 - Estabilidade térmica de microcápsulas contendo soro de queijo, frutooligossacarídeos e goma xantana para proteção de *Lactocaseibacillus casei* CSL3.

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Tempo (min)	SF	SFX
		Viabilidade celular (CFU.g^{-1})	
60	0	9.0 ± 0.1	11.9 ± 0.1
	5	8.1 ± 0.2	11.3 ± 0.1
	10	-	11.3 ± 0.1
	15	-	11.2 ± 0.2
	30	-	11.2 ± 0.2
65	0	9.0 ± 0.1	11.9 ± 0.1
	5	-	10.0 ± 0.1
	10	-	9.3 ± 0.3
	15	-	9.0 ± 0.1
	30	-	8.2 ± 0.2
70	0	9.0 ± 0.1	11.9 ± 0.1
	5	-	6.5 ± 0.1
	10	-	6.3 ± 0.1
	15	-	6.3 ± 0.1
	30	-	6.2 ± 0.2

Valor médio $\pm$ desvio padrão ($n=3$). SC: soro de queijo; FOS: fruto-oligossacarídeos; XG: goma xantana.

A temperatura de degradação do soro de queijo, frutooligossacarídeos, goma xantana e *L. casei* ocorreu a 186°C (-99 J g^{-1}), 220°C (306 J g^{-1}), 205°C (-56 J g^{-1} . -1) e 179°C (-143 J g^{-1}), respectivamente. As variações nas entalpias podem ser atribuídas aos tipos de

ligações presentes nas estruturas compostas, uma vez que ligações mais estáveis termicamente requerem maiores energias para dissociação (HERNANDEZ-IZQUIERDO et al., 2008).

As microcápsulas exibiram uma temperatura de degradação dentro da mesma faixa dos materiais de parede (197-198°C). Porém, a entalpia de degradação foi reduzida para um valor $\leq 60 \text{ J g}^{-1}$. Além disso, SF e SFX demonstraram um pico endotérmico a 157°C (-171 J g^{-1}) e 137°C (-279 J g^{-1}), respectivamente. Estas mudanças podem ser atribuídas às interações entre os materiais da parede e *L. casei*, resultando potencialmente em um novo estado conformacional. Este novo estado pode alterar a energia livre global associada às novas ligações, influenciada por um equilíbrio entre contribuições entrópicas e entálpicas favoráveis e desfavoráveis.

3.10 Sinética de degradação do *L. casei* CSL3

A Tabela 14 apresenta a estabilidade térmica das microcápsulas SF e SFX. As microcápsulas SFX demonstraram maior estabilidade térmica em comparação com as microcápsulas SF. O comportamento de degradação térmica de bactérias probióticas pode ser analisado usando diferentes tipos de curvas de degradação, incluindo curvas com ombro, curvas com cauda ou curvas bifásicas e curvas sigmoidais (ARAGÓN-ROJAS et al., 2019; CERF, 1977).

Assim, a Tabela 14 fornece os parâmetros dos modelos cinéticos térmicos para microcápsulas SFX a 60°C, 65°C e 70°C. Os modelos de Cerf e Whiting e Buchanan exibiram o maior coeficiente de determinação (R^2) e o menor erro relativo médio (ARE), tornando-os os modelos mais adequados para elucidar a inativação térmica de *L. casei*.

O modelo Cerf descreve uma curva com cauda, enquanto o modelo de Whiting e Buchanan caracteriza curvas com ombro e cauda, ou apenas uma delas. Assim, esses achados sugerem que a degradação térmica de *L. casei* segue uma curva com cauda, indicando a presença de duas frações com diferentes taxas de degradação térmica (k_1 e k_2). Pode-se argumentar que as microcápsulas contendo goma xantana aumentam a viabilidade celular contra o calor, potencialmente atribuída à natureza semicristalina da goma xantana.

No seu estado vítreo (abaixo de T_g), a goma xantana restringe o movimento molecular, resultando em redução da transferência de calor. Acima desta temperatura (64°C), o aumento da energia permite que as cadeias poliméricas se movam mais livremente, facilitando a transferência de calor para as microcápsulas. Apesar da redução na viabilidade celular em

temperaturas mais elevadas, o processo de relaxamento das cadeias poliméricas pode levar a um aumento temporário na viscosidade e uma diminuição na mobilidade da cadeia (BALJON et al., 2010; LI et al., 2010).

Tabela 14 - Parâmetros cinéticos para degradação térmica de *Lactocaseibacillus casei* CSL3.

	60°C	65°C	70°C
Cerf			
f	0.05±0.01	0.18±0.02	0.47±0.08
k ₁ (min ⁻¹)	0.67±0.05	0.28±0.01	0.70±0.06
k ₂ (min ⁻¹)×10 ⁴	3.28±0.03	57.6±1.12	8.37±0.15
R ²	0.99±0.1	0.99±0.1	0.99±0.1
ARE (%)	0.17±0.1	0.15±0.1	0.11±0.1
Buchanan			
L (min)	1625.48±12.38	217.63±6.59	140.34±17.08
D (min)	1607.97±24.12	225.12±4.73	161.28±8.71
R ²	0.47±0.02	0.82±0.02	0.39±0.02
ARE (%)	0.63±0.03	2.14±0.10	8.90±0.63
Whiting and Buchanan			
f	0.06±0.01	0.25±0.02	0.54±0.10
L (min)	0.99±0.01	0.99±0.01	0.99±0.01
b (min ⁻¹)	11.82±1.02	1.00±0.22	10.81±1.02
c (min ⁻¹) ×10 ⁴	1.89±0.07	73.26±5.1	72.24±0.09
R ²	0.99±0.01	0.99±0.01	0.99±0.01
ARE (%)	0.2±0.01	0.72±0.10	1.24±0.08

Valor médio ± desvio padrão (n = 3). R²: coeficiente de determinação; ARE: erro relativo médio; f é a porção inicial da inativação celular; k₁ e k₂ são a taxa de inativação celular da primeira e segunda porção, respectivamente; L é o tempo antes do início da inativação celular; D é o tempo de redução decimal; b é a taxa de inativação celular da porção principal; c é a taxa de inativação celular da porção menor.

Isto reduz transitoriamente a capacidade de transferência de calor do polímero, resultando nessas duas frações de degradação térmica e, em última análise, contribuindo para melhorar a resistência ao calor em microcápsulas SFX em comparação com microcápsulas SF. Portanto, estas microcápsulas têm potencial para formulações de alimentos funcionais tratados termicamente.

3.11 Aplicação em matriz alimentar

Para aplicações alimentícias, a elaboração de microcápsulas com tamanho de partícula suficientemente pequeno para não causar alterações sensoriais é um dos grandes desafios encontrados no desenvolvimento de novos produtos (HEIDEBACH; FÖRST; KULOZIK, 2012).

Por um lado, diâmetros maiores de partícula proporcionam volume de superfície mais alta aumentando a probabilidade de um maior efeito protetor. Por outro lado, as cápsulas devem ser pequenas o suficiente para não impactar negativamente as propriedades sensoriais do produto alimentar (ANAL; SINGH, 2007; CHAMPAGNE; FUSTIER, 2007).

Este conflito pode gerar dificuldades na aplicação de microcápsulas probióticas em alimentos tornando a busca por microcápsulas que apresentem proteção adequada juntamente com um tamanho de partícula que não cause impacto negativo no produto final cada vez mais cobiçado.

Diante do exposto anteriormente e observando a Figura 15, a seguir, podemos verificar que ambas as microcápsulas simbióticas, SF e SFX, desenvolvidas neste estudo foram capazes de serem aplicadas em sopa desidratada e apresentarem contagem celular acima de $10^6 \text{ Log CFU.g}^{-1}$ por aproximadamente 49 dias de armazenamento do produto à 25°C.

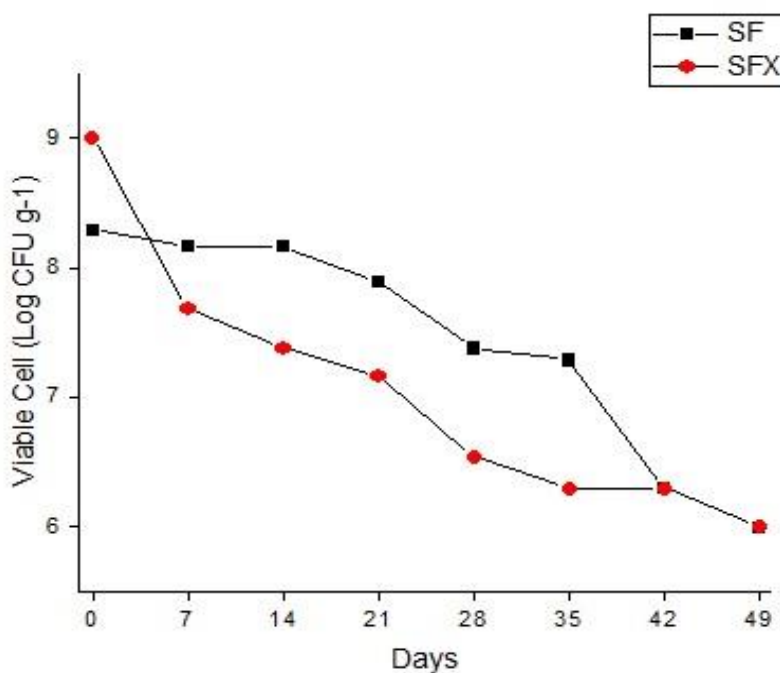


Figura 15 – Contagem de células viáveis de *L casei* CSL3 aplicadas em matriz alimentar.

O resultado observado reforça a proteção fornecida pela microcápsula durante o armazenamento e preparo do alimento comprovando a estabilidade térmica da microcápsulada observada nos ensaios de resistência.

A aplicação de microcápsulas simbióticas em sopas desidratadas, que seja de nosso conhecimento, é praticamente inexistente e isso reforça a importância do resultado obtido para avanços na aplicação em diferentes matrizes.

Vivek et al., (2021), avaliaram o potencial probiótico e a viabilidade do *L. plantarum* subsp. *plantarum* MCC 2974 microencapsulado com suco de amora da Meghalaya (Sohiong) e maltodextrina pela técnica de *spray drying*. Ao final de 36 dias de armazenamento em temperatura ambiente, e 104 dias em temperatura refrigerada, o microrganismo microencapsulado apresentou viabilidade de $6,0 \text{ Log CFU.g}^{-1}$

Rama et al., (2020), aplicaram as cepas *Lactobacillus pentosus* ML 82 endógeno e a cepa referência *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 encapsuladas com soro de leite bovino e de búfala em suco de laranja e observaram que ao final de 90 dias de armazenamento, as microcápsulas probióticas manifestaram viabilidade celular acima de 7 Log CFU.g^{-1} .

Hernández-Barrueta et al., (2020) formularam um chá verde probiótico com a utilização de *Lactobacillus rhamnosus* GG microencapsulado com proteína isolada de soro de leite e amido de huauzontle modificado (espécie de planta comestível). Assim, obtiveram um chá verde probiótico com viabilidade estável por 5 semanas, sem acidificação do produto durante o armazenamento e de fermentação indesejável.

4. Conclusão

Este estudo avaliou duas composições diferentes de materiais de parede para encapsulamento de *L. casei*, um microrganismo probiótico. Uma composição consistia em proteína de soro de queijo e frutooligossacarídeos, enquanto a outra composição incluía os mesmos componentes juntamente com a adição de goma xantana. Ambas as composições exibiram altas eficiências de encapsulamento semelhantes de aproximadamente 99%.

No entanto, as microcápsulas contendo goma xantana demonstraram maior estabilidade térmica e melhor viabilidade celular contra o calor em comparação com aquelas sem goma xantana.

Durante todo o período de armazenamento, ambos os tipos de microcápsulas protegeram eficazmente *L. casei*, garantindo a manutenção da viabilidade celular mínima por pelo menos 56 dias. Notavelmente, as microcápsulas contendo goma xantana exibiram preservação superior da viabilidade celular tanto em temperatura de refrigeração quanto em temperatura ambiente.

Esta melhor preservação pode ser atribuída à natureza semicristalina da goma xantana, que restringe a mobilidade molecular e dificulta a transferência de calor e oxigênio para as microcápsulas.

Além disso, as microcápsulas demonstraram proteção eficaz de *L. casei* durante condições gastrointestinais simuladas, com as microcápsulas SF e SFX exibindo notável resistência contra ácidos e sais biliares. Essa resistência pode ser atribuída à formação de hidrogel da proteína do soro do queijo e ao efeito prebiótico do FOS.

A combinação e interação de goma xantana, proteína de soro de leite e fruto-oligossacarídeos desempenharam um papel crucial na proteção geral de *L. casei*, possibilitando assim sua aplicação em sopa desidratada mantendo a viabilidade de 10^6 Log CFU.g⁻¹ por aproximadamente 49 dias e, com isso, aplicando a diversidade de aplicações na indústria alimentícia.

4. Considerações finais

A revisão sistemática desenvolvida observou que as inovações e descobertas, nos mais diversos setores, são apresentadas diariamente e ao se falar de probióticos não é diferente. O que se constatou foi que no presente momento muitas técnicas apresentam resultados promissores e eficientes e que os materiais geralmente são combinados, aliando seus potenciais e consequentemente cumprindo papéis importantes. Por fim, observou-se que a aplicação de probióticos caminha para além daqueles alimentos clássicos de fonte probiótica que são os derivados lácteos, devido a diferentes demandas no setor alimentício probiótico, e muitas pesquisas que investigam formas inovadoras, em muitos casos com sucesso, na aplicação de probióticos encapsulados em bebidas vegetais, produtos cárneos, frutas desidratadas entre outros, ampliando a gama destes alimentos, possibilitando maior acesso da população e movimentando o comércio/economia destes produtos.

Por sua vez, o desenvolvimento prático resultou no estudo de duas composições diferentes de materiais de parede para o encapsulamento de *L. casei*, um microrganismo probiótico. Uma composição consistia em proteína de soro de queijo e fruto-oligossacarídeos, enquanto a outra composição incluía os mesmos componentes juntamente com a adição de goma xantana. Ambas as composições exibiu eficiências de encapsulamento elevadas semelhantes de aproximadamente 99%.

No entanto, as microcápsulas contendo goma xantana demonstraram maior estabilidade térmica e melhor viabilidade celular contra o calor em comparação com aquelas sem goma xantana. Ao longo do período de armazenamento, ambos os tipos de microcápsulas protegeram efetivamente o *L. casei*, garantindo a manutenção da viabilidade celular mínima por pelo menos 56 dias. Notavelmente, as microcápsulas contendo goma xantana exibiram preservação superior da viabilidade celular tanto em refrigeração quanto em temperatura ambiente.

Essa preservação aprimorada pode ser atribuída à natureza semicristalina da goma xantana, que restringe a mobilidade molecular e dificulta a transferência de calor e oxigênio para as microcápsulas. Além disso, as microcápsulas demonstraram proteção eficaz de *L. casei* durante condições gastrointestinais simuladas, com as microcápsulas soro de queijo/frutoolossacarídeos e soro de queijo/frutoolossacarídeos/goma xantana exibindo notável resistência contra ácidos e sais biliares.

Essa resistência pode ser atribuída à formação de hidrogel da proteína do soro do queijo e ao efeito prebiótico do FOS. A combinação e interação de goma xantana, proteína de soro de leite e fruto-oligossacarídeos desempenharam um papel crucial na proteção geral de *L. casei*,

possibilitando assim sua aplicação em sopa desidratada mantendo a viabilidade de 10^6 Log CFU.g⁻¹ por aproximadamente 49 dias e, com isso, aplicando a diversidade de aplicações na indústria alimentícia.

5 Referências bibliográficas

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; LANGRISH, T. A. G. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v.94, n. 2, p.144-153, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.029>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877409000363>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; WOOD, J. B.; BHANDARI, R. B. The effect of low molecular weight surfactants and proteins on surface stickiness of sucrose during powder formation through spray drying. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 94, n. 2, p. 135-143, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.022>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877409000375>. Acesso em: 27 mai. 2023.

AFZAAL, M.; KHAN, A. U.; SAEED, F.; ARSHAD, M. S.; KHAN, M. A.; SAEED, M.; MAAN, A. A.; KHAN, M. K.; ISMAIL, Z.; AHMED, A.; TUFAIL, T.; ATEEQ, H.; ANJUM, F. M. Survival and stability of free and encapsulated probiotic bacteria under simulated gastrointestinal conditions and in ice cream. **Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1649–1656, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1002/fsn3.1451>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1451>. Acesso em: 06 jul. 2022.

AFZAAL, M.; SAEED, F.; HUSSAIN, S.; MOHAMED, A. A.; ALAMRI, M. S.; AHMAD, A.; ATEEQ, H.; TUFAIL, T.; HUSSAIN, M. Survival and storage stability of encapsulated probiotic under simulated digestion conditions and on dried apple snacks. **Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 5392–5401, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1815>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1815>. Acesso em: 06 jul. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Guia para comprovação da segurança de alimentos e ingredientes**, Brasília, DF, 2019. Disponível em:

<http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5355698/Guia+Seguran%C3%A7a+de+Alimentos.pdf/dae93caa-7418-4b9a-97f2-2ec9ebc139e2>. Acesso em: 24 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. **Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem**.

Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasil, 03 mai. p. 1-4, 1999. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/1999/prt0399_30_04_1999.html. Acesso em: 02 jul. 2022.

AGUILAR-TOALÁ, J. E.; GARCIA-VARELA, R.; GARCIA, H. S.; MATA-HARO, V.; GONZÁLEZ-CÓRDOVA, A. F.; VALLEJO-CORDOBA, B.; HERNÁNDEZ-MENDOZA, A. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 75, p. 105–114, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417302765>.

Acesso em: 06 jul. 2022.

AGULEDO-CHAPARRO, J.; CÍRO-VELÁSQUEZ, H. J.; SEPÚLVEDA-VALENCIA, J. U.; PÉREZ-MONTERROZA, E. J. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 by

spray drying using maltodextrin, whey protein concentrate and trehalose. **Food Science and Technology International**, [s. l.], 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/10820132211020621>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34058894/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ALAMPRESE, C.; FOSCHINO, R.; ROSSI, M.; POMPEI, C.; SAVANI, L. Survival of *Lactobacillus johnsonii* La1 and influence of its addition in retail-manufactured ice cream produced with different sugar and fat concentrations. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 12, p. 201-208, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00159-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694601001595>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ALFARO-GALARZA, O.; LÓPEZ-VILLEGAS, E. O.; RIVERO-PEREZ, N.; TAPIA-MARURI, D.; JIMÉNEZ-APARICIO, A. R.; PALMA-RODRÍGUEZ, H. M.; VARGAS-TORRES, A. Protective effects of the use of taro and rice starch as wall material on the viability of encapsulated *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*. **LWT**, [s. l.], v. 117, p. 108686, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108686>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364381931028X>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ALI, M. E.; LAMPRECHT, A. Spray freeze drying as an alternative technique for lyophilization of polymeric and lipid-based nanoparticles. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 516, n.1-2, p. 170–177, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.11.023>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27845211/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ALIAKBARIAN, B.; SAMPAIO, C. F.; FARIA, de T. J.; PITANGUI, G. C.; LOVAGLIO, F.; CASAZZA, A. A.; CONVERTI, A.; PEREGO, P. Optimization of spray drying microencapsulation of olive pomace polyphenols using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 93, p.220-228, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818302688>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ALISSA, E. M.; FERNS, G. A. Functional foods and nutraceuticals in the primary prevention of cardiovascular diseases. **Journal of Nutrition and Metabolism**, [s. l.], n. 12, 2012. DOI: 10.1155/2012/569486. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22570771/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

ALJUTAILY, T.; HUARTE, E.; MARTINEZ-MONTEAGUDO, S.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J. L.; ROVAI, M.; SERGEEV, I. N. Probiotic-enriched milk and dairy products increase gut microbiota diversity: a comparative study. **Nutrition Research**, [s. l.], v. 82, p. 25–33, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.017>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32949953/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ALMADA, C. N.; ALMADA-ÉRIX, C. N.; BONATTO, M. S.; PRADELLA, F.; DOS SANTOS, P.; ABUD, Y. K. D.; FARIAS, A. S.; MARTÍNEZ, J.; FILHO, C. B. S.; LOLLO, P. C.; COSTA, W. K. A.; MAGNANI, M.; SANT'ANA, A. S. Obtaining paraprobiotics from *Lactobacillus acidophilus*, *Lacti casei bacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* using six inactivation methods: Impacts on the cultivability, integrity, physiology, and morphology. **Journal of Functional Food**, [s. l.], n. 87, p. 104826, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104826>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464621004758>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ALMEIDA, L. B. da C.; SILVA, R. C. C.; SOUZA, F. C. A. Alimentos funcionais no manejo do diabetes melitus Tipo 2: Uma Abordagem Bibliográfica. **Ciência & Saberes**, [s. l.], v. 3, n. 4, 2017. Disponível em: <https://www.facema.edu.br/ojs/index.php/ReOnFacema/article/view/201>. Acesso em: 03 jul. 2022.

ALMUTAIRI, B.; TURNER, M. S.; FLETCHER, M. T.; SULTANBAWA, Y. The impact of commercial prebiotics on the growth, survival and nisin production by *Lactococcus lactis* 537 in milk. **LWT**, [s. l.], v. 137, p. 110356, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110356>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820313451>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ALTIERI, C.; CAMPANIELLO, D.; SPERANZA, B.; SINIGAGLIA, M.; CORBO, M. R.; BEVILACQUA, A. Immobilization of *saccharomyces cerevisiae* on apple pieces to produce cider. **Fermentation**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 1–9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation5030074>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/5/3/74>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ALVARADO-REVELES, O.; FERNÁNDEZ-MICHEL, S.; JIMÉNEZ-FLORES, R.; CUETO-WONG, C.; VÁZQUEZ-MORENO, L.; MONTFORT, G. R. C. Survival and goat milk acidifying activity of *lactobacillus rhamnosus* gg encapsulated with agave fructans in a buttermilk protein matrix. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 1340–1347, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9475-y>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30276720/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

AMMOR, S. M.; MAYO, B. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: An update. **Meat science**, [s. l.], v. 76, n. 1, p.138-146, 2007. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.10.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174006003627>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v.18, n. 5, p. 240–251, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224407000350>. Acesso em: 03 jul. 2022.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; RIELLY, C. D.; STAPLEY, A. G. F. Loss of solubility of a e lactalbumin and b-lactoglobulin during the spray drying of whey proteins. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 270-277, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643807001211>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ANTHERO, A. G. S.; COMUNIAN, T. A.; KUROSZAWA, L. E.; POLLONIO, M. A. R.; HUBINGER, M. D. Application of nano/microencapsulated ingredients in meat products. **Application of Nano/Microencapsulated Ingredients in Food Products**, [s. l.], v. 6, p. 305–343, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.798779>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128157268000076>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasília, DF). **Guia para Comprovação da Segurança de Alimentos e Ingredientes**. 2013. Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/resultadodebusca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=395739&_101_type=document&redirect=http%3A%2F%2Fportal.anvisa.gov.br%2Fresultadodebusca%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn1%26p_p_col_count%3D1%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3DCOMPROVA%25C3%2587%25C3%2583O%2BDE%2BSEGUNRAN%25C3%2587A%2BDE%2BALIMENTOS%2BE%2BINGREDIENTES%26_3_cur%3D1%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_format%3D%26_3_formDate%3D1441824476958>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ARAGÓN-ROJAS, S.; QUINTANILLA-CARVAJAL, M. X.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, A. J.; MORENO, F. L. Encapsulation of *Lactobacillus fermentum* K73 by Refractance Window drying. **Scientific Reports**, [s. l.], n. 9, v. 1, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-42016-0>. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/s41598-019-42016-0>. Acesso em: 22 out. 2023.

AREPALLY, D.; GOSWAMI, T. K. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 99, p. 583-593, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.022>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818308582>. Acesso em: 30 jun. 2022.

AREPALLY, D.; REDDY, R. S.; GOSWAMI, T. K. Encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCDC 016 cells by spray drying: characterization, survival after in vitro digestion, and storage stability. **Food & Function**, [s. l.], v. 11, p. 8694-8706, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1039/D0FO01394C>. Disponível em:

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/fo/d0fo01394c>. Acesso em: 10 jul. 2022.

AREPALLY, D.; REDDY, R. S.; GOSWAMI, T. K. Studies on survivability, storage stability of encapsulated spray dried probiotic powder. **Current Research in Food Science**, [s. l.], v. 3, p. 235–242, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.09.001>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665927120300320>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ARSLAN-TONTUL, S.; ERBAS, M. Single and double layered microencapsulation of probiotics by spray drying and spray chilling. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 81, p. 160-169, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.060>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817301986>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ASGARI, S.; POURJAVADI, A.; LICHT, T. R.; BOISEN, A.; AJALLOUEIAN, F. Polymeric carriers for enhanced delivery of probiotics. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [s. l.], v. 161-162, p. 1-21, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2020.07.014>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X20300983>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ASHWAR, B. A.; GANI, A.; GANI, A.; SHAH, A.; MASOODI, F. A. Production of RS4 from rice starch and its utilization as an encapsulating agent for targeted delivery of probiotics. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 239, p. 287–294, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.110>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814617310920>. Acesso em: 27 mai. 2023.

ASSADI, M. M.; POURAHMAD, R.; MOAZAMI, N. Use of isolated kefir starter cultures in kefir production. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 541–

543, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008939132685>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008939132685>. Acesso em: 06 jul. 2022.

ASSIS, D. de J.; BRANDÃO, L. V.; COSTA, L. A. de S.; FIGUEIREDO, T. V. B.; SOUSA, L. S.; PADILHA, F. F.; DRUZIAN, J. I. A study of the effects of aeration and agitation on the properties and production of xanthan gum from crude glycerin derived from biodiesel using the response surface methodology. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, [s. l.], v. 172, n. 5, p. 2769–

2785, 2014. DOI: 10.1007/s12010-014-0723-7. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24435765/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

AYYASH, M.; ABU-JDAYIL, B.; ITSARANUWAT, P.; ALMAZROUEI, N.; GALWANGO, E.; ESPOSITO, G.; HUNASHAL, Y.; HAMED, F.; NAJJAR, Z. Exopolysaccharide produced by the potential probiotic *Lactococcus garvieae* C47: Structural characteristics, rheological properties, bioactivities and impact on fermented camel milk. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 333, n. 15, p.

127418, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127418>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620312802>. Acesso em: 06 jul. 2022.

BALJON, A. R. C.; WILLIAMS, S.; BALABAEV, N. K.; PAANS, F.; HUDZINSKY, D.; LYULIN, A. V. (2010). Simulated glass transition in free-standing thin polystyrene films. **Journal of Polymer Science**, [s. l.], Part B: Polymer Physics, n. 48, v. 11, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1002/polb.22005>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/polb.22005>. Acesso em: 22 out. 2023.

BARAJAS-ÁLVAREZ, P.; GONZÁLES-ÁVILA, M.; ESPINOSA-ANDREWS, H.

Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* HN001 by spray drying and its evaluation under gastrointestinal and storage conditions. **LWT**, [s. l.], n. 153, p. 112485, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112485>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821016388>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BARBOSA, M. S.; TODOROV, S. D.; JURKIEWICZ, C. H.; FRANCO, B. D. G. M. Bacteriocin production by *Lactobacillus curvatus* MBSa2 entrapped in calcium alginate during ripening of salami for control of *Listeria monocytogenes*. **Food Control**, [s. l.], v. 47, p. 147–153, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713514003818>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BARROS, C. P.; PIRES, R. P. S.; GUIMARÃES, J. T.; ABUD, Y. K. D.; ALMADA, C. N.; PIMENTEL, T. C.; SANT'ANNA, C.; DE-MELO, L. D. B.; DUARTE, M. C. K. H.; SILVA, M. C.; SANT'ANA, A. S.; FREITAS, M. Q.; CRUZ, A. G. Ohmic heating as a method of obtaining

paraprobiotics: Impacts on cell structure and viability by flow cytometry. **Food Research International**, [s. l.], n. 140, p. 110061, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110061>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920310863>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BARTKIENE, E.; LAURIKIETYTE, R.; LELE, V.; ZAVISTANAVICIUTE, P.; MOZURIENE, E.; BALTUSNIKIENE, A. Agar-immobilized basil–lactic acid bacteria bioproducts as goat milk taste-masking agents and natural preservatives for the production of unripened goat cheese. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 101, n. 12, p. 10866–10876, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14768>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30268612/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BASU, S.; BANERJEE, D.; CHOWDHURY, R.; BHATTACHARYA, P. Controlled release of microencapsulated probiotics in food matrix. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 238, p. 61–69, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877418302553>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BATISTA, M. A. **Estudo da imobilização de células de *saccharomyces cerevisiae* em gel de alginato de cálcio no processo de fermentação alcoólica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15203>. Acesso em: 07 jul. 2022.
 BATT, C. A.; TORTORELLO, M-L. Encyclopedia of Food Microbiology. **Academic Press**, [s. l.], 2ª edição, p.109, 2014.

BECH-LARSEN, T.; GRUNERT, K. G. The Perceived Healthiness of Functional Foods: A Conjoint Study of Danish, Finnish and American Consumers' Perception of Functional Foods. **Appetite**, [s. l.], v. 40, p.9-14, 2003. DOI: 10.1016/s0195-6663(02)00171-x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12631500/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

BENAVENT-GIL, Y.; RODRIGO, D.; ROSELL, C. M. Thermal stabilization of probiotics by adsorption onto porous starches. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 197, n. 1, p. 558–564, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.044>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718306982>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BENGMARK, S. Bioecological control of the gastrointestinal tract: the role of flora and supplemented probiotics and synbiotics. **Gastroenterology Clinics of North America**, [s. l.], v. 34, p. 413-436, 2005. DOI: 10.1016/j.gtc.2005.05.002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16084305/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

BENGOA, A. A.; ERREA, A. J.; RUMBO, M.; ABRAHAM, A. G.; GARROTE, G. L. Modulatory properties of *Lactobacillus paracasei* fermented milks on gastric inflammatory conditions. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 111, p. 104839, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104839>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694620302090>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BEPEYEVA, A.; BARROS, J. M. S.; ALBADRAN, H.; KAKIMOV, A. K.; KAKIMOVA, Z. K.; CHARALAMPOPOULOS, D.; KHUTORYANSKIY, V. V. Encapsulation of *Lactobacillus casei* into Calcium Pectinate-Chitosan Beads for Enteric Delivery. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 82, n. 12, p. 2954–2959, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13974>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29125623/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BERTOFT, E. Understanding starch structure: Recent progress. **Agronomy**, [s. l.], v. 7, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/7/3/56>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BEVILACQUA, A.; CAMPANIELLO, D.; CORBO, M. R.; MADDALENA, L.; SINIGAGLIA, M. Suitability of *Bifidobacterium* spp. and *Lactobacillus plantarum* as Probiotics Intended for Fruit Juices Containing Citrus Extracts. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 78, n. 11, p. 1764-1771, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12280>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.12280>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BHAT, I. M.; WANI, S. M.; MIR, S. A.; MASOODI, F. A. Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 42, p. 102328, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187881812200055X>. Acesso em: 30 jun. 2022.

BHAT, Z.F.; BHAT, H. Milk and Dairy Products as Functional Foods: A Review. **International Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 6, n. 1, p.1-12, 2011. DOI: 10.3923/ijds.2011.1.12. Disponível em: <https://scialert.net/abstract/?doi=ijds.2011.1.12>. Acesso em: 02 jul. 2022.

BIGLIARDI, B.; GALATI, F. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 31, n. 2, p.118-129. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224413000678>. Acesso em: 03 jul 2022.

BINTSIS T. Lactic acid bacteria: their applications in foods. **Journal of Bacteriology and Mycology**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 89–94, 2018. DOI:10.15406/jbmoa.2018.06.00182. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328187150_Lactic_acid_bacteria_their_applications_in_foods. Acesso em: 02 jul. 2023.

BIS-SOUZA¹, C. V.; PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; PENNA, A. L. B.; LORENZO, J. M.; SILVA BARRETTO, A. C. Impact of fructooligosaccharides and probiotic strains on the quality parameters of low-fat Spanish Salchichón. **Meat Science**, [s. l.], v. 159, p. 107936, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107936>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174019305479>. Acesso em: 08 jul. 2022.

BIS-SOUZA², C. V.; PENNA, A. L. B.; BARRETTO, A. C. DA S. Applicability of potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. **Meat Science**, [s. l.], v. 168, p. 108186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108186>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174020300206>. Acesso em: 08 jul. 2022.

BORDINI, F. W. **Microencapsulação de *Pediococcus pentosaceus* P107 pela técnica de spray drying utilizando como material de parede soro de queijo, pectina e xantana**. (2019). Dissertation presented to the Department of Food, Science and Technology. Faculty of Agronomy. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

BOSNEA, L. A.; MOSCHAKIS, T.; BILIADERIS, C. G. Complex coacervation as a novel microencapsulation technique to improve viability of probiotics under different stresses. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 7, p. 2767-2781, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1317-7>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1317-7>. Acesso em: 30 jun. 2022.

BRABER, N. L. V.; VERGARA, L. I. D.; ROSSI, Y. E.; AMINAHUEL, C. A.; MAURI, A. N.; CAVAGLIERI, L. R.; MONTENEGRO, M. A. Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. **LWT**, [s. l.], v. 118, p. 108844, 2020. Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108844>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819311867>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BRETAS, R. E. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 2º ed., EdUFSCar, São Carlos, 2005.

BROECKX, G.; VANDENHEUVEL, D.; CLAES, I. J. J.; LEBEER, S.; KIEKENS, F. Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 505, n. 1-2, p. 303–318, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.04.002>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27050865/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

BRUNCHI, C.; AVADANAE, M.; BERCEA, M.; MORARIU, S. Chain conformation of xanthan in solution as influenced by temperature and salt addition. **Journal of Molecular Liquids**, [s. l.], v. 287, p. 111008, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732219322974>. Acesso em: 05 jan. 2023.

BRUNO, L. M.; LIMA, J. R.; WURLITZER, N. J.; RODRIGU, T. C. Non-dairy cashew nut milk as a matrix to deliver probiotic bacteria. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 604–607, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.14219>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/wJ3wwkzVzy6Rx8VTp5cNxjQ/?lang=en>. Acesso em: 08 jul. 2022.

BUREY, P.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T.; GIDLEY, M. J. Hydrocolloid Gel Particles: Formation, Characterization, and Application. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 48, n. 5, p. 361-377, 2008. DOI: 10.1080/10408390701347801. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18464027/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BURGAIN, J.; GAIANI, C.; LINDER, M.; SCHER, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], n. 104, p. 467-483, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087741000631X>. Acesso em: 30 jun. 2022.

CAI, Y.; DENG, X.; LIU, T.; ZHAO, M.; ZHAO, Q.; CHEN, S. Effect of xanthan gum on walnut protein/xanthan gum mixtures, interfacial adsorption, and emulsion properties. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 79, p. 391-398, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.006>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X17313668>. Acesso em: 30 jun. 2022.

CALINOIU, L. F.; ȘTEFANESCU, B. E.; POP, I. D.; MUNTEAN, L.; VODNAR, D. C. Chitosan coating applications in probiotic microencapsulation. **Coatings**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 1–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/COATINGS9030194>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/9/3/194>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CANIZALES, J. R.; RODRÍGUEZ, G. R. V.; AVILA, J. A. D.; SALDANA, A. M. P.; OCHOA, M. A. V.; AGUILAR, G. A. G. Encapsulation to protect different bioactives to be used as nutraceuticals and food ingredients. In Merillon, J. M.; Ramawat, K. **Bioactive molecules in food**, [s. l.], Cham: Springer. Reference Series in Phytochemistry, p. 1–20, 2018.

CASAROTTI, S. N.; BORGONOV, T. F.; TIEGHI, T. T. DE M.; SMIERI, K.; PENNA, A. L. B. Probiotic low-fat fermented goat milk with passion fruit by-product: In vitro effect on obese individuals' microbiota and on metabolites production. **Food Research International**, [s. l.], v. 136, p. 109453, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109453>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920304786>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CASSANI, L.; GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; SIMAL-GANDARA, J. Technological strategies ensuring the safe arrival of beneficial microorganisms to the gut: From food processing and storage to their passage through the gastrointestinal tract. **Food Research International**, [s. l.], v. 129, p. 108852, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108852>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996919307380>. Acesso em: 05 jul. 2022.

CAVALHEIRO, C. P.; RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; MENEZES, C. R.; FRIES, L. L. M. Application of probiotic delivery systems in meat products. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 120–131, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.09.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224415002137>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CAVALHEIRO, C. P.; RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; PINTADO, T.; DE MENEZES, C. R.; FRIES, L. L. M. Effect of different strategies of *Lactobacillus plantarum* incorporation in chorizo sausages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 99, n. 15, p. 6706–6712, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9952>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31350779/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CAVALHEIRO, C. P.; RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A. M.; PINTADO, T. Dry-fermented sausages inoculated with *Enterococcus faecium* CECT 410 as free cells or in alginate beads.

LWT, [s. /], p. 110561, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110561>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820315498>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CERF, O. REVIEW: Tailing of Survival Curves of Bacterial Spores. **Journal of Applied Bacteriology**, [s. /], v. 42, n. 1, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1977.tb00665.x>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jambio/article-abstract/42/1/1/6728961?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 22 out. 2023.

CEYLAN, Z.; USLU, E.; İSPIRLI, H.; MERAL, R.; GAVGALI, M.; YILMAZ, M. T.; DERTLI, E. A novel perspective for *Lactobacillus reuteri*: Nanoencapsulation to obtain functional fish fillets. **LWT**, [s. /], v. 115, p. 108427, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108427>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819307698>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CHAMPAGNE, C. P.; AND FUSTIER, P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. /], v. 18, p. 184–190, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166907000328>. Acesso em: 22 out. 2023.

CHEN, G.; LI, C.; CHEN, K. Fructooligosaccharides: A Review on Their Mechanisms of Action and Effects in Studies in Natural Products Chemistry, **Elsevier**, [s. /], v. 48, p. 209-229, 2016. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/abs/pii/B9780444636027000060>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CHEN, J., WANG, Q., LIU, C. M., GONG, J. Issues deserve attention in encapsulating probiotics: Critical review of existing literature. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. /], v. 57, n. 6, p. 1228-1238, 2017. DOI: 10.1080/10408398.2014.977991. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278047836_Issues_Deserve_Attention_in_Encapsulating_Probiotics_Critical_Review_of_Existing_Literature. Acesso em: 04 jul. 2022.

CHEN, J.; HU, L. Nanoscale delivery system for nutraceuticals: Preparation, application, characterization, safety, and future trends. **Food engineering reviews**, [s. /], v.12, p. 14–31, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09208-w>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-019-09208-w>. Acesso em: 04 jul. 2022.

CHEN, L.; YANG, T.; SONG, Y.; SHU, G.; CHEN, H. Effect of xanthan-chitosan-xanthan double layer encapsulation on survival of *Bifidobacterium* BB01 in simulated gastrointestinal conditions, bile salt solution and yogurt. **LWT - Food Science and Technology**, [s. /], v. 81, p.274-280, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364381730227X>. Acesso em: 03 jul. 2022.

CHEN, L.; YANG, T.; SONG, Y.; SHU, G.; CHEN, H. Effect of xanthan-chitosan-xanthan double layer encapsulation on survival of *Bifidobacterium* BB01 in simulated gastrointestinal conditions, bile salt solution and yogurt. **LWT- Food Science and Technology**, [s. /], v. 81, p. 274-280, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364381730227X>. Acesso em: 30 jun. 2022.

CHEN, M. J.; CHEN, K. N. Applications of probiotic encapsulation in dairy products. In: LAKKIS, J. M. **Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems**. Wiley-Blackwell, USA, p. 83–107, 2007.

CHEN, Z.; LI, S.; FU, Y.; LI, C.; CHEN, D.; CHEN, H. Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 54, p. 536–551, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1756464619300696>. Acesso em: 03 jul. 2022.

CHHABRA, R. P.; RICHARDSON, J. F. Non-Newtonian Fluid Behaviour. In **Non-Newtonian Flow and Applied Rheology**, [s. l.], p. 1-55, 2008. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8532-0.00001-9>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750685320/non-newtonian-flow-and-applied-rheology>. Acesso em: 22 out. 2023.

CHIH, T.; GHEBOULI, M. A.; FATMI, M. Predictive physical study of two different crystalline forms of glucose. **Biochemistry and Biophysics Reports**, [s. l.], v. 25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100923>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33537465/>. Acesso em 22 out. 2023.

CHO, H. J.; JANG, W. J.; MOON, S. Y.; LEE, J. M.; KIM, J. H.; HAN, H. S.; KIM, K. W.; LEE, B. J.; KONG, I. S. Immobilization of β -1,3-1,4-glucanase from *Bacillus* sp. on porous silica for production of β -glucooligosaccharides. **Enzyme and Microbial Technology**, [s. l.], v. 110, p. 30–37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2017.12.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141022917302405>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CIELECKA-PIONTEK, J.; DZIEDZIŃSKI, M.; SZCZEPANIAK, O.; KOBUS-CISOWSKA, J.; TELICHOWSKA, A.; SZYMANOWSKA, D. Survival of commercial probiotic strains and their effect on dark chocolate synbiotic snack with raspberry content during the storage and after simulated digestion. **Electronic Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 48, p. 62–71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2020.09.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345820300440>. Acesso em: 08 jul. 2022.

COGHETTO, C. C.; BRINQUES, G. B.; SIQUEIRA, N. M.; PLETSCH, J.; SOARES, R. M. D.; AYUB, M. A. Z. Electrospraying microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* enhances cell viability under refrigeration storage and simulated gastric and intestinal fluids. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 24, p. 316–326, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.036>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464616300743>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ÇOPUR, Ö. U.; İNCEDAYI, B.; KARABACAK, A. Ö. Technology and Nutritional Value of Powdered Drinks. In **Production and Management of Beverages**, [s. l.], v. 1, p. 47-83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815260-7.00002-x>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012815260700002X>. Acesso em: 08 jul. 2022.

CORBO, M. R.; BEVILACQUA, A.; SPERANZA, B.; DI MAGGIO, B.; GALLO, M.; SINIGAGLIA, M. Use of alginate beads as carriers for lactic acid bacteria in a structured system and preliminary validation in a meat product. **Meat Science**, [s. l.], v. 111, p. 198–203, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174015301017>. Acesso em: 08 jul. 2022.

COSTA, G. M.; PAULA, M. M.; BARÃO, C. E.; KLOSOSKI, S. J.; BONAFE, E. G.; VISENTAINER, J. V.; CRUZ, A. G.; PIMENTEL, T. C. Yoghurt added with *Lactobacillus casei* and sweetened with natural sweeteners and/or prebiotics: Implications on quality parameters and probiotic survival. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 97, p. 139–148, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694619301232>. Acesso em: 03 jul. 2022.

COVIZZI, L. G.; GIESE, E. C.; GOMES, E.; DEKKER, R. F. H.; SILVA, R. DA. (2007). Imobilização de células microbianas e suas aplicações biotecnológicas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 143, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2007v28n2p143>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277030265_Imobilizacao_de_celulas_microbianas_e_suas_aplicacoes_biotecnologicas. Acesso em: 08 jul. 2022.

CRITTENDEN, R. G.; PLAYNE, M. J. in: J.B. German, J.-R. Neeser (Eds.), *Bioprocesses and Biotechnology for Functional Foods and Nutraceuticals*, **Marcel Dekker**, New York, p.99-135, 2004.

CRUZ, A. G.; FARIA, J. D. A. F.; CADENA, R. S.; GRANATO, D.; MORTAZAVIAN, A. M.; BOLINI, M. A. Sensory evaluation of probiotic, prebiotic and symbiotic foods: relevance for product development. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v.9, p. 358–373, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00115.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2010.00115.x>. Acesso em: 02 jul. 2022.

CUI, L.; CHANG, S. K. C.; NANNAPANENI, R. (2021). Comparative studies on the effect of probiotic additions on the physicochemical and microbiological properties of yoghurt made from soymilk and cow's milk during refrigeration storage (R2). **Food Control**, [s. l.], v. 119, p. 107474, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107474>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095671352030390X>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DAFE, A.; ETEMADI, H.; DILMAGHANI, A.; MAHDAVINIA, G. R. (2017). Investigation of pectin/starch hydrogel as a carrier for oral delivery of probiotic bacteria. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 97, p. 536–543, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016318177>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DANTAS, A.; VERRUCK, S.; LIZ, G. R.; HERNANDEZ, E.; PRUDENCIO, E. S. Lactose-free skim milk and prebiotics as carrier agents of *Bifidobacterium* BB-12 microencapsulation: physicochemical properties, survival during storage and in vitro gastrointestinal conditions behavior. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 2132-2145, 2020. DOI:10.1111/ijfs.14823. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.14823>. Acesso em: 10 jul. 2022.

DAS, A.; SEN, C. K. Nutritional Supplements and Functional Foods: Functional Significance and Global Regulations. In **Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and Around the World**, [s. l.], Second Edition, Elsevier Inc, p. 13-39, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405870-5.00002-5>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124058705000025>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DE ALMADA, C. N.; ALMADA, C. N.; MARTINEZ, R. C. R.; SANT'ANA, A. S. Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 58, p. 96–114, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416302412>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DE FARIAS, B. S.; GRUNDMANN, D. D. R.; RIZZI, F. Z.; MARTINS, N. S. S.; SANT'ANNA, T. R. J. C.; PINTO, L. A. A. Production of low molecular weight chitosan by acid and oxidative pathways: Effect on physicochemical properties. **Food Research International**, [s. l.], v.123, p. 88–94, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996919302844>. Acesso em: 22 out. 2023.

DE LA CRUZ PECH-CANUL, A.; ORTEGA, D.; GARCÍA-TRIANA, A.; GONZÁLEZ-SILVA, N.; SOLIS-OVIEDO, R. L. A brief review of edible coating materials for the microencapsulation of probiotics. **Coatings**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 1–34, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings10030197>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/3/197>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DE PRISCO, A.; MAURIELLO, G. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 48, p. 27–39, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092422441530087X>. Acesso em: 05 jul. 2022.

DE VOS, P.; FAAS, M. M.; SPASOJEVIC, M.; SIKKEMA, J. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 292–302, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694609002167>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DEMIRCI, S. A.; PALABIYIK, I.; APAYDM, D.; MIRIK, M.; GUMUS, T. Xanthan gum biosynthesis using *Xanthomonas* isolates from waste bread: Process optimization and fermentation kinetics. **LWT – Food Science and Technology**, [s. l.], v. 101, p. 40-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.018>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818309691>. Acesso em: 30 jun. 2022.

DEVARAJAN, A.; MUDGIL, P.; ALDHAHERI, F.; HAMED, F.; DHITAL, S.; MAQSOOD, S. Camel milk-derived probiotic strains encapsulated in camel casein and gelatin complex microcapsules: Stability against thermal challenge and simulated gastrointestinal digestion conditions. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], n. 3, v. 105, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20745>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221011152>. Acesso em: 10 jul. 2022.

DIMITRELLOU, D.; KANDYLIS, P.; LEVIĆ, S.; PETROVIĆ, T.; IVANOVIĆ, S.; NEDOVIĆ, V.; KOURKOUTAS, Y. Encapsulation of *Lactobacillus casei* ATCC 393 in alginate capsules for probiotic fermented milk production. **LWT**, [s. l.], v. 116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108501>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819308436>. Acesso em: 08 jul. 2022.

DINKÇI, N.; AKDENİZ, V.; AKALIN, A. S. Survival of probiotics in functional foods during shelf life. In: GALANAKIS, C. M. **Food Quality and Shelf Life**. 1. ed. Índia: Academic Press, cap. 6, p. 201-233, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-00644-1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128171905/food-quality-and-shelf-life#book-description>. Acesso em: 02 jul. 2022.

DOLLY, P.; ANISHAPARVIN, A.; JOSEPH, G. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (mtcc 5422) by spray-freezedrying method and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions. **Journal of Microencapsulation**, [s. l.], v. 28, n. 6, p. 568-574, 2011. DOI: 10.3109/02652048.2011.599435. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21827359/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

DONG, Q. Y.; CHEN, M. Y.; XIN, Y.; QIN, X. Y.; CHENG, Z.; SHI, L. E.; TANG, Z. X. Alginate-based and protein-based materials for probiotics encapsulation: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 48, n. 7, p. 1339–1351, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12078>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.12078>. Acesso em: 08 jul. 2022.

EKMEKCIOGLU, C.; WALLNER, P.; KUNDI, M.; WEISZ, U.; HAAS, W.; HUTTER, H. P. Red meat, diseases, and healthy alternatives: A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 247–261, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1158148>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27128451/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ELAKKIYA, M.; PRABHAKARAN, D. R. T.; THIRUMARIMURUGAN, M. Methods of Cell Immobilization and Its Applications. **International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 1-5, 2016. ISSN: 2319-8753. Disponível em: http://www.ijrset.com/upload/2016/april/175_METHODS.pdf. Acesso em: 08 jul. 2022.

ELVAN, M.; BAYSAL, A. H.; HARSA, S. Microencapsulation of a potential probiotic *Lactiplantibacillus pentosus* and its impregnation onto table olives, **LWT**, [s. l.], v. 156, p.

112975, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112975>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021289>. Acesso em: 10 jul. 2022.

EPHREM, E.; NAJJAR, A.; CHARCOSSET, C.; GREIGE-GERGES, H. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1756464618303177>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ESPIRITO-SANTO, A. P.; PEREGO, P.; CONVERTI, A.; OLIVEIRA, M. N. Influence of food matrices on probiotic viability: a review focusing on the fruity bases. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 22, p. 377–385, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224411000860>. Acesso em: 02 jul. 2022.

ESPITIA, P. J. P.; BATISTA, R. A.; AZEREDO, H. M. C.; OTONI, C. G. Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. **Food Research International**, [s. l.], v. 90, p. 42–52, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996916304550>. Acesso em: 05 jul. 2022.

ESTER, B.; NOELIA, B.; LAURA, C. J.; FRANCESCA, P.; CRISTINA, B.; ROSALBA, L. MARCO, D. R. Probiotic survival and in vitro digestion of *L. salivarius* spp. *salivarius* encapsulated by high homogenization pressures and incorporated into a fruit matrix. **LWT**, [s. l.], v. 111, p. 883–888, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.088>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819305134>. Acesso em: 08 jul. 2022.

ETCHEPARE, M. A.; RADDATZ, G. C.; FLORES, E. M. M.; ZEPKA, L. Q.; J-L, E.; BARIN, J. S.; GROSSO, C. R. F.; MENEZES, C. R. Effect of resistant starch and chitosan on survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], n. 65, p.511-517, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381530133X>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FAN, J.; WANG, K.; LIU, M.; HE, Z. In vitro evaluations of konjac glucomannan and xanthan gum mixture as the sustained release material of matrix tablete. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 73, p. 241-247, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861707005942>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FAN, Y.; JI-DONG, W.; YU-FAN, L.; YA-LUN, S.; QIA, W.; RUI-LING, Z. Galactooligosaccharides modulate gut microbiota dysbiosis and intestinal permeability in rats with alcohol withdrawal syndrome. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 60, p. 103423, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103423>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S175646461930341X>. Acesso em: 03 jul. 2022.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals**, [s. l.], Elsevier, p. 73-109, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095909.2.73>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857091246500044>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FAO/WHO. **Probiotics in food. In Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization**. 2001. ISSN: 0254-4725. Disponível em: <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FAREEZ, I. M.; LIM, S. M.; LIM, F. T.; MISHRA, R. K.; RAMASAMY, K. Microencapsulation of *Lactobacillus* SP. using Chitosan-Alginate-Xanthan Gum- β -Cyclodextrin and Characterization of its Cholesterol Reducing Potential and Resistance Against pH, Temperature and Storage. **Journal of Food Process Engineering**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 1–18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12458>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.12458>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FAREEZ, M. I.; LIM, M. S.; MISHRA, K. R.; RAMASAMY, K. Chitosan coated alginate–xanthan gum bead enhanced pH and thermos tolerance of *Lactobacillus plantarum* LAB12. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 72, p. 1419-1428, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181301400734X>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FARIAS, T. G. S.; LADISLAU, H. F. L.; STAMFORD, T. C. M.; MEDEIROS, J. A. C.; SOARES, B. L. M.; STAMFORD ARNAUD, T. M., STAMFORD, T. L. M. Viabilities of *Lactobacillus rhamnosus* ASCC 290 and *Lactobacillus casei* ATCC 334 (in free form or encapsulated with calcium alginate-chitosan) in yellow mombin ice cream. **LWT**, [s. l.], v. 100, p. 391-396, 2018. DOI:10.1016/j.lwt.2018.10.084. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818309307>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FARNWORTH, E. R.; MAINVILLE, I. Kefir-a fermented milk product. In **Handbook of Fermented Functional Foods**, [s. l.], Second Edition, CRC Press, p. 89–127, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420053289-4>. Disponível em: <https://www.routledge.com/Handbook-of-Fermented-Functional-Foods/Farnworth/p/book/9781420053265>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FAYED, B.; EL-SAYED, H. S.; ABOOD, A.; HASHEM, A. M.; MEHANNA, N. S. H. The application of multi-particulate microcapsule containing probiotic bacteria and inulin nanoparticles in enhancing the probiotic survivability in yoghurt. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 22, p. 101391, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101391>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818119313283>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FENG, K.; HUANG, R. MENG, WU, R. QING, WEI, Y. SHAN, ZONG, M. HUA, LINHARDT, R. J.; WU, H. A novel route for double-layered encapsulation of probiotics with improved viability under adverse conditions. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 310, p. 125977, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125977>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31837527/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FERREIRA, A. A.; HUANG, S.; PERRONE, Í. T.; SCHUCK, P.; JAN, G.; CARVALHO, A. F. Tracking Amazonian cheese microbial diversity: Development of an original, sustainable, and robust starter by freeze drying/spray drying. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 100, n. 9, p. 6997–7006, 2017. DOI: 10.3168/jds.2016-12418. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.11081>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FLORES-ANDRADE, E.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; ALARCÓN-ELVIRA, F. G.; RASCÓN-DÍAZ, M. P.; PIMENTEL-GONZÁLEZ, D. J.; BERISTAIN, C. I. Effect of vacuum on the impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* microcapsules in apple slices using double emulsion. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 202, p. 18–24, 2017. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.005>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877417300444>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO. **Evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria**. Córdoba, p. 9, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-a0512e.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2020.

FOWLER, A.; TONER, M. Cryo-injury and biopreservation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, [s. l.], v. 1066, p. 119–135, 2006. DOI:
<https://doi.org/10.1196/annals.1363.010>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16533923/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FRAKOLAKI, G.; GIANNOU, V. TOPAKAS, E.; TZIA, C. Effect of various encapsulating agents on the beads' morphology and the viability of cells during BB-12 encapsulation through extrusion. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 294, p. 110423, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110423>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877420305094>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FRAKOLAKI, G.; GIANNOU, V.; KEKOS, D.; TZIA, C. A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 61, n. 9, p. 1515–1536, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761773>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32400195/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

FRASCARELI, C. E.; SILVA, M. V.; TONON, V. R.; HUBINGER, D. M. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioprocess Processing**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 413–424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308511001106>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FREIBERG, S.; ZHU, X. Polymer microspheres for controlled drug release. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 282, n. 1–2, p. 1–18, 2004. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2004.04.013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15336378/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

FREIRE, R.; SILVA, S. S.; MAGRI, G. S. Introdução de alimentos funcionais em uma unidade de alimentação e nutrição. **Mundo Saúde**, [s. l.], v. 25, n. 2, 2001. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-286819>. Acesso em: 03 jul. 2022.

FRIGHETTO, J. M. **Produção de sorvetes com características simbióticas e avaliação da sobrevivência de *Lactobacillus paracasei* em condições gastrointestinais simuladas**. (2012). 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FULLER, R. Probiotics in man and animals. **Journal of Applied Microbiology**, [s. l.], v. 66, p. 365-378, 1989. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2666378/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

GANDOMI, H.; ABBASZADEH, S.; MISAGHI, A.; BOKAIE, S.; NOORI, N. Effect of chitosan-alginate encapsulation with inulin on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG during apple juice storage and under simulated gastrointestinal conditions. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 69, p. 365–371, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.064>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GANJU, S.; GOGATE, P. R. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 215, p. 84–96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877417303205>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GARCIA, C. M. S. **Microencapsulação por Spray Drying de Compostos Bioativos de Subprodutos do Ananás**. 76 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

GASBARRINI, G.; BONVICINI, F.; GRAMENZI, A. Probiotics History. **Journal of Clinical Gastroenterology**, [s. l.], v. 50, p. 116–119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000697>. Disponível em: https://journals.lww.com/jcge/fulltext/2016/11001/probiotics_history.3.aspx. Acesso em: 08 jul. 2022.

GAUCHER, F.; BONNASSIE, S.; RABAH, H.; MARCHAND, P.; BLANC, P.; JEANTET, R.; JAN, G. Review: Adaptation of beneficial propionibacteria, lactobacilli, and bifidobacteria improves tolerance toward technological and digestive stresses. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 10, p. 1–22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00841>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31068918/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GEORGE KERRY, R.; PATRA, J. K.; GOUDA, S.; PARK, Y.; SHIN, H. S.; DAS, G. (2018). Benefaction of probiotics for human health: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 927–939, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1021949818300309>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, [s. l.], v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996907001238>. Acesso em: 04 jul. 2022.

GIBSON, G. R. Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. **The Journal of Nutrition**, [s. l.], v.129, n. 7, p.1438-1441, 1999. DOI: 10.1093/jn/129.7.1438S. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10395616/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; SANDERS, M. E.; PRESCOTT, S. L.; REIMER, R. A.; SALMINEN, S. J.; SCOTT, K.; STANTON, C.; SWANSON, K. S.; CANI, P. D.; VERBEKE, K.; REID, G. Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology Hepatology**, [s. l.], v.14, p. 491-502, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>. Disponível em:
<https://www.nature.com/articles/nrgastro.2017.75>. Acesso em: 02 jul. 2022.

GIBSON, G. R.; PROBERT, H. M.; LOO, J. V.; RASTALL, R. A.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Nutrition Research Reviews**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 259–275, 2004. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19079930/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

GIBSON, R. G.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 125, p. 1401-1412, 1995. DOI: 10.1093/jn/125.6.1401. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7782892/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

GOLDSTEIN, J. I.; NEWBURY, D. E.; ECHLIN, P.; JOY, D. C.; LYMAN, C. E.; LIFSHIN, E.; SAWYER, L.; MICHAEL, J. R. Special Topics in Electron Beam X-Ray Microanalysis. In **Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis**, [s. l.], p. 453-536, 2003. Springer US. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0215-9_10. Disponível em:
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-6676-9>. Acesso em: 22 out. 2023.

GOMEZ-MASCARAQUE, L. G.; MORFIN, R. C.; PÉREZ-MASIÁ, R.; SANCHEZ, G.; LOPEZ-RUBIO, A. Optimization of electrospraying conditions for the microencapsulation of probiotics and evaluation of their resistance during storage and in-vitro digestion. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 69, p. 438–446, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.071>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643816300718>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GOUIN, S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 15, n. 7–8, p. 330–347, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224403002723>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GRELA, E. R.; SAMOLIŃSKA, W.; KICZOROWSKA, B.; KLEBANIUK, R.; KICZOROWSKI, P. Content of Minerals and Fatty Acids and Their Correlation with Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of Leguminous Seeds. **Biological Trace Element Research**, [s. l.], v. 180,

n. 2, p. 338-348, 2017. DOI: 10.1007/s12011-017-1005-3. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28357649/>. Acesso em: 16 mai. 2021.

GUARNER, F.; KHAN, A. G.; GARISCH, J.; ELIAKIM, R.; GANGL, A.; THOMSON, A. World gastroenterology organisation global guidelines: probiotics and prebiotics. **Journal of Clinical Gastroenterology**, [s. l.], v. 46, p. 468-481, 2012. Disponível em: <https://www.worldgastroenterology.org/guidelines/probiotics-and-prebiotics/probiotics-and-prebiotics-english>. Acesso em: 02 jul. 2022.

GUL, O. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* Shirota by spray drying using different combinations of wall materials and application for probiotic dairy dessert. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s. l.], v. 41, n. 5, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13198>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.13198>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HAFFNER, F. B.; PASC, A. Freeze-dried alginate-silica microparticles as carriers of probiotic bacteria in apple juice and beer. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 91, p. 175–179, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818300732>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HASLER, C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, [s. l.], v.56, n. 9, p. 67-71, 2002. Disponível em: [https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1543804](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1543804). Acesso em: 02 jul. 2022.

HAVEENAR, R.; VELD, J. H. J. H. I. Probiotics: A General View in **Lactic Acid Bacteria in Health and Disease**, [s. l.], Elsevier. Appl. Sci. Publish, v 1, p. 151-170, 1992. DOI: 10.1007/978-1-4615-3522-5_6. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-3522-5_6. Acesso em: 08 jul. 2022.

HAYEK, S. A.; IBRAHIM, S. A. Current limitations and challenges with lactic acid bacteria: a review. **Food and Nutrition Sciences**, [s. l.], v. 4, p. 73–87, 2013. DOI: 10.4236/fns.2013.411A010. Disponível em: <https://www.scrip.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=40133>. Acesso em: 03 jul. 2022.

HEIDEBACH, T.; FÖRST, P.; KULOZIK, U. Microencapsulation of Probiotic Cells for Food Applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 52:4, p. 291-311, 2012. DOI: 10.1080/10408398.2010.499801. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22332594/>. Acesso em: 22 out. 2023.

HELGERUD, T. GÅSERØD, O.; FJÆREIDE, T.; ANDERSEN, P. O.; LARSEN, C. K. Alginates. In **Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents**, [s. l.], Wiley-Blackwell, p.50-72, 2009. Disponível em: <http://blog.ub.ac.id/fawzy/files/2013/07/Food-Stabilizer.pdf#page=66>. Acesso em: 10 jul. 2022.

HERNÁNDEZ-BARRUETA, T.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; CASTAÑO-TOSTADO, E.; LEE, Y.; MILLER, M. J.; AMAYA-LLANO, S. L. Encapsulation of probiotics in whey protein isolate and modified huauzontle's starch: An approach to avoid fermentation and stabilize polyphenol compounds in a ready-to-drink probiotic green tea. **LWT**, [s. l.] v. 124, p. 109131, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109131>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820301195>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HERNANDEZ-IZQUIERDO, V. M.; REID, D. S.; MCHUGH, T. H.; BERRIOS, J. D. J.; KROCHTA, J. M. Thermal transitions and extrusion of glycerol-plasticized whey protein mixtures. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 73, n. 4, 2008.
 DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00735.x>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18460126/>. Acesso em: 22 out. 2023.

HEYDARI, M. K.; ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M.; JAVADIAN, H. Encapsulation of rose essential oil using whey protein concentrate-pectin nanocomplexes: Optimization of the effective parameters. **Food chemistry**, [s. l.], v. 356, p. 129731, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129731>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621007378>. Acesso em: 30 jun. 2022.

HILL, C.; GUARNER, F.; REID, G.; GIBSON, G. R.; MERENSTEIN, D. J.; POT, B.; MORELLI, L.; CANANI, R. B.; FLINT, H. J.; SALMINEN, S.; CALDER, P. C.; SANDERS, M. E. Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology**, [s. l.], v. 11, p. 8, p. 506–514, 2014. DOI:
<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24912386/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HO, A. L.; KOSIK, O.; LOVEGROVE, A.; CHARALAMPOPOULOS, D.; RASTALL, R. A. In vitro fermentability of xylo-oligosaccharide and xylo-polysaccharide fractions with different molecular weights by human faecal bacteria. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 179, p. 50–58, 2018.
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.077>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861717309530>. Acesso em: 03 jul. 2022.

HORÁČKOVÁ, Š.; ROKYTOVÁ, K.; BIALASOVÁ, K.; KLOJDOVÁ, I.; SLUKOVÁ, M. Fruit juices with probiotics – new type of functional foods. **Czech Journal of Food Sciences**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 284–288, 2018. DOI:10.17221/39/2018-cjfs. Disponível em:
https://www.agriculturejournals.cz/web/cjfs.htm?type=article&id=39_2018-CJFS. Acesso em: 10 jul. 2022.

HOSONO, A. Fermented milk in the orient. In Nakazawa, Y., Hosono, A., (Eds.), **Functions of fermented milk: Challenges for the health sciences**, p. 61–78, Elsevier Science Publishers Ltd. Barking, UK, 1992.

HOSSEINI, S. F.; NAHVI, Z.; ZANDI, M. Antioxidant peptide-loaded electrospun chitosan/poly(vinyl alcohol) nanofibrous mat intended for food biopackaging purposes. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 89, p. 637–648, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.033>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X18316485>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HU, X.; LIU, C.; ZHANG, H.; HOSSEM, M. D. A.; SAMEEN, D. E.; DAI, J.; QIN, W.; LIU, Y., LI, S. In vitro digestion of sodium alginate/pectin co-encapsulated *Lactobacillus bulgaricus* and its application in yogurt bilayer beads. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 193, p. 1050-1058, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.076>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34798184/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

HUERTAS, R. A. P. Microencapsulación de Alimentos. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 5669-5684, 2010. ISSN: 2248-7026. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055>. Acesso em: 30 jun. 2022.

HUTKINS, R. W. **Microbiology and Technology of Fermented Foods**. IFT Press, Blackwell Publishing, Oxford, 2006.

HUTKINS, R. W.; KRUMBECK, J. A.; BINDELS, L. B.; CANI, P. D.; FAHEY, G. JR.; GOH, J. Y.; HAMAKER, B.; MARTENS, E. C.; MILLS, D. A.; RASTAL, R. A.; VAUGHAN, E.; SANDERS, M. E. Prebiotics: Why definitions matter. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], v. 37, p. 1–7, 2016. DOI: 10.1016/j.copbio.2015.09.001. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4744122/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

ILHA, E. C.; DA SILVA, T.; LORENZ, J. G.; DE OLIVEIRA ROCHA, G.; SANT'ANNA, E. S. *Lactobacillus paracasei* isolated from grape sourdough: acid, bile, salt, and heat tolerance after spray drying with skim milk and cheese whey. **European Food Research and Technology**, [s. l.], v. 240, n. 5, p. 977–984, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2402-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-014-2402-x>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IMESON, A. Thickeners and Gelling Agents for foods. 1ª ed. Londres: Springer, p.320, 1997. ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; STAPLEY, A. G. F. Spray-freeze-drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 161–181, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.10.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224414002398>. Acesso em: 08 jul. 2022.

JANISZEWSKA-TURAK, E. Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. **Food Research International**, [s. l.], n. 99, p.891-901, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996917300522>. Acesso em: 30 jun. 2022.

JAYANI, T.; SANJEEV, B.; MARIMUTHU, S.; UTHANDI, S. Bacterial Cellulose Nano Fiber (BCNF) as carrier support for the immobilization of probiotic, *Lactobacillus acidophilus* 016. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 250, p. 116965, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116965>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720311383>. Acesso em: 08 jul. 2022.

JUNTER, G. A.; JOUENNE, T. Immobilized viable microbial cells: From the process to the proteome. . . or the cart before the horse. **Biotechnology Advances**, [s. l.], v. 22, n. 8, p. 633–658, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.06.003>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/8351024_Immobilized_viable_microbial_cells_From_the_process_to_the_proteome_or_the_cart_before_the_horse. Acesso em: 08 jul. 2022.

KAILASAPATHY, K. Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. **Current Issues in Intestinal Microbiology**, [s. l.], v.3, p. 39–48, 2002. PMID: 12400637. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12400637/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KALOGIANNIS, S.; IAKOVIDOU, G.; LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, M.; KYRIAKIDIS, A. D.; SKARACIS, N. G. Optimization of xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* grown in molasses. **Process Biochemistry**, [s. l.], v.39, n.2, p.249-256, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032959203000670>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KANG, Y-R.; LEE, Y-K.; KIM, Y. J.; CHANG, Y. H. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 272, p. 337-346, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814618314651>. Acesso em: 10 jul. 2022.

KARAASLAN, M.; ŞENGÜN, F.; CANSU, U.; BAŞYİĞİT, B.; SAĞLAM, H.; KARAASLAN, A. Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 337, p. 127748, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127748>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620316101>. Acesso em: 10 jul. 2022.

KAREB, O.; AİDER, M. Whey and Its Derivatives for Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, and Functional Foods: a Critical Review. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 348–369, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9427-6>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29732479/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

KELLY G. Inulin type prebiotics - a review: part 1. **Alternative Medicine Review**, [s. l.], n. 13, v. 4, p.315-29, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29732479/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KENNEDY, F. J.; BRADSHAW, J. I. Production: Properties and applications of xanthan. **Progress in Industrial Microbiology**, [s. l.], v. 19, p.319-371, 1984. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Production%2C-properties-and-applications-of-Xanthan-Kennedy-Bradshaw/37be71b7e642cf07fc4a91a69c5470e7f4378d8b>. Acesso em: 04 jul. 2022.

KHODER, G.; AL-MENHALI, A. A.; AL-YASSIR, F.; KARAM, S. M. Potential role of probiotics in the management of gastric ulcer (Review). **Experimental and Therapeutic Medicine**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 3–17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3293>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4906699/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

KINGWATEE, N.; APICARTSRANGKOON, A.; CHAIKHAM, P.; WORAMETRACHANON, S.; TECHARUNG, J.; PANKASEMSUK, T. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice

varied carrier materials. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 847–853, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364381400783X>. Acesso em: 08 jul. 2022.

KLAENHAMMER, T. R.; BARRANGOU, R.; BUCK, B. L.; AZCARATE-PERIL, M. A.; ALTERMANN, E. Genomic features of lactic acid bacteria effecting bioprocessing and health. **FEMS Microbiology Reviews**, [s. l.], v. 29, p. 393-409, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15964092/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KOCHERBITOV, V.; ULVENLUND, S.; BRIGGNER, L. E.; KOBER, M.; ARNEBRANT, T. Hydration of a natural polyelectrolyte xanthan gum: Comparison with non-ionic carbohydrates. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 82, n. 2, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.055>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171000336X>. Acesso em: 22 out. 2023.

KOCKOVÁ, M.; DILONGOVA, M.; HYBENOVÁ, E. Evaluation of cereals and pseudocereals suitability for the development of new probiotic foods. **Journal of Chemistry**, [s. l.], v. 414303 p. 1-8, 2013. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2013/414303/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KOLIDA, S.; GIBSON, G. R. Synbiotics in health and disease. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 2, p. 373–393, 2011. DOI: 10.1146/annurev-food-022510-133739. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22129388/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

KRASAEKOOPT, W.; BHANDARI, B.; DEETH, H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 3–13, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00155-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694602001553>. Acesso em: 03 jul. 2022.

KRASAEKOOPT, W.; BHANDARI, B.; DEETH, H. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 14, n. 8, p. 737-743, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694604000172>. Acesso em 03 jul. 2022.

KRISHNAN, S.; GOWDA, L. R.; MISRA, M. C.; KARANTH, N. G. (2001). Physiological and morphological changes in immobilized *L. Plantarum* NCIM 2084 cells during repeated batch fermentation for production of lactic acid. **Food Biotechnology**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 193–202, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1081/FBT-100107630>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/FBT-100107630>. Acesso em: 08 jul. 2022.

KWAK, H. S. **Nano and microencapsulation for foods**. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, p. 422, 2014.

KWIECIEŃ, I.; KWIECIEŃ, M. Application of Polysaccharide-Based Hydrogels as Probiotic Delivery Systems. **Gels**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 47, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.3390/gels4020047>. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6209284/>. Acesso em: 08 jul. 2022.

LARA-ESPINOZA, C.; CARVAJAL-MILLÁN, E.; BALANDRÁN-QUINTANA, R.; LÓPEZ-FRANCO, Y.; RASCÓN-CHU, A. Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. **Molecules**, [s. l.], v. 23, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23040942>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29670040/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

LEKSHMI, R. G. K.; TEJPAL, C. S.; ANAS, K. K.; CHATTERJEE, N. S.; MATHEW, S.; RAVISHANKAR, C. N. Binary blend of maltodextrin and whey protein outperforms gum Arabic as superior wall material for squalene encapsulation. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 121, p. 106976, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106976>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21003921>. Acesso em: 30 jun. 2022.

LEYLAK, C.; ÖZDEMİR, K. S.; GURAKAN, G. C.; OGEL, Z. B. Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and gum arabic: Its application in yoghurt. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 112, p. 104865, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104865>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694620302351>. Acesso em: 30 jun. 2022.

LI, H.; THUY HO, V. T.; TURNER, M. S.; DHITAL, S. Encapsulation of *Lactobacillus plantarum* in porous maize starch. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 74, p. 542–549, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643816305060>. Acesso em: 09 jul. 2022.

LI, J.; NGAI, T.; WU, C. The slow relaxation mode: From solutions to gel networks. **Polymer Journal**, [s. l.], v. 42, n. 8, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/pj.2010.59>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/pj201059>. Acesso em: 22 out. 2023.

LI, K.; WANG, B.; WANG, W.; LIU, G.; GE, W.; ZHANG, M.; YUE, B.; KONG, M. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* BNCC 134415 under lyophilization enhances cell viability during cold storage and pasteurization, and in simulated gastrointestinal fluids. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], n. 116, p. 108521, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108521>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819308631>. Acesso em: 10 jul. 2022.

LI, M. Y.; JIN, Y. X.; WANG, Y. W.; MENG, L.; ZHANG, N.; SU, Y.; HAO, J.; FU, Q.; SUN, Q. Preparation of *Bifidobacterium breve* encapsulated in low methoxyl pectin beads and its effects on yogurt quality. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v.102, n.6, p. 4832–4843, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15597>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219303327>. Acesso em: 15 jun. 2023.

LILLY, D. M.; STILLWELL, R. H. Probiotics: Growth-Promoting Factors Produced by Microorganisms. **Science**, [s. l.], v. 147, n. 3659, p. 747–748,

1965. DOI:10.1126/science.147.3659.747. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.147.3659.747>. Acesso em: 22 out. 2023.

LIU, H.; GONG, J.; CHABOT, D.; MILLER, S. S.; CUI, S. W.; ZHONG, F.; WANG, Q. Improved survival of *Lactobacillus zeae* LB1 in a spray dried alginate-protein matrix. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 78, p. 100–108, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X17302564>. Acesso em: 09 jul. 2022.

LIU, H.; NAKAGAWA, K.; KATO, D. I.; CHAUDHARY, D.; TADE, M. O. Enzyme encapsulation in freeze-fried bionanocomposites prepared from chitosan and xanthan gum blend. **Materials Chemistry and Physics**, [s. l.], v. 129, p.488-494, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251538604_Enzyme_encapsulation_in_freeze-dried_bionanocomposites_prepared_from_chitosan_and_xanthan_gum_blend. Acesso em: 22 out. 2023.

LIU, J.; LIU, F.; REN, T.; WANG, J.; YANG, M.; YAO, Y.; CHEN, H. Fabrication of fish gelatin / sodium alginate double network gels for encapsulation of probiotics. **Journal of the science of food and agriculture**, [s. l.], v. 101, n. 10, p. 4398-4408, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11081>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.11081>. Acesso em: 10 jul. 2022.

LOPES, L. A. A.; CARVALHO, R. S. F.; MAGALHÃES, N. S. S.; MADRUGA, M. S.; ATHAYDE, A. J. A. A.; PORTELA, I. A.; BARÃO, C. E.; PIMENTEL, T. C.; MAGNANI, M.; STAMFORD, T. C. M. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-05 and incorporation in vegan milks: Physicochemical characteristics and survival during storage, exposure to stress conditions, and simulated gastrointestinal digestion. **Food Research International**, [s. l.], v. 135, p. 109295, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109295>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920303203>. Acesso em: 06 jul. 2022.

LOYEAU, P. A.; SPOTTI, M. J.; VANDEN BRABER, N. L.; ROSSI, Y. E.; MONTENEGRO, M. A.; VINDEROLA, G.; CARRARA, C. R. Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis INL1 using whey proteins and dextrans conjugates as wall materials. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 85, p. 129–135, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X18303813>. Acesso em: 09 jul. 2022.

LUCA, L.; OROIAN, M. The effect of microencapsulation and potato starch on the survival of *Lactobacillus* strains. **Food and Environment Safety Journal**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 139–147, 2020. Disponível em: <http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/719/647>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MA, J.; XU, C.; YU, H.; FENG, Z.; YU, W.; GU, L.; LIU, Z.; CHEN, L.; JIANG, Z.; HOU, J. Electro-encapsulation of probiotics in gum Arabic-pullulan blend nanofibres using electrospinning technology. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 111, p. 106381, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106381>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20322591>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release—a review. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 41, p. 1–21, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>. Acesso em: 03 jul. 2022.

MAHAN, L. K.; ESCOTT–STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 10. ed. São Paulo: Roca, 2002.

MALTESEN, M. J.; VAN DE WEERT, M. Drying methods for protein pharmaceuticals. In **Drug Discovery Today: Technologies**, [s. l.], v. 5, n. 2–3, p. 81–88, 2008. Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ddtec.2008.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1740674908000061>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MANTZOURANI, I.; TERPOU, A.; BEKATOROU, A.; MALLOUCHOS, A.; ALEXOPOULOS, A.; KIMBARIS, A.; BEZIRTZOGLU, E.; KOUTINAS, A. A.; PLESSAS, S. Functional pomegranate beverage production by fermentation with a novel synbiotic *L. paracasei* biocatalyst. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 308, p. 125658, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125658>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619317844>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MARCO, M. L.; HEENEY, D.; BINDA, S.; CIFELLI, C. J.; COTTER, P. D.; FOLIGNÉ, B.; GÄNZLE, M.; KORT, R.; PASIN, G.; PIHLANTO, A.; SMID, E. J.; HUTKINS, R. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], v. 44, p. 94–102, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27998788/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MARCOTTE, M. HOSHAHLI, A.R.T.; RAMASWAMY, H.S. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Research International**, [s. l.], v.34, p.695–703, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996901000916>. Acesso em: 22 out. 2023.

MARKOWIAK, P.; ŚLIŻEWSKA, K. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. **Nutrients**, [s. l.], v. 9, n. 9, 2017. DOI: 10.3390/nu9091021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5622781/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

MARTÍN, M. J.; LARA-VILLOSLADA, F.; RUIZ, M. A.; MORALES, M. E. Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 27, p. 15–25, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146685641400160X>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MARTINEZ, R. C. R.; BEDANI, R.; SAAD, S. M. I. Scientific evidence for health effects attributed to the consumption of probiotics and prebiotics: An update for current perspectives and future challenges. **British Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 114, p. 1993–2015, 2015. DOI: 10.1017/S0007114515003864. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26443321/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

MARTÍNEZ-PADILLA, P. L.; GARCÍA-RIVERA, L. J.; ROMERO-ARREOLA, V.; CASAS-ALENCÁSTER, B. N. Effects of xanthan gum rheology on the foaming properties of whey protein concentrate. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 156, p. 22-30, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877415000369>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MATTILA-SANDHOLM, T.; MYLLARINEN, P. M.; CRITTENDEN, R.; MOGENSEN, G.; FONDEN, R.; SAARELA, M. Technological challenges for future probiotic foods. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 12, p. 173–182, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00099-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00099-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694601000991>. Acesso em: 02 jul. 2022.

MCCLEMENTS, D. J. Theoretical Analysis of Factors Affecting the Formation and Stability of Multilayered Colloidal Dispersions. **Langmuir**, [s. l.], v. 21, n. 21, p. 9777-9785, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1021/la0512603>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la0512603>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MEIN-FANG SUN, A.; GOOSEN, M. F. A.; & O'SHEA, G. Microencapsulated cells as hormone delivery systems. **Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1-12, 1987. DOI: <https://europepmc.org/article/med/3315234>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3315234/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. (2019). An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. **Molecular Nutrition and Food Research**, [s. l.], v. 63, n. 15, p. 1–11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201801045>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31189216/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

METCHNIKOFF, E. The Project Gutenberg eBook of The Prolongation Of Life. The Knickerbocker Press, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/files/51521/51521-h/51521-h.htm>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MINJ, S.; ANAND, S. Development of a spray-dried conjugated whey protein hydrolysate powder with entrapped probiotics. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 105, n. 3, p. 2038-2048, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20978>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221010742>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MIRKOVIĆ, M.; SERATLIĆ, S.; KILCAWLEY, K.; MANNION, D.; MIRKOVIĆ, N.; RADULOVIĆ, Z. The Sensory Quality and Volatile Profile of Dark Chocolate Enriched with Encapsulated Probiotic *Lactobacillus plantarum* Bacteria. **Sensors**, [s. l.], v. 18, n. 8, p. 2570, 2018. DOI: 10.3390/s18082570. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30082608/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MISRA, S.; PANDEY, P.; MISHRA, H. N. Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 109, p. 340–351, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421000406>. Acesso em: 05 jul. 2022.

MOGHANJOUGI, Z. M.; BARI, M. Z.; KHALEDABAD, M. A.; ALMASI, H.; AMIRI, S. Bio-preservation of white brined cheese (Feta) by using probiotic bacteria immobilized in bacterial cellulose: Optimization by response surface method and characterization. **LWT**, [s. l.], v. 117, p. 108603, 2020. DOI: [10.1016/j.lwt.2019.108603](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108603). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819309454>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MOJAVERI, S. J.; HOSSEINI, S. F.; GHARSALLAOUI, A. Viability improvement of *Bifidobacterium animalis* Bb12 by encapsulation in chitosan/poly(vinyl alcohol) hybrid electrospun fiber mats. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 241, p. 116278, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116278>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720304525>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MOKOENA, M. P. Lactic acid bacteria and their bacteriocins: Classification, biosynthesis and applications against uropathogens: A mini-review. **Molecules**, [s. l.], v. 22, n. 8, p. 1255, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22081255>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28933759/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MONDRAGÓN-BERNAL, O. L. **Desenvolvimento de uma bebida fermentada a partir de extrato hidrossolúvel de soja, contendo agentes probióticos e prebióticos**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MONTEIRO, S. S.; BESERRA, Y. A. S.; OLIVEIRA, H. M. L.; PASQUALI, M. A. B. Production of Probiotic Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *Flavicarpa* Deg.) Drink Using *Lactobacillus reuteri* and Microencapsulation via Spray Drying. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 335, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030335>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7143088/>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MORELLI, L.; CALLEGARI, M. L.; PATRONE, V. Prebiotics, Probiotics, and Synbiotics: A Bifidobacterial View. In **The Bifidobacteria and Related Organisms**, [s. l.], p. 271-293, 2018. Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805060-6.00017-x>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012805060600017X>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MOSER, P. **Comportamento reológico de gomas guar e xantana na presença de polióis**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.

MOUMITA, S.; GODERSKA, K.; JOHNSON, E. M.; DAS, B.; INDIRA, D.; YADAV, R.; KUMARI, S.; JAYABALAN, R. Evaluation of the viability of free and encapsulated lactic acid bacteria using in-vitro gastro intestinal model and survivability studies of synbiotic

microcapsules in dry food matrix during storage. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 77, p. 460–467, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.079>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643816307666>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MOUNSEY, J. S.; E. D. O'RIORDAN. Influence of pre-gelatinised maize starch on the rheology, microstructure and processing of imitation cheese. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v.84, p. 57–64, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407002592>. Acesso em: 30 jun. 2022.

MOZAFFARZOGH, M.; MISAGHI, A.; SHAHBAZI, Y.; KAMKAR, A. (2020). Evaluation of probiotic carboxymethyl cellulose-sodium caseinate films and their application in extending shelf life quality of fresh trout fillets. **LWT**, [s. l.] v. 126, p. 109305, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109305>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820302942>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MUDGIL, P.; ALDHAHERI, F.; HAMDI, M.; PUNIA, S.; MAQSOOD, S. Fortification of Chami (traditional soft cheese) with probiotic-loaded protein and starch microparticles: Characterization, bioactive properties, and storage stability. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 158, p. 113036, 2022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113036>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021897>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MUZZAFAR, A.; SHARMA, V. Microencapsulation of probiotics for incorporation in cream biscuits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 2193–2201, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9835-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-018-9835-z>. Acesso em: 09 jul. 2022.

NAG, A.; DAS, S. Improving ambient temperature stability of probiotics with stress adaptation and fluidized bed drying. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 170–177, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.10.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464612001478>. Acesso em: 09 jul. 2022.

NAG, A.; WATERLAND, M.; JANSSEN, P.; ANDERSON, R.; SINGH, H. Importance of intact secondary protein structures of cell envelopes and glass transition temperature of the stabilization matrix on the storage stability of probiotics. **Food Research International**, [s. l.], v. 123, p. 198–207, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.058>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31284968/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NAMI, Y.; LORNEZHAD, G.; KIANI, A.; ABDULLAH, N.; HAGHSHENAS, B. Alginate-Persian Gum-Prebiotics microencapsulation impacts on the survival rate of *Lactococcus lactis* ABRIINW-N19 in orange juice. **LWT**, [s. l.], v. 124, p. 109190, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109190>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364382030178X>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NEDOVIC, V.; KALUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**, [s. l.], v. 1, p. 1806–1815, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11002665>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NG, K. S.; WANG, S. Y.; CHEN, M. J. A novel immobilized cell system involving Taiwanese kefir microorganisms and sugar cane pieces for fermented milk production. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 141–149, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16763>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31629528/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NGUYEN, V. D.; STYEVKÓ, G.; TA, L. P.; TRAN, A. T. M.; BUJNA, E.; ORBÁN, P.; DAM, M. S.; NGUYEN, Q. D. Immobilization and some properties of commercial enzyme preparation for production of lactulose-based oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, [s. l.], v. 107, p. 97–103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.11.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308517301529>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NOGUEIRA, M. B. **Encapsulação e estabilidade de extratos carotenogênicos obtidos por *Phaffia Rhodozyma* NRRL Y17268**. 161 p. Tese. (Doutorado em Engenharia e Ciências de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, 2017.

NUNES, G. L.; ETCHEPARE, M. A.; CICHOSKI, A. J.; ZEPKA, L. Q.; JACOB LOPES, E.; BARIN, J. S.; FLORES, E. M. M.; SILVA, C. B.; DE MENEZES, C. R. Inulin, hi-maize, and trehalose as thermal protectants for increasing viability of *Lactobacillus acidophilus* encapsulated by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 89, p. 128–133, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817307703>. Acesso em: 30 jun. 2022.

OBRADOVIĆ, N.; VOLIĆ, M.; NEDOVIĆ, V.; RAKIN, M.; BUGARSKI, B. Microencapsulation of probiotic starter culture in protein–carbohydrate carriers using spray and freeze-drying processes: Implementation in whey-based beverages. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 321, p. 110948, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110948>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877422000103>. Acesso em: 30 jun. 2022.

OKURO, P. K.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; LIBERAL, R. D. C. O.; FÁVARO-TRINDADE, C. S. Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with inulin or polydextrose in solid lipid microparticles provides protection and improves stability. **Food Research International**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 96–103, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.03.042>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996913002172>. Acesso em: 10 jul. 2022.

OLDFIELD, D.; TAYLOR, M.; SINGH, H. Effect of preheating and other process parameters on whey protein reactions during skim milk powder manufacture. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 501-511, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694604002237>. Acesso em: 30 jun. 2022.

OLIVARES, A.; SOTO, C.; CABALLERO, E.; ALTAMIRANO, C. Survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage.

Electronic Journal of Biotechnology, [s. l.], v. 42, p. 42-48, 2019. DOI:

10.1016/j.ejbt.2019.10.002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345819300429>. Acesso em: 15 jun. 2023.

OLIVARES, A.; SOTO, C.; CABALLERO, E.; ALTAMIRANO, C. Survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage.

Electronic Journal of Biotechnology, [s. l.], v. 42, p. 42-48, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.10.002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345819300429>. Acesso em: 10 jul. 2022.

OROZCO-PARRA, J.; MEJÍA, C. M.; VILLA, C. C. Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 104, p. 105754, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105754>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19326359>. Acesso em: 10 jul. 2022.

OXLEY, J. D. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals**, [s. l.], p. 110–130, 2012. Elsevier. DOI:

<https://doi.org/10.1533/9780857095909.2.110>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857091246500056>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PANDEY, K. R.; NAIK, S. R.; VAKIL, B. V. Probiotics, prebiotics and synbiotics - a review.

Journal of Food Science and Technology, [s. l.], v. 52, n. 12, p. 7577–7587, 2015. DOI:

10.1007/s13197-015-1921-1. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4648921/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

PAPADIMITRIOU, K.; ALEGRÍA, Á.; BRON, P. A.; DE ANGELIS, M.; GOBBETTI, M.;

KLEEREBEZEM, M.; LEMOS, J. A.; LINARES, D. M.; ROSS, P.; STANTON, C.; TURRONI, F.;

VAN SINDEREN, D.; VARMANEN, P.; VENTURA, M.; ZÚÑIGA, M.; TSAKALIDOU, E.; KOK, J.

Stress Physiology of Lactic Acid Bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**,

[s. l.], v. 80, n. 3, p. 837–890, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1128/mmbr.00076-15>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27466284/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PAPAGIANNI, M.; ANASTASIADOU, S. Encapsulation of *Pediococcus acidilactici* cells in corn and olive oil microcapsules emulsified by peptides and stabilized with xanthan in oil-in-water emulsions: Studies on cell viability under gastro-intestinal simulating conditions. **Enzyme and**

Microbial Technology, [s. l.], v. 45, n. 6-7, p. 514-522, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2009.06.007>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141022909001264>. Acesso em: 30 jun. 2022.

PARKER, R. B. Probiotics: the other half of the antibiotics story. **Animal Nutrition Health, London**, v. 29, p. 4-8, 1974.

PATEL, R.; DUPONT, H. L. New approaches for bacteriotherapy: Prebiotics, new-generation probiotics, and synbiotics. **Clinical Infectious Diseases**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 108-121, 2015. DOI: 10.1093/cid/civ177. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25922396/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

PATIL, J. S.; KAMALAPUR, M. V.; MARAPUR, S. C.; KADAM, D. V. Ionotropic gelation and polyelectrolyte complexation: The novel techniques to design hydrogel particulate sustained, modulated drug delivery system: A review. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 241-248, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265991547_Ionotropic_gelation_and_polyelectrolyte_complexation_The_novel_techniques_to_design_hydrogel_particulate. Acesso em: 10 jul. 2022.

PAVLI, F.; TASSOU, C.; NYCHAS, G. J. E.; CHORIANOPOULOS, N. Probiotic incorporation in edible films and coatings: Bioactive solution for functional foods. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 19, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19010150>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29300362/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PENG, K.; KOUBAA, M.; BALS, O.; VOROBIEV, E. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review. **Food Research International**, [s. l.], v. 137, p. 109544, 2020. DOI: doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109544. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399692030569X>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PERCZAK, A.; GOLIŃSKI, P.; BRYŁA, M.; WAŚKIEWICZ, A. The efficiency of lactic acid bacteria against pathogenic fungi and mycotoxins. **Arh Hig Rada Toksikol**, [s. l.], v. 69, p.32-45, 2018. DOI:10.2478/aiht-2018-69-3051. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29604200/>. Acesso em: 22 out. 2023.

PEREIRA, J. A.; PINTO, S. S.; DIAS, C. O.; VIEIRA, M. P. T.; RIBEIRO, D. H. B.; AMBONI, R. D. M. C.; FRITZEN-FREIRE, C. B. Potentially symbiotic fermented milk: A preliminary approach using lactose-free milk. **LWT**, [s. l.], v. 118, p. 108847, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108847>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819311892>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PEREIRA, J. O.; SOARES, J.; MONTEIRO, M. J. P.; GOMES, A.; PINTADO, M. Impact of whey protein coating incorporated with *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* on sliced ham properties. **Meat Science**, [s. l.], v. 139, p. 125–133, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174017307738>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PEREZ-GAGO, M.; KROCHTA, J. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 66, n. 5, p. 705-710, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04625.x>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04625.x>. Acesso em: 30 jun. 2022.

- PETRI, D. F. S. Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v.132, n.23, p.1-13, 2015.
- PFEILER, E. A.; KLAENHAMMER, T. R. The genomics of lactic acid bacteria. **Trends in Microbiology**, v.15, p.546-553, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.42035>. Acesso em: 22 out. 2023.
- PINEIRO, M.; ASP, N. G.; REID, G.; MACFARLANE, S.; MORELLI, L.; BRUNSER, O.; TUOHY, K. FAO technical meeting on prebiotics. **Journal of Clinical Gastroenterology**, [s. l.], v.42, p.156-159, 2008. DOI: 10.1097/MCG.0b013e31817f184e. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18685504/>. Acesso em: 02 jul. 2022.
- PINTO, S. S.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; DIAS, C. O.; AMBONI, R. D. M. C. A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 97, p. 131–138, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.05.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694619301256>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- PIQUÉ, N.; BERLANGA, M.; MIÑANA-GALBIS, D. Health Benefits of Heat-Killed (Tyndallized) Probiotics: An Overview. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 20, n. 10, p. 1–30, 2019. DOI: 10.3390/ijms20102534. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31126033/>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- PÖRTNER, R.; FASCHIAN, R.; GOELLING, D. Fermentation of lactic acid bacteria: State of the art and new perspectives. In **Applied Biocatalysis: From Fundamental Science to Industrial Applications**, [s. l.], p. 317–342, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527677122.ch14>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306232521_Fermentation_of_Lactic_Acid_Bacteria_State_of_the_Art_and_New_Perspectives_From_Fundamental_Science_to_Industrial_Applications. Acesso em: 10 jul. 2022.
- POURJAFAR, H.; NOORI, N.; GANDOMI, H.; BASTI, A. A.; ANSARI, F. Viability of microencapsulated and non-microencapsulated Lactobacilli in a commercial beverage. **Biotechnology Reports**, [s. l.], v. 25, p. 00432, 2020. DOI:10.1016/j.btre.2020.e00432. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19305223>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- PUC CETTI, M.; GIOVAGNOLI, S.; ZELANTE, T.; ROMANI, L.; RICCI, M. Development of Novel Indole-3-Aldehyde–Loaded Gastro-Resistant Spray-Dried Microparticles for Postbiotic Small Intestine Local Delivery. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], v. 107, n. 9, p. 2341–2353, 2018. DOI: 10.1016/j.xphs.2018.04.023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29715478/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- QAZIYANI, S. D.; POURFARZAD, A.; GHEIBI, S.; NASIRAIE, L. R. Effect of encapsulation and wall material on the probiotic survival and physicochemical properties of synbiotic chewing gum: study with univariate and multivariate analyses. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 7, p. 02144, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02144>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019358049>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RADDATZ, G. C.; POLETO, G.; DEUS, C.; CODEVILLA, C. F.; CICHOSKI, A. J.; JACOB-LOPES, E.; MULLER, E. I.; FLORES, E. M. M.; ESMERINO, E. A.; MENEZES, C. R. Use of prebiotic sources to increase probiotic viability in pectin microparticles obtained by emulsification/internal gelation followed by freeze-drying. **Food Research International**, [s. l.], v. 130, p. 108902, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108902>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996919307884>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RAJAM, R.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. **LWT-Food Science and Technology**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 773–780, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.062>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814006185>. Acesso em: 01 jul. 2022.

RAJAM, R.; KARTHIK, P.; PARTHASARATHI, S.; JOSEPH, G. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of whey protein e alginate wall systems on survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 891-898, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.06.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1756464612001016>. Acesso em: 01 jul. 2022

RAMA, G. R.; FÜHR, A. J.; SILVA, J. A. B. S.; GENNARI, A.; GIROLDI, M.; GOETTERT, M. I.; SOUZA, C. F. V. Encapsulation of *Lactobacillus* spp. using bovine and buffalo cheese whey and their application in orange juice. **3 Biotech**, [s. l.], v. 10, n. 6, 2020. DOI:10.1007/s13205-020-02255-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32509496/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RAMAKRISHNAN, Y.; ADZAHAN, M. N.; YUSOF, A. Y.; MAHUMMAD, K. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, [s. l.], v. 328, p. 406-411, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591017309671>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RAMOS, P. E.; CERQUEIRA, M. A.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. Physiological protection of probiotic microcapsules by coatings. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 58, n. 11, p. 1864–1877, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1289148>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28362165/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RANADHEERA, C. S.; EVANS, C. A.; ADAMS, M.; BAINES, S. K. Co-culturing of probiotics influences the microbial and physico-chemical properties but not sensory quality of fermented dairy drink made from goats' milk. **Small Ruminant Research**, [s. l.], v. 136, p. 104–108, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.01.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921448816300153>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RANADHEERA, C. S.; NAUMOVSKI, N.; AJLOUNI, S. Non-bovine milk products as emerging probiotic carriers: recent developments and innovations. **Current Opinion in Food Science**,

[s. /], v. 22, p. 109–114, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799318300110>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RASCÓN, M. P.; BERISTAIN, C. I.; GARCÍA, H. S.; SALGADO, M. A. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum arabic and soy protein isolate as wall materials. **Food Science and Technology**, [s. /], v. 44 p. 549-557, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.08.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643810002999>. Acesso em: 01 jul. 2022.

RATHORE, S.; DESAI, P. M.; LIEW, C. V.; CHAN, L. W.; HENG, P. W. S. Microencapsulation of microbial cells. **Journal of Food Engineering**, [s. /], v. 116, n. 2, p. 369–381, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412006103>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RAVAZI, S.; JANFAZA, S.; TASNIM, N.; GIBSON, D. L.; HOORFAR, M. (2021). Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food Hydrocolloids**, [s. /], v. 120, p. 106882, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21002988>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**, [s. /], n. 13, p.76-83, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221242921530033X>. Acesso em: 01 jul. 2022.

RAZAVI, S.; JANFAZA, S.; TASNIM, N.; GIBSON, D. L.; HOORFAR, M. Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food hydrocolloids**, [s. /], v. 120, p. 106882, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21002988>. Acesso em: 01 jul. 2022.

REIS, F. S.; MARTINS, A.; VASCONCELOS, M. H.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Functional foods based on extracts or compounds derived from mushrooms. **Trends in Food Science & Technology**, [s. /], v. 66, p. 48-62, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417300699>. Acesso em: 03 jul. 2022.

REIS, S. A.; CONCEIÇÃO, L. L.; ROSA, D. D.; SIQUEIRA, N. P.; PELUZIO, M. G. Mechanisms responsible for the hypocholesterolaemic effect of regular consumption of probiotics. **Nutrition Research Reviews**, [s. /] v. 30, n. 1, p. 36-49, 2017. DOI: [10.1017/S0954422416000226](https://doi.org/10.1017/S0954422416000226). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27995830/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

REPORT. **Functional Food Ingredients**, [s. l.], Global Market Trajectory & Analytics. 649, 2022. ID: 5302736.

REQUE, P. M.; BRANDELLI, A. Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], n. 114, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421003447>. Acesso em: 05 jul. 2022.

ŘÍHOVÁ, B. Immunocompatibility and biocompatibility of cell delivery systems. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [s. l.], v. 42, n. 1–2, p. 65–80, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(00\)00054-5](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(00)00054-5). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10942815/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RIVERA-ESPINOZA, Y.; GALLARDO-NAVARRO, Y. Non-dairy probiotic products. **Food Microbiology**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 1–11, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.06.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002008001111>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ROBERFROID, M. B. Defining functional foods and associated claims. In: SAARELA, M. **Functional Foods**. 2. ed. United Kingdom: Woodhead Publishing, cap. 1, p. 3-22, 2011. ISBN: 978-1-84569-690-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9781845696900/functional-foods#book-description>. Acesso em: 02 jul. 2022.

ROBERFROID, M. B. Functional food concept and its application to prebiotics. **Digestive and Liver Disease**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 105-110, 2002. DOI: 10.1016/s1590-8658(02)80176-1. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12408452/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

RODRIGUES, F. J.; CEDRAN, M. F.; BICAS, J. L.; SATO, H. H. Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A narrative review. **Food Research International**, [s. l.], v. 137, p. 109682, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920307079>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RODRIGUES, F. J.; OMURA, M. H.; CEDRAN, M. F.; DEKKER, R. F.; BARBOSA-DEKKER, A. M.; GARCIA, S. 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. DOI: 10.1080/02652048.2017.1343872. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28618877/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Experimental Design Process Optimization**. 3. ed. New York: CRC Press, p. 336, 2014.

ROSA, C. G. da. **Microencapsulação de extratos metanólicos de amora preta (*Rubus Fruticosus*) e ácido gálico**. 2012. 111 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, 2012.

ROSOLEN, M. D.; BORDINI, F. W.; DE OLIVEIRA, P. D.; CONCEIÇÃO, F. R.; POHNDORF, R. S.; FIORENTINI, Â. M.; DA SILVA, W. P.; PIENIZ, S. Symbiotic microencapsulation of

Lactococcus lactis subsp. *lactis* R7 using whey and inulin by spray drying. **LWT-Food Science and Technology**, [s. l.], v. 115, p. 108411, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108411>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819307534>. Acesso em: 01 jul. 2022.

ROUHI, M.; SOHRABVANDI, S.; MORTAZAVIAN, A. M. Probiotic fermented sausage: viability of probiotic microorganisms and sensory characteristics. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v.53 n. 4, p. 331–348, 2013. DOI: 10.1080/10408398.2010.531407.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23320906/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa**. 2013. 107 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, 2013.

SAAD, S. M. I. Probiotics and prebiotics: the state of the art. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], v. 42, n. 1, p.1-6, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000100002>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcbf/a/T9SMSGKc8Mq37HXJyhSpM3K/abstract/?stop=previous&lang=en&format=html>. Acesso em: 02 jul. 2022.

SAAD, S. M. I.; BEDANI, R.; MAMIZUKA, E. M. Benefícios à saúde dos probióticos e prebióticos. In SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. (Eds.). **Probióticos e prebióticos em alimentos: Fundamentos e aplicações tecnológicas**. São Paulo: Varela cap.2, p. 281-304, 2011.

SALMINEN, S.; ISOLAURI, E.; SALMINEN, E. Clinical uses of probiotics for stabilizing the gut mucosal barrier: successful strains and future challenges. **Antonie Van Leeuwenhoek**, [s. l.], v. 70, n. 5., p. 16-18, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00395941>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00395941>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SAMEDI, L.; CHARLES, A. L. Viability of 4 probiotic bacteria microencapsulated with arrowroot starch in the simulated gastrointestinal tract (GIT) and yoghurt. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8050175>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31137631/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SANDERS, M. E. Probiotics: considerations for human health. **Nutrition Reviews**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 91-99, 2003. DOI: 10.1301/nr.2003.marr.91-99. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12723641/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

SANDERS, M. E.; MARCO, M. L. Food formats for effective delivery of probiotics. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 1, p. 65–85, 2010. DOI: 10.1146/annurev.food.080708.100743. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22129330/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

SANDFORD, P.A.; PITTSLEY, J.E.; KNUTSON, C.A.; WATSON, P.R.; CADMUS, M.C.; JEANES, A. Variation in *Xanthomonas campestris* NRRL B – 1459: characterization of xanthan products of differing pyruvic acid content. **Extracellular Microbial Polysaccharides**, [s. l.], v.45, n.15, p. 192-210, 1977.

SANTVARANGKA, C.; KULOZIK, U.; FOERST, P. Effect of carbohydrates on the survival of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying. **Letters in Applied Microbiology**, [s. l.], 42, 271–276, 2006. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2005.01835.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16478516/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

SANTOS, D. X. DOS; CASAZZA, A. A.; ALIAKBARIAN, B.; BEDANI, R.; SAAD, S. M. I.; PEREGO, P. Improved probiotic survival to in vitro gastrointestinal stress in a mousse containing *Lactobacillus acidophilus* La-5 microencapsulated with inulin by spray drying. **LWT-Food Science and Technology**, [s. l.], v. 99, p. 404–410, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818308284>. Acesso em: 03 jul. 2022.

SARAO, L. K.; ARORA, M. Probiotics, prebiotics, and microencapsulation: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 57, p. 344–371, 2017. DOI: 10.1080/10408398.2014.887055. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25848935/>. Acesso em: 05 jul. 2022.

SCAVUZZI, B. M.; HENRIQUE, F. C.; MIGLIORANZA, L. H. S.; SIMAO, A. N. C.; DICI, I. Impact of prebiotics, probiotics and synbiotics on components of the metabolic syndrome. **Annals of Nutritional Disorders & Therapy**, [s. l.], v. 1, p. 1009, 2004. Disponível em: <https://austinpublishinggroup.com/nutritional-disorders/fulltext/andt-v1-id1009.php>. Acesso em: 03 jul. 2022.

SCHAAFSMA G. State of the art concerning probiotic strains in milk products. **IDF Nutrition Newsletter**, [s. l.], v. 5, p. 23–24, 1996. Acesso em: 10 jul. 2022.

SCHOINA, V.; TERPOU, A.; BOSNEA, L.; KANELAKI, M.; NIGAM, P. S. Entrapment of *Lactobacillus casei* ATCC393 in the viscous matrix of Pistacia terebinthus resin for functional myzithra cheese manufacture. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 89, p. 441–448, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817308356>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SCHOUBBEN, A.; BLASI, P.; GIOVAGNOLI, S.; ROSSI, C.; RICCI, M. Development of a scalable procedure for fine calcium alginate particle preparation. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 160, n. 1, p. 363–369, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.02.062>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894710002068>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SCHREZENMEIR, J.; VRESE, M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics - Approaching a definition. **American Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 361–364, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.361s>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11157342/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SENÉS-GUERRERO, C.; GRADILLA-HERNÁNDEZ, M. S.; GARCÍA-GAMBOA, R.; GARCÍA-CAYUELA, T. Dietary fiber and gut microbiota. In WELTI-CHANES, J.; SERNA-SALDÍVAR, S. O.; CAMPANELLA, O.; TEJADA-ORTIGOZA, V. (Eds.), **Science and Technology of Fibers in Food Systems**, [s. l.], Springer International Publishing, p. 277–298, 2020.

- SENGUN, I. Y.; KIRMIZIGUL, A.; ATLAMA, K.; YILMAZ, B. The viability of *Lactobacillus rhamnosus* in orange juice fortified with nettle (*Urtica dioica* L.) and bioactive properties of the juice during storage. **LWT**, [s. l.], v. 118, p. 108707, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108707>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819310497>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SEYEDAIN-ARDABILI, M.; SHARIFAN, A.; TARZI, B. G. The Production of Synbiotic Bread by Microencapsulation. **Food Technology and Biotechnology**, [s. l.], v. 54, n. 1, p. 52-59, 2016. Doi: 10.17113/ftb.54.01.16.4234. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5105637/>. Acesso em: 29 set. 2022.
- SHAH, B. R.; LI, B.; AL SABBAH, H.; XU, W.; MRÁZ, J. Effects of prebiotic dietary fibers and probiotics on human health: With special focus on recent advancement in their encapsulated formulations. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 102, p. 178–192, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224420305112>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SHARIFI, S.; BARI, M. R.; ALIZADEH, M.; ALMASI, H.; AMIRI, S. Use of whey protein isolate and gum Arabic for the co-encapsulation of probiotic *Lactobacillus plantarum* and phytosterols by complex coacervation: Enhanced viability of probiotic in Iranian white cheese. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 113, p. 106496, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106496>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20328708?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SHEN, Q.; QUEK, S.Y. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], n. 123, p.165-171, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413004548>. Acesso em: 01 jul. 2022.
- SHOAIB, M.; SHEHZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A.; RAZA, H.; SHARIF, H. R.; SHAKEEL, A.; ANSARI, A.; NIAZI, S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 147, p. 444–454, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27178951/>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SHORI, A. B. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 13, p. 1–8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429215300213>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SHUKLA, S. Freeze Drying Process: a Review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 3061–3068, 2011. DOI: [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2\(12\).3061-68](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2(12).3061-68). Disponível em: <https://ijpsr.com/bft-article/freeze-drying-process-a-review/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SILVA, C. M.; RIBEIRO, A. J.; FIGUEIREDO, I. V.; GONÇALVES, A. R.; VEIGA, F. Alginate microspheres prepared by internal gelation: development and effect on insulin stability. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 311, n. 1-2, p. 1-10, 2006. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2005.10.050. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16442757/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SILVA, da T. P.; FRIES, M. L. L.; MENEZES, de R. C.; SILVA, da B. da C.; SORIANI, H. H.; BASTOS, O. de J.; MOTTA, H. M.; RIBEIRO, F. R. Microencapsulação de probióticos por spray drying: avaliação da sobrevivência sob condições gastrointestinais simuladas e da viabilidade sob diferentes temperaturas de armazenamento. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 45, n. 7, p. 1342-1347, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140211>. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015000701342&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 01 jul. 2022.

SILVA, J. A.; GREGORIO, P. R.; RIVERO, G.; ABRAHAM, G. A.; NADER-MACÍAS, M. E. F. Immobilization of vaginal *Lactobacillus* in polymeric nanofibers for its incorporation in vaginal probiotic products. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], v. 156, p. 105563, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105563>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0928098720303511>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SILVA, K. C. G.; CEZARINO, E. C.; MICHELON, M.; SATO, A. C. K. Symbiotic microencapsulation to enhance *Lactobacillus acidophilus* survival. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 89, p. 503-509, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.11.026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817308459>. Acesso em: 26 mai. 2022.

SILVA, M. N.; TAGLIAPIETRA, B. L.; RICHARDS, N. S. P. DOS S. Encapsulation, storage viability, and consumer acceptance of probiotic butter. **LWT**, [s. l.], p. 110536, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110536>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820315243>. Acesso em: 10 jul. 2022.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C. Spectrometric identification of organic compounds. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], n. 39, v. 11, p. 546, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed039p546>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed039p546>. Acesso em: 22 out. 2023.

SIMEONI, P. C.; ETCHEPARE, A. de M.; MENEZES, de R. C.; FRIES, M. L.; MENEZES, C. F. M.; STEFANELLO, S. F. Microencapsulação de probióticos: inovação tecnológica na indústria de alimentos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, [s. l.], v. 18, p. 66-75, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/13020/pdf/62318>. Acesso em: 01 jul. 2022.

SINGU, B. D.; BHUSHETTE, P. R.; ANNAPURE, U. S. Thermo-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* coated cornflakes as a potential probiotic vehicle. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 36, p. 100668, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100668>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341939271_Thermo-tolerant_Saccharomyces_cerevisiae_var_boulardii_coated_cornflakes_as_a_potential_probiotic_vehicle. Acesso em: 10 jul. 2022.

- SINHA, V.; PARMAR, H. Development and validation of multidimensional scale on Indian consumer's acceptance of functional food (FFS) - The sustainable option. **Cleaner and Responsible Consumption**, [s. l.], p. 100128, pre-proof, 2023. DOI: 10.1016/j.clrc.2023.100128. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez66.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2666784323000293>. Acesso em: 22 out. 2023.
- SMITH, I. H.; SYMES, K. C.; LAWSON, C. J.; MORRIS, E. R. Influence of the pyruvate content of xanthan on macromolecular association in solution. **International Journal of Biological Macromolecules**, California, v.3, n.2, p. 129-134, 1981.
- SMRDEL, P.; BOGATAJ, M.; ZEGA, A.; PLANINSEK, O.; MRHAR, A. Shape optimization and characterization of polysaccharide beads prepared by ionotropic gelation. **Journal of Microencapsulation**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 90-105, 2008. DOI: 10.1080/02652040701776109. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18246487/>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SOARES, M. B.; MARTINEZ, R. C. R.; PEREIRA, E. P. R.; BALTHAZAR, C. F.; CRUZ, A. G.; RANADHEERA, C. S.; SANT'ANA, A. S. The resistance of Bacillus, Bifidobacterium, and Lactobacillus strains with claimed probiotic properties in different food matrices exposed to simulated gastrointestinal tract conditions. **Food Research International**, [s. l.], v. 125, p. 108542, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.10854>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691930420X>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SOLIS-OVIEDO, R. L. A brief review of edible coating materials for the microencapsulation of probiotics. **Coatings**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 1–34, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings10030197>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/3/197>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SOUSA, M. J.; ARDO, Y.; MCSWEENEY, P. L. H. Advances in the Study of Proteolysis during Cheese Ripening. **International Dairy Journal**, [s. l.], v.11, p. 327-345, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00062-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694601000620>. Acesso em: 17 mar. 2022.
- SULTANA, A.; TANAKA, Y.; FUSHIMI, Y.; YOSHII, H. Stability and release behavior of encapsulated flavor from spray-dried Saccharomyces cerevisiae and maltodextrin powder. **Food Research International**, [s. l.], v. 106, p. 809-816, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.059>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399691830067X>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SUN-WATERHOUSE, D. The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 899–920, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02499.x>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/3/197>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SWANSON, K. S.; GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; REIMER, R. A.; REID, G.; VERBEKE, K.; SCOTT, K. P.; HOLSCHER, H. D.; AZAD, M. B.; DELZENNE, N. M.; SANDERS, M. E. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement

on the definition and scope of synbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, [s. l.], v. 17, p. 687–701, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41575-020-0344-2>. Acesso em: 04 jul. 2022.

TA, L. P.; BUJNA, E.; ANTAL, O.; LADÁNYI, M.; JUHÁSZ, R.; SZÉCSI, A.; KUN, S.; SUDHEER, S.; GUPTA, V. K.; NGUYEN, Q. D. Effects of various polysaccharides (alginate, carrageenan, gums, chitosan) and their combination with prebiotic saccharides (resistant starch, lactosucrose, lactulose) on the encapsulation of probiotic bacteria *Lactobacillus casei* 01 strain. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 183, p. 1136-1144, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.170>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813021009430>. Acesso em: 01 jul. 2022.

TAKEI, T.; YOSHIDA, M.; HATATE, Y.; SHIOMORI, K.; KIYOYAMA, S. Preparation of lactic acid bacteria-enclosing alginate beads in emulsion system: Effect of preparation parameters on bead characteristics. **Polymer Bulletin**, [s. l.], v. 63, p. 599-607, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-009-0111-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00289-009-0111-6>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TALWALKAR, A.; KAILASAPATHY, K. A review of oxygen toxicity in probiotic yogurts: influence on the survival of probiotic bacteria and protective techniques. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 3, p. 117–124, 2004. DOI: [10.1111/j.1541-4337.2004.tb00061.x](https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2004.tb00061.x). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33430563/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

TAN, L. L.; SAMPATHKUMAR, K.; WONG, J. H.; LOO, S. C. J. Divalent cations are antagonistic to survivability of freeze-dried probiotics encapsulated in cross-linked alginate. **Food and Bioprocess Processing**, [s. l.], v. 124, p. 369–377, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308520305253>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TAO, T.; DING, Z.; HOU, D.; PRAKASH, S.; ZHAO, Y.; FAN, Z.; ZHANG, D.; WANG, Z.; LIU, M.; HAN, J. Influence of polysaccharide as co-encapsulant on powder characteristics, survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus paracasei* Lpc-37 by spray drying. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 252, p. 10–17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087741930055X>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TARONE, A. G.; SILVA, E. K.; CAZARIN, C. B. B.; JUNIOR, M. R. M. Inulin/fructooligosaccharides/pectin-based structured systems: Promising encapsulating matrices of polyphenols recovered from jabuticaba peel. **Food hydrocolloids**, [s. l.], v. 111, p. 106387, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106387>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20316921>. Acesso em: 01 jul. 2022.

TASCH HOLKEM, A.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Potential of solid lipid microparticles covered by the protein-polysaccharide complex for protection of probiotics and proanthocyanidin-rich cinnamon extract. **Food Research International**, [s. l.], v. 136, p. 109520, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109520>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920305457>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TERPOU, A.; NIGAM, P. S.; BOSNEA, L.; KANELAKI, M. Evaluation of Chios mastic gum as antimicrobial agent and matrix forming material targeting probiotic cell encapsulation for functional fermented milk production. **LWT**, [s. l.], v. 97, p. 109–116, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.045>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818305565>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TERPOU, A.; PAPADAKI, A.; BOSNEA, L.; KANELAKI, M.; KOPSAHELIS, N. Novel frozen yogurt production fortified with sea buckthorn berries and probiotics. **LWT**, [s. l.], v. 105, p.

242–249, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.024>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819301148>. Acesso em: 10 jul. 2022.

TESFAYE, W.; SUAREZ-LEPE, J. A.; LOIRA, I.; PALOMERO, F.; MORATA, A. Dairy and nondairy-based beverages as a vehicle for probiotics, prebiotics, and symbiotics: alternatives to health versus disease binomial approach through food. In: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. **Milk-Based Beverages**, [s. l.], v. 9. Índia. Woodhead Publishing, cap. 14, p.485–533, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02383-2>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/book/9780128155042/milk-based-beverages>. Acesso em: 02 jul. 2022.

TIRAPAGUI, J. **Nutrição: fundamentos e aspectos atuais**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2006.

TRIPATHI, M. K.; GIRI, S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v.9, p.225–241, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1756464614001716>. Acesso em: 01 jul. 2022.

TURKMEN, N.; AKAL, C.; ÖZER, B. Probiotic dairy-based beverages: A review. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 53, p. 62–75, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.004>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1756464618306339>.

Acesso em: 10 jul. 2022.

VAZIRI, A. S.; ALEMZADEH, I.; VOSSOUGH, M.; KHORASANI, A. C. Co-microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* and DHA fatty acid in alginate-pectin-gelatin biocomposites.

Carbohydrate Polymers, [s. l.], v. 199, p. 266–275, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718307835>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VIEIRA, K. C. O.; FERREIRA, C. S.; BUENO, E. B. T.; MORAES, Y. A. M.; TOLEDO, A. C. C.

G.; NAKAGAKI, W. R.; PEREIRA, V. C.; WINKELSTROTER, L. K. Development and viability of probiotic orange juice supplemented by *Pediococcus acidilactici* CE51. **LWT**, [s. l.], v. 130, p.

109637, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109637>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820306265>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VISIOLI, F.; STRATA, A. Milk, dairy products, and their functional effects in humans: A narrative review of recent evidence. **Advances in Nutrition**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 131–143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.113.005025>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3951796/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VITOLA, H. R. S.; DANNENBERG, G. S.; MARQUES, J. L.; LOPES, G. V.; SILVA, W. P.; FIORENTINI, Â. M. Probiotic potential of *Lactocaseibacillus casei* CSL3 isolated from bovine colostrum silage and its viability capacity immobilized in soybean. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 75, p. 22–30, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.09.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511318306093>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VIVEK, K.; MISHRA, S.; PRADHAN, R. C. Characterization of spray dried probiotic Sohiong fruit powder with *Lactobacillus plantarum*. **LWT**, [s. l.], v. 117, p. 108699, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108699>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643819310412>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VIVEK, K.; MISHRA, S.; PRADHAN, R. C. Optimization of Spray Drying Conditions for Developing Nondairy Based Probiotic Sohiong Fruit Powder, **International Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 193-204, 2021. DOI: 10.1080/15538362.2020.1864567. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15538362.2020.1864567>. Acesso em: 10 jul. 2022.

VOBLIKOVA, T. V.; MANNINO, S.; BARYBINA, L. I.; SADOVOY, V. V.; PERMYAKOV, A. V.; IVANOV, V. V.; SELIMOV, M. A. Immobilisation of bifidobacteria in biodegradable food-grade microparticles. **Foods and Raw Materials**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 10–17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-74-83>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334020028_Immobilisation_of_bifidobacteria_in_biodegradable_food-grade_microparticles/fulltext/5d12ea2e299bf1547c7f4680/Immobilisation-of-bifidobacteria-in-biodegradable-food-grade-microparticles.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

WANG, A.; LIN, J.; ZHONG, Q. Spray-coating as a novel strategy to supplement broiler feed pellets with probiotic *Lactobacillus salivarius* NRRL B-30514. **LWT**, [s. l.], v. 137, p. 110419, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110419>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820314079>. Acesso em: 10 jul. 2022.

WANG, B. G.; YAMAGUCHI, T.; NAKAO, S. I. Solvent diffusion in amorphous glassy polymers. **Journal of Polymer Science**, [s. l.], Part B: Polymer Physics, v. 38, n. 6, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0488\(20000315\)38:6<846::AID-POLB5>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0488(20000315)38:6<846::AID-POLB5>3.0.CO;2-B). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-0488%2820000315%2938%3A6%3C846%3A%3AAID-POLB5%3E3.0.CO%3B2-B>. Acesso em: 22 out. 2023.

WANG, J.; XIE, B.; SUN, Z. Quality parameters and bioactive compound bioaccessibility changes in probiotics fermented mango juice using ultraviolet-assisted ultrasonic pre-treatment during cold storage. **LWT**, [s. l.], p. 110438, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110438>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820314262>. Acesso em: 10 jul. 2022.

WANG, L.; RIDGWAY, D.; GU, T.; MOO-YOUNG, M. Bioprocessing strategies to improve heterologous protein production in filamentous fungal fermentations. **Biotechnology Advances**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 115-129, 2005. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.11.001>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975004000953>. Acesso em: 10 jul. 2022.

WANG, Z.; WU, J.; ZHU, L.; ZHAN, X. Characterization of xanthan gum produced from glycerol by a mutant strain *Xanthomonas campestris* CCTCC M2015714. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 157, p. 521-526, 2017. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.10.033. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27987957/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

WEDAJO, B. Lactic Acid Bacteria: Benefits, Selection Criteria and Probiotic Potential in Fermented Food. **Journal of Probiotics & Health**, [s. l.], v. 3, p.129, 2015. DOI: 10.4172/2329-8901.1000129. Disponível em: <https://www.longdom.org/open-access-pdfs/lactic-acid-bacteria-benefits-selection-criteria-and-probiotic-potential-in-fermented-food-2329-8901-1000129.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

WEN, J.; MA, L.; XU, Y.; WU, J.; YU, Y.; PENG, J.; TANG, D.; ZOU, B.; LI, L. Effects of probiotic litchi juice on immunomodulatory function and gut microbiota in mice. **Food Research International**, [s. l.], v. 137, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109433>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920304580>. Acesso em: 10 jul. 2022.

WU, X. D.; LIU, M. -M.; LIANG, X.; HU, N.; HUANG, W. Effects of perioperative supplementation with pro-/synbiotics on clinical outcomes in surgical patients: A meta-analysis with trial sequential analysis of randomized controlled trials. **Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 37, p. 505–515, 2018. DOI: 10.1016/j.clnu.2016.10.015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27836310/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

WU, Y.; PAN, L.; SHANG, Q. H.; MA, X. K.; LONG, S. F.; XU, Y. T.; PIAO, X. S. Effects of isomaltoligosaccharides as potential prebiotics on performance, immune function and gut microbiota in weaned pigs. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 230, p. 126–135, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.05.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840117304595>. Acesso em: 03 jul. 2022.

XAVIER, J. B.; PICIOREANU, C.; ALMEIDA, J. S.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes. **Boletim de Biotecnologia**, [s. l.], v. 76, p. 2–13, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284372304_Monitorizacao_e_modelacao_da_estrutura_de_biofilmes. Acesso em: 10 jul. 2022.

XIAO, Y.; HAN, C.; YANG, H.; LIU, M.; MENG, X.; LIU, B. Layer (whey protein isolate) -by-layer (xanthan gum) microencapsulation enhances survivability of *L. bulgaricus* and *L. paracasei* under simulated gastrointestinal juice and thermal conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 148, p. 238-247, 2020. DOI:

10.1016/j.jff.2012.06.006. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/248392053_Effect_of_whey_protein_-_alginate_wall_systems_on_survival_of_microencapsulated_Lactobacillus_plantarum_in_simulated_gastrointestinal_conditions. Acesso em: 01 jul. 2022.

YAN, W.; JIA, X.; ZHANG, Q.; CHEN, H.; ZHU, Q.; YIN, L. Interpenetrating polymer network hydrogels of soy protein isolate and sugar beet pectin as a potential carrier for probiotics. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 113, p. 106453, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106453>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20328277>. Acesso em: 10 jul. 2022.

YAO, M.; XIE, J.; DU, H.; MCCLEMENTS, D. J.; XIAO, H.; LI, L. Progress in microencapsulation of probiotics: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 19, p. 857–874, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532>.

Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12532>. Acesso em: 05 jul. 2022.

YEUNG, T.W.; ARROYO-MAYA, I.J.; MCCLEMENTS, D.J.; SELA, D.A. Microencapsulation of probiotics in hydrogel particles: Enhancing: *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* LM0230 viability using calcium alginate beads. **Food and Function**, [s. l.], v.7, n.4, p.1797–1804, 2016. DOI: 10.1039/c5fo00801h. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26611443/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

YILMAZ, M. T.; TAYLAN, O.; KARAKAS, C. Y.; DERTLI, E. An alternative way to encapsulate probiotics within electrospun alginate nanofibers as monitored under simulated gastrointestinal conditions and in kefir. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 244, p. 116447, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116447>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720306214>. Acesso em: 10 jul. 2022.

YING, D.; SCHWANDER, S.; WEERAKKODY, R.; SANGUANSRI, L.; GANTENBEIN-DEMARCHI, C.; AUGUSTIN, A. M. Microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG in whey protein and resistant starch matrices: Probiotic survival in fruit juice. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v.5, n.1, p.98-105, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.08.009>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464612001351>. Acesso em: 01 jul. 2022.

YORDSHAHI, A. S.; MORADI, M.; TAJIK, H.; MOLAEI, R. Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopaper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 321, p. 108561, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108561>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160520300556>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZAFAR, M. U.; PING, Q. Consumers' attitude and preferences of functional food: A qualitative case study. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 9–16, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.9219>. Disponível em:

<https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=05529034&AN=139916837&h=5FUSffYFbxO2jOUIRAKO5rOkBJd9hmaDxBpZ2PK9zQH>

bQAmOrY%2b%2fm7bJjrTn6TiSOeJLWtDkETjdAgcHnwPArw%3d%3d&cr=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrINotAuth&crIhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d05529034%26AN%3d13991683. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZANNINI, E.; WATERS, D. M.; COFFEY, A.; ARENDT, E. K. Production, properties, and industrial food application of lactic acid bacteria-derived exopolysaccharides.

Applied Microbiology and Biotechnology, [s. l.], v. 100, n. 3, p. 1121–1135, 2016. DOI: 10.1007/s00253-015-7172-2. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26621802/>. Acesso em: 22 out. 2023.

ZANNINI, E.; WATERS, D. M.; COFFEY, A.; ARENDT, E. K. Production, properties, and industrial food application of lactic acid bacteria-derived exopolysaccharides. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 100, n. 3, p. 1121–1135, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s00253-015-7172-2>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26621802/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZENDEBOODI, F.; KHORSHIDIAN, N.; MORTAZAVIAN, A. M.; CRUZ, A. G. Probiotic: conceptualization from a new approach. **Current Opinion in Food Science**, [s. l.], v. 32, p. 103–123, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221479932030028X>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZENG, J.; SONG, M.; JIA, T.; GAO, H.; ZHANG, R.; JIANG, J. Immunomodulatory influences of sialylated lactuloses in mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [s. l.], v. 514, p. 351–357, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.04.157>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006291X19308083>. Acesso em: 03 jul. 2022.

ZHANG, C.; QUEK, S. Y.; FU, N.; SU, Y.; KILMARTIN, P. A.; CHEN, X. D. Storage stability and in vitro digestion of microencapsulated powder containing fermented noni juice and probiotics. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 37, p. 100740, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100740>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429220310786>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZHANG, L.; CHEN, X. D.; BOOM, R. M.; SCHUTYSER, M. A. I. Survival of encapsulated *Lactobacillus plantarum* during isothermal heating and bread baking. **LWT**, [s. l.], v. 93, p. 396–404, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.03.067. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818302913>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZHANG, L.; LOU, Y.; SCHUTYSER, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. **Food Structure**, [s. l.], v. 18, p. 14–22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213329118300893>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZHANG, L.; ZENG, X.; FU, N.; TANG, X.; SUN, T.; LIN, L. Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. **Food Research International**, [s. l.], v. 106, p. 383–

393, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918300048>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZHAO, M.; WANG, Y.; HUANG, X.; GAENZLE, M.; WU, Z.; NISHINARI, K.; YANG, N.; FANG, Y. Ambient storage of microencapsulated: *Lactobacillus plantarum* ST-III by complex coacervation of type-A gelatin and gum Arabic. **Food and Function**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1000–1008, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1039/c7fo01802a>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/fo/c7fo01802a>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ZUIDAM, N. J.; SHIMONI, E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In **Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing**, Springer New York, p. 3–29, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-1008-0_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-1008-0_2. Acesso em: 10 jul. 2022.

Apêndice 1

Efeito das variáveis independentes sobre a resposta rendimento de processo estudada no DCCR para a mistura SF.

Efeito e desvio padrão para a variável rendimento na mistura SF.

	Fator	Efeito	Erro padrão	t(5)	p
Rendimento (%)	Média	32,65	1,57	20,75	<0,01
	Temperatura (T) (L)	1,33	1,92	0,68	0,52
	Temperatura (T) (Q)	8,62	2,30	3,74	0,01
	Concentração de goma (C) (L)	-0,74	1,92	-0,38	0,71
	Concentração de goma (C) (Q)	7,66	2,30	3,32	0,02
	T x C (L)	0,05	2,72	0,01	0,98

Apêndice 2

Efeito das variáveis independentes sobre a resposta rendimento de processo estudada no DCCR para a mistura SFX.

Efeito e desvio padrão para a variável rendimento na mistura SFX.

	Fator	Efeito	Erro padrão	t(5)	p
Rendimento (%)	Média	28,00	0,97	28,63	<0,01
	Temperatura (T) (L)	4,59	1,20	3,83	0,01
	Temperatura (T) (Q)	-1,91	1,43	-1,33	0,24
	Concentração de goma (C) (L)	3,01	1,20	2,51	0,05
	Concentração de goma (C) (Q)	-9,40	1,43	-6,57	<0,01
	T x C (L)	0,60	1,69	0,35	0,74