

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia de Alimentos

**ESTABILIDADE E VIABILIDADE DE LEVEDURAS  
MICROENCAPSULADAS: REVISÃO**

**Wilson Soares de Jesus**



Wilson Soares de Jesus

**ESTABILIDADE E VIABILIDADE DE LEVEDURAS  
MICROENCAPSULADAS: REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Igor Viana Brandi

Montes Claros

Instituto de Ciências Agrárias - UFMG

2023

## Folha de aprovação

## RESUMO

Este estudo realizou uma revisão abrangente da técnica de microencapsulação de leveduras, uma prática amplamente utilizada na indústria. A estrutura deste trabalho foi dividida em várias seções distintas. Inicialmente, na introdução, destacou-se a importância e os principais benefícios associados à microencapsulação de leveduras. Em seguida, detalhamos a metodologia adotada, que envolveu extensas pesquisas bibliográficas em diversas fontes, com a utilização de palavras-chave específicas para facilitar a busca de artigos, priorizando especialmente as publicações e trabalhos mais recentes. A revisão de literatura foi organizada em tópicos específicos, oferecendo explicações detalhadas dos conceitos fundamentais, definições relevantes e dos fatores que exercem influência sobre o processo de microencapsulação de leveduras, bem como as razões subjacentes à escolha dessa técnica. Este trabalho contribui significativamente para o aprimoramento do entendimento da microencapsulação de leveduras, além de estimular futuras pesquisas voltadas para o aperfeiçoamento da viabilidade e estabilidade das leveduras encapsuladas na indústria, o controle de liberação de substâncias ativas e a proteção delas.

Palavras Chaves: Biotecnologia. Métodos de microencapsulação. Microencapsulação de leveduras. Técnicas de microencapsulamento.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1-** Diagrama esquemático de um equipamento spray dryer.

**Figura 2** – Produção de micropartículas lipídicas no estado sólido por meio do *spray chilling*.

**Figura 3-** Equipamento de leito fluidizado tipo Wurster.

**Figura 4** – Esquema representando o processo de coacervação aplicado na encapsulação de princípios ativos.

## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1** – Alguns dos principais métodos e técnicas de microencapsulação utilizados e tamanhos de partículas obtidos

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO _-----	8
2.	METODOLOGIA-----	
	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	
3.	REFERENCIAL TEÓRICO-----	
	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	
3.1	Introdução a microencapsulação de leveduras-----	
	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	
3.2	Métodos utilizados na microencapsulação de leveduras-----	
	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	
3.3	Seleção de leveduras para microencapsulação-----	23
3.4	Viabilidade e estabilidade de leveduras microencapsuladas-----	25
3.5	Aplicações de leveduras microencapsuladas-----	28
3.5	Perspectivas futuras e principais desafio da microencapsulação de leveduras--	31
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS-----	33
6.	REFERÊNCIAS-----	34

## 1. INTRODUÇÃO

A microencapsulação é uma técnica essencialmente aplicada em diversos setores industriais, que consiste no envolvimento de partículas ou substâncias em uma fina camada protetora, conhecida como cápsula, geralmente em escala microscópica (ALU'DATT *et al.* 2022, MOKHTARI *et al.*, 2017). Essa cápsula desempenha um papel fundamental na preservação do conteúdo encapsulado, protegendo-o contra condições ambientais adversas, tais como umidade, luz, oxigênio, variações de temperatura e pH (ARSLAN *et al.*, 2015). Um exemplo notável de aplicação dessa técnica é a microencapsulação de leveduras (BEIKZADEH *et al.* 2019).

As leveduras são microrganismos unicelulares amplamente utilizados em diversos campos industriais, destacando-se na produção de alimentos, bebidas, produtos farmacêuticos, cosméticos e até mesmo na remediação ambiental (TOZZETO, 2017). No entanto, garantir a estabilidade e a viabilidade desses microrganismos é crucial para suas aplicações eficazes (BASSANIA *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a microencapsulação de leveduras oferece uma solução eficiente. A seleção criteriosa das leveduras, juntamente com a escolha adequada dos materiais de encapsulação, contribuem para aumentar sua resistência e proteção contra fatores ambientais adversos. Isso resulta na melhoria da estabilidade e viabilidade desses microrganismos, permitindo seu uso em uma ampla gama de aplicações industriais (NAMBIAR *et al.*, 2017).

Na indústria de alimentos, as leveduras encapsuladas podem ser usadas na produção de pães, cervejas e queijos, melhorando a qualidade e a eficiência dos processos fermentativos. Na indústria farmacêutica, podem ser empregadas na produção de medicamentos, com liberação controlada de princípios ativos. Em produtos cosméticos, as leveduras encapsuladas podem ser incorporadas a formulações para melhorar a saúde da pele. Além disso, a encapsulação também encontra aplicação em agroquímicos e em processos de remediação ambiental (SAGRILLO *et al.*, 2015).

Perspectivas futuras na microencapsulação de leveduras incluem o aprimoramento contínuo dos métodos de encapsulação, bem como a pesquisa voltada para a otimização da liberação controlada de substâncias ativas. Isso promete abrir novas oportunidades e aplicações em diferentes campos, proporcionando soluções cada vez mais eficazes e inovadoras (CANONICO *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2022; BENNUCI *et al.*, 2022).

Diante disso, os objetivos deste estudo são: (i) realizar uma revisão sistemática da literatura sobre métodos de microencapsulação de leveduras, abordando os materiais de parede utilizados, as técnicas de encapsulação empregadas e as possíveis aplicações das microcápsulas resultantes; (ii) avaliar os efeitos da microencapsulação de leveduras, incluindo a viabilidade celular e estabilidade; (iii) investigar os principais desafios e limitações associados à microencapsulação de leveduras, como a seleção adequada de materiais de parede, a otimização dos processos de encapsulação e a avaliação da eficácia das microcápsulas em diversas condições de armazenamento e aplicação.

## **2. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Para a escrita desta revisão, adotou-se uma metodologia baseada em sistemas de busca científica, com foco nos sites PubMed, Science Direct, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Elsevier e Google Acadêmico. A definição dos critérios de busca foi conduzida a partir da identificação de termos-chave relevantes, tais como "microencapsulação de leveduras", "estabilidade de leveduras encapsuladas" e "viabilidade de leveduras encapsuladas". Os critérios de inclusão foram estabelecidos, abrangendo artigos publicados sobre o tema e de preferencialmente os artigos mais novos, publicados nos últimos 10 anos em inglês e português, e que abordassem estudos realizados em animais e humanos. Após a definição dos critérios, foram realizadas as buscas nos sites selecionados. Os títulos e resumos dos artigos obtidos foram analisados para uma triagem inicial, excluindo-se aqueles que não atendiam aos critérios de inclusão, como artigos antigos e os que não citam diretamente a viabilidade e estabilidade do microencapsulamento de leveduras. Em seguida, procedeu-se à leitura completa dos artigos selecionados, avaliando seu conteúdo em relação aos objetivos desta revisão. Os artigos foram organizados com base nos principais tópicos e subtemas identificados, e foram elaborados anotações e resumos dos pontos-chave de cada artigo, a fim de facilitar a análise e a redação da revisão de literatura.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 INTRODUÇÃO A MICROENCAPSULAÇÃO DE LEVEDURAS**

O microencapsulamento refere-se a um procedimento que envolve a inclusão de uma substância molecular ou iônica no interior de uma camada de outra substância, resultando na formação de partículas com tamanhos que variam de nanômetros a milímetros. O componente encapsulado pode ser designado como o componente principal, substância ativa, conteúdo, componente interno ou carga útil. A substância que envolve o encapsulado pode ser denominada como cobertura, membrana, casca, substância transportadora, material de revestimento, componente externo ou matriz (MOKHTARI *et al.*, 2017).

A microencapsulação é um procedimento em que os materiais bioativos são envoltos por outros materiais de proteção ou suas combinações, sendo amplamente reconhecida como uma opção para reforçar a resistência dos microrganismos. Essa técnica visa preservar os materiais contra condições adversas do ambiente, e investigações têm sido conduzidas em relação à microencapsulação como uma estratégia para conservação durante o armazenamento e processamento de alimentos (ARSLAN *et al.*, 2015).

As microcápsulas apresentam medidas entre 1-1000  $\mu\text{m}$  e podem ser produzidas por diferentes técnicas, conduzindo a formação de estruturas sólidas (geralmente em pó ou grânulos) e líquidas, que incluem emulsões, micelas e lipossomas / vesículas (SAGALOWICZ & LESER, 2010).

A preservação microbiana tem como objetivo preservar a vitalidade de culturas microbianas sem causar modificações em sua estrutura morfológica, fisiologia ou genética, assegurando a estabilidade celular. Os avanços na área da microbiologia têm contribuído para a busca de diversos microrganismos com aplicações na indústria, e para aproveitar ao máximo as capacidades microbianas, é importante que essas culturas estejam prontamente disponíveis, sejam de fácil transporte e mantenham suas características bioquímicas e viabilidade celular intactas (BALSSANIA *et al.*, 2018).

Diversos métodos têm sido criados para conservar culturas microbianas, embora a escolha do método mais adequado para preservar uma cultura microbiana deva ser feita de forma experimental, levando em consideração as particularidades de cada microrganismo. As técnicas mais comuns empregadas na preservação microbiana são a criopreservação e a liofilização, no entanto, vale destacar que esses métodos não são universalmente aplicáveis a todos os microrganismos devido às suas limitações (ALONSO, 2016).

Louis Pasteur é conhecido por conduzir pesquisas que levaram à identificação da levedura como o agente responsável pelo processo de fermentação na produção de cerveja. Seus estudos não só identificaram as leveduras, mas também contribuíram significativamente para o avanço da disciplina da bioquímica (MELO, 2023).

As leveduras são organismos fúngicos, similares aos mofos, mas se destacam por sua predominante forma unicelular. Sua reprodução pode ocorrer de maneira assexuada ou sexuada, tipicamente envolvendo o processo de brotamento celular. Em comparação com os fungos filamentosos as leveduras apresentam uma taxa de crescimento e reprodução mais acelerada. Além disso, são mais eficientes em termos de peso e na realização de transformações químicas. Diferentemente das algas, as leveduras não realizam fotossíntese e não são classificadas como protozoários, uma vez que possuem paredes celulares rígidas. Devido ao seu tamanho relativamente maior e à sua morfologia distinta, as leveduras não se encaixam bem em categorias taxonômicas naturais, e, embora demonstrem certa consistência morfológica, as espécies de leveduras frequentemente apresentam pouca diferenciação devido à falta de critérios morfológicos (MELO, 2023).

Depois de sua descoberta e isolamento no final do século XIX, a levedura passou por uma classificação baseada em sua localização durante o processo de fermentação. Aquelas leveduras que migram para a parte superior do recipiente são referidas como "cepas premium" e são selecionadas para a produção de cervejas *Ale*, *Porter* e *Stout*. Por outro lado, as leveduras que permanecem no fundo do barril, continuando a fermentação até o final do processo, são conhecidas como "fluxo baixo" e são altamente valorizadas por cervejeiros interessados na produção de cervejas do tipo *Lager*. Com o progresso da indústria e avanços na pesquisa científica, ficou claro que ambos os grupos de leveduras, *Ale* e *Lager*, compartilham uma notável interconexão entre si e com diversas espécies de leveduras, como *S. pastor*. e *S. eubayanus*. (KARABIN, 2017).

A indústria está em busca de estratégias para ampliar a produção microbiana, visando reduzir os custos de produção e aumentar a rentabilidade. As características altamente desejáveis nas leveduras incluem a capacidade de fermentar diversos compostos, um elevado nível de eficiência de fermentação, resistência a condições adversas, facilidade de modificação genética e a habilidade de conferir sabores agradáveis e preservar aromas nos produtos. Paralelamente, existe um interesse em aprimorar a capacidade de fermentação de açúcares específicos, como xilose, lactose e maltodextrina, bem como em quantificar a taxa de floculação das leveduras, com o objetivo de reduzir ocorrências de fermentação espontânea (WALKER; WALKER, 2018).

### 3.2 MÉTODOS UTILIZADOS NA MICROENPSULAÇÃO DE LEVEDURAS

Diversos métodos estão disponíveis para a microencapsulação de compostos, conforme apresentado na Tabela 1. Entre esses métodos, incluem-se o Spray Drying, Spray Cooling, Leito Fluidizado, Liofilização, polimerização interfacial, inclusão molecular, coacervação, emulsificação, entre outros. A seleção da técnica apropriada depende de uma série de fatores, tais como o tamanho desejado das partículas, a finalidade de uso, as propriedades físico-químicas do núcleo e do agente encapsulante, o mecanismo de liberação, bem como as considerações relacionadas à escala de produção e aos custos envolvidos (ARENAS-JAL; SUÑÉ-NEGRE; GARCÍA-MONTOYA, 2020).

Os métodos empregados na encapsulação podem ser categorizados em três grupos distintos: métodos físicos, métodos químicos e métodos físico-químicos. As técnicas de natureza física para a formação de micropartículas baseiam-se em alterações físicas, como a dessecação, a geleificação ou o congelamento do material da cobertura. Em contrapartida, os métodos químicos utilizam reações químicas para criar o revestimento em torno do núcleo do agente a ser encapsulado. Por outro lado, os métodos físico-químicos combinam processos tanto físicos quanto químicos para gerar as microcápsulas (ARENAS-JAL; SUÑÉ-NEGRE; GARCÍA-MONTOYA, 2020).

Este estudo abordará algumas das técnicas mais relevantes na área de encapsulação, como indicado na Tabela 1, que apresenta exemplos de métodos de encapsulação, o estado físico do ingrediente e a faixa de tamanho das partículas.

Tabela 2 – Alguns dos principais métodos e técnicas de microencapsulação utilizados e tamanhos de partículas obtidos

Métodos de encapsulação	Estado físico do ingrediente	Tamanho aproximado da partícula (µm)
<b>Métodos físicos</b>		
<i>Extrusão estacionária</i>	Líquido/Sólido/Gás	1.000-6.000
Bocal Submerso	Líquido/Sólido/Gás	700-6.000
Extrusão centrífuga	Líquido/Sólido/Gás	125-3.000
Bocal vibrante	Líquido/Sólido/Gás	500-2.000
<i>Spray Drying</i>	Líquido/Sólido	5-150
Disco rotativo	Líquido/Sólido	5-150

<i>Pan coating</i>	Líquido/Sólido	5-1.000
Suspensão por ar	Sólido	>500
Spray chiling e Spray cooling	Sólido	50-10.000
Leito Fluidizado	Líquido/Sólido	2-200
Co-Cristalização	Sólido	>100
Liofilização	Sólido/Líquido	-
	Líquido	-
<b>Métodos químicos</b>		
	Líquido/Sólido	1-500
Polimerização interfacial		
Polimerização <i>in situ</i>	Líquido/Sólido	1-500
Inclusão Molecular	Líquido	5-50
<b>Métodos físico-químicos</b>		
Coacervação simples	Líquido/Sólido	20-500
Coacervação complexa	Líquido/Sólido	1-500
Lipossomas	Líquido/Sólido	0,02-3
Lipoesferas (solid lipid nanoparticles e nanostructured lipid carriers)	Líquido/Sólido	0,02-10
Evaporação do solvente	Líquido/Sólido	1-5000

---

Fonte: Adaptado de Favaro-Trindade; Pinho; Rocha, (2008).

### 3.2.1 Spray Drying

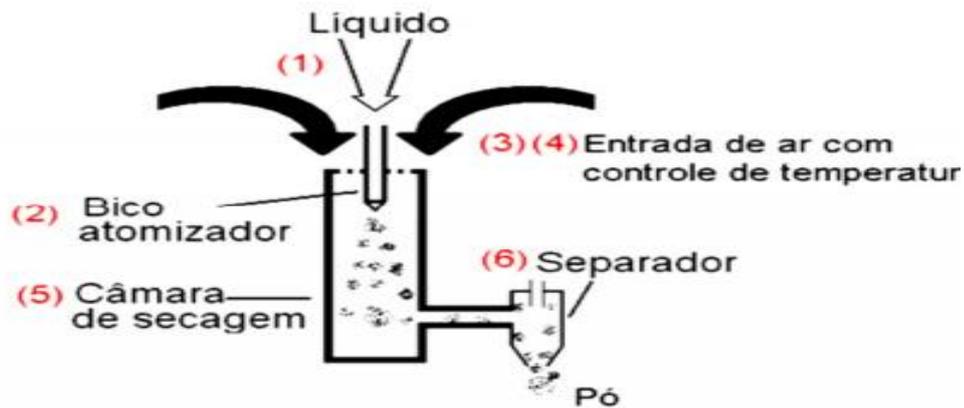
O método mais amplamente empregado para encapsular ingredientes alimentícios é a secagem por atomização, também conhecida como spray drying. Este processo de desidratação mecânica tem sido utilizado na indústria de alimentos desde os anos 1950 (DE

SOUZA SIMÕES *et al.*, 2017). Isso se deve à sua capacidade de proporcionar a obtenção de material encapsulado de maneira relativamente simples, rápida e eficaz, com custos operacionais reduzidos quando empregado em grande escala industrial, tornando-o uma escolha vantajosa em comparação com outros métodos (BAKRY *et al.*, 2015). Além disso, esse método oferece outras vantagens, como a ampla disponibilidade de equipamentos a possibilidade de produção contínua e a facilidade de ajustar as condições operacionais conforme necessário (KOSASIH *et al.*, 2023).

Segundo BALTRUSCH (2022), a técnica de spray drying é comumente aplicada na indústria de alimentos, com a finalidade de reduzir o teor e atividade de água por meio da secagem por atomização, ou spray drying, ela desempenha um papel essencial em diversos aspectos. Além de contribuir para a segurança microbiológica dos produtos alimentícios, esse processo também resulta em benefícios adicionais, como a diminuição dos custos associados ao armazenamento e transporte. Além disso, a secagem por atomização evita riscos relacionados à degradação química e biológica dos ingredientes encapsulados.

Segundo BAKRY *et al.* (2015) a técnica de microencapsulação por spray drying envolve um processo composto por quatro etapas distintas: (i) preparo da dispersão ou emulsão contendo o material ativo, (ii) homogeneização da dispersão, (iii) atomização da dispersão e (iv) desidratação das partículas atomizadas. Neste método, o ingrediente ativo (ou seja, núcleo) é homogeneizado ou misturado em uma solução com o material de parede para formar uma dispersão (uma solução ou suspensão ou emulsão). Esta, por sua vez, é bombeada e atomizada para uma câmara de secagem com taxa de fluxo pré-definida, onde o solvente evapora rapidamente ao passar por uma corrente de ar quente, transformando as partículas no estado líquido em gotículas solidificadas e gerando, assim, a microencapsulação (JAFARI *et al.*, 2023; SPERANZA *et al.*, 2017). Após a evaporação do solvente, por meio de um ciclone, as partículas sólidas secas são separadas e recolhidas na forma de pó. A Figura 1 mostra, de maneira esquemática, o processo de secagem pela técnica de Spray Drying.

Figura 1- Diagrama esquemático de um equipamento spray dryer.



Fonte: Engel et al., (2017).

Embora o processo de secagem por *spray drying* envolva a aplicação de temperaturas elevadas, normalmente variando entre 150 e 220°C, é importante ressaltar que o núcleo do material encapsulado não atinge essas temperaturas devido à rapidez do processo, geralmente permanecendo abaixo de 100°C (ESTEVINHO *et al.*, 2013). Contudo, é relevante observar que o uso de altas temperaturas, pode ser considerado uma desvantagem dessa técnica, uma vez que pode limitar a aplicação de produtos termos sensíveis, como óleos essenciais, vitaminas e microrganismos, devido ao potencial de volatilização e/ou deterioração do produto em resposta às elevadas temperaturas requeridas (NAHUM; DOMB, 2021).

Quando se trata da aplicação em leveduras, de acordo com as descobertas de Timilsena, Haque e Adhikari (2020), muitas cepas probióticas enfrentam desafios de sobrevivência durante o processo de secagem por pulverização. Isso geralmente requer a incorporação de termo protetores para preservar a viabilidade das células durante a secagem e mantê-las estáveis durante o armazenamento. Além disso, existem várias limitações associadas a essa técnica, como a formação de partículas aglomeradas e a presença de partículas não revestidas. A última questão frequentemente está relacionada ao uso de quantidades significativas de material de núcleo (JAMEKHORSHID; SADRAMELI; FARID, 2014).

Outras desvantagens incluem a restrição na escolha de materiais para a casca, uma vez que esses materiais devem possuir solubilidade adequada em água, uma vez que muitos processos na indústria de alimentos são baseados em soluções aquosas (RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016). Além disso, é importante notar que nem todo o calor passando pela câmara de secagem pode ser plenamente aproveitado (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007).

Embora foi listado algumas desvantagens do uso do método *spray drying* em presença de microrganismos, ela foi utilizada com sucesso por Kim *et al.* (2019) para microencapsular um sabor de caramelo em uma bebida láctea contendo café, utilizando maltodextrina e triglicerídeos de cadeia média (TCM) como agentes encapsulantes. A microencapsulação do sabor e sua posterior adição em forma de microcápsulas nas bebidas de café foram eficazes para estender a retenção do sabor e melhorar a qualidade da bebida durante o período de armazenamento.

### 3.2.2 Spray cooling ou Spray chilling

A técnica conhecida como microencapsulação por spray chilling, também referida como spray congealing e spray cooling, guarda notável semelhança com o processo de secagem por pulverização. Enquanto a secagem por pulverização se concentra na transformação de um fluido em partículas secas mediante a rápida evaporação do solvente, o resfriamento por pulverização se baseia na solidificação de um fluido em uma câmara de resfriamento (RATHORE *et al.*, 2013). Em termos simples, a principal distinção entre os dois processos reside na maneira como a energia é manipulada: no spray drying, a energia é aplicada às partículas, promovendo a evaporação do solvente, ao passo que no spray chilling, a energia é extraída das partículas, levando à solidificação das micropartículas (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2021).

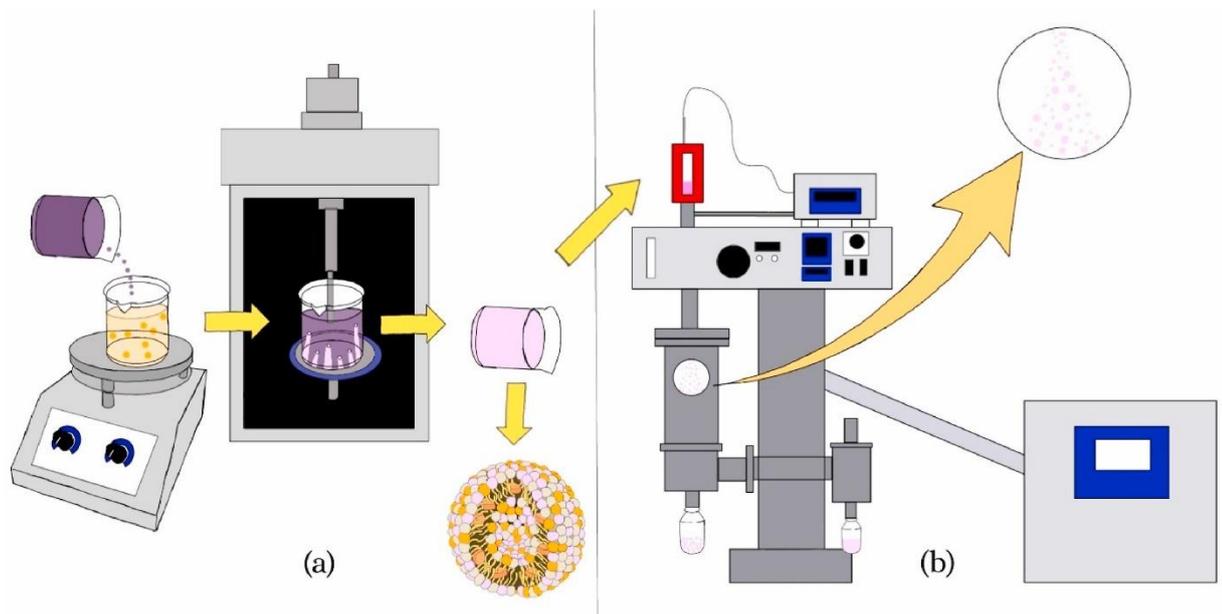
Além disso, a técnica de spray chilling foi desenvolvida para resolver o problema de danos celulares que poderiam ocorrer devido à exposição de células microbianas a altas temperaturas durante o processo de secagem por pulverização (RATHORE *et al.*, 2013).

O processo de microencapsulação por spray chilling compreende três etapas distintas, conforme relatado por FAVARO-TRINDADE *et al.* (2021): Na primeira etapa, inicia-se o processo com a preparação de uma emulsão água em óleo contendo a substância que se deseja encapsular. Nesta fase, o objetivo primordial é incorporar o composto ativo em uma matriz lipídica, que pode ser um lipídio fundido ou uma emulsão água-em-óleo (Figura 2). A

segunda etapa envolve a atomização da emulsão, transformando-a em pequenas gotículas. Isso geralmente é realizado através de um bico atomizador aquecido, mantendo a temperatura adequada para evitar a recristalização dos componentes lipídicos (Figura 2). Na terceira etapa, as gotículas atomizadas entram em contato com um ambiente refrigerado, que pode incluir a injeção de ar frio ou nitrogênio líquido, mantendo uma temperatura inferior ao ponto de fusão do lipídio. Esse contato resulta em uma transferência de calor entre o lipídio e o ar frio, promovendo a solidificação da matriz e, conseqüentemente, a formação de partículas sólidas.

Após a conclusão do processo de resfriamento, as partículas sólidas são coletadas em um recipiente localizado abaixo da câmara de resfriamento. Partículas de tamanho muito reduzido são transportadas pelo ar até um ciclone, onde são separadas e, em seguida, coletadas em outro recipiente (FIGUEIREDO *et al.*, 2022).

Figura 2 – Produção de micropartículas lipídicas no estado sólido por meio do *spray chilling*.



Fonte: (FIGUEIREDO *et al.*, 2022).

A morfologia predominante das partículas geradas por meio desta técnica é a de microesferas, as quais se assemelham a uma matriz de formato esférico. Nestas microesferas, o agente encapsulado é uniformemente disperso por toda a matriz da cápsula (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2021). Devido à base lipídica dessa técnica, que é caracterizada por sua facilidade de atomização, temperatura de fusão moderada e estabilidade nas condições do

processo, os materiais de parede preferenciais são aqueles de natureza hidrofóbica, como ceras, ácidos graxos, óleos, triglicerídeos puros e até mesmo combinações destes materiais. Isso se deve ao fato de que um único material pode não atender a todos os requisitos essenciais. Um exemplo comum são as gorduras totalmente hidrogenadas de origem vegetal, com pontos de fusão variando entre 36 e 75°C (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2021; FIGUEIREDO *et al.*, 2022; NAHUM; DOMB, 2021).

Em comparação com outras metodologias, o processo de resfriamento por pulverização apresenta vantagens notáveis, como economia de tempo e energia (FIGUEIREDO *et al.*, 2022). Além disso, não requer o uso de solventes, o que é ambientalmente vantajoso (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2021; FIGUEIREDO *et al.*, 2022), é um processo simplificado e demonstra alta eficiência na encapsulação de matrizes lipídicas (FIGUEIREDO *et al.*, 2022). Também é destacável o fato de que não exige altas temperaturas (DE MATOS-JR *et al.*, 2017; FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2021), sendo considerado, conforme Gouin (2004), o método menos dispendioso.

No entanto, é importante mencionar que o material a ser encapsulado deve ser capaz de suportar a temperatura necessária para a fusão da matriz lipídica. Além disso, quando misturas altamente viscosas são utilizadas, pode ocorrer obstrução do atomizador, o que pode ser considerado uma limitação do processo (FIGUEIREDO *et al.*, 2022).

Bertoni *et al.* (2018) conduziram um estudo em que obtiveram micropartículas lipídicas sólidas por meio do spray chilling, as quais foram exploradas como uma alternativa para a encapsulação e liberação oral da enzima  $\beta$ -galactosidase (lactase) no intestino delgado. Os resultados indicaram que o uso do spray chilling não resultou em perda ou degradação da enzima e que as micropartículas demonstraram eficaz capacidade de proteção contra fluido gástrico simulado. Os autores destacaram as vantagens dessa técnica, ressaltando principalmente sua simplicidade, viabilidade e facilidade de escalonamento do método de preparação, bem como as propriedades positivas do sistema desenvolvido.

### 3.2.3 Leito Fluidizado

A técnica conhecida como revestimento em leito fluidizado é um processo no qual compostos bioativos são suspensos no ar e um agente encapsulante é pulverizado para criar estruturas de encapsulamento, conforme ilustrado na Figura 3 (DE SOUZA SIMÕES *et al.*,

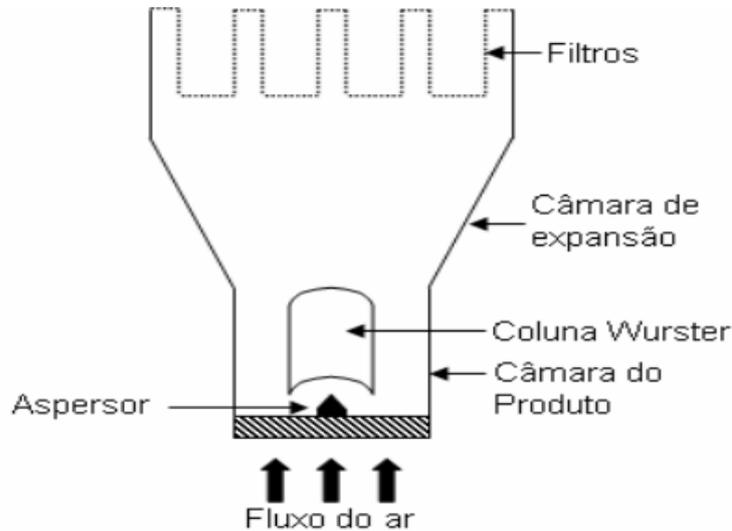
2017; OXLEY, 2014). O termo "fluidização" deriva da semelhança que essa técnica possui com um líquido em ebulição (AZEREDO, 2005).

Geralmente, é empregado como um revestimento secundário em produtos já encapsulados, visando aprimorar sua estabilidade (ALU'DATT *et al.*, 2022).

No processo em questão, em linhas gerais, as partículas do núcleo são mantidas suspensas enquanto o material de revestimento é atomizado e depositado sobre elas na câmara. À medida que as partículas atingem o topo da coluna ascendente, elas são conduzidas em uma coluna de ar descendente, retornando ao leito fluidizado, onde passam pelo processo de revestimento, secagem e endurecimento. Esse ciclo de revestimento, no qual as partículas atravessam repetidamente de maneira aleatória, garante a formação de uma camada de revestimento mais uniforme. Isso ocorre devido à turbulência criada pela coluna de ar no leito fluidizado, mantendo as partículas suspensas, permitindo que girem e garantindo que sejam totalmente revestidas. Consequentemente, essa técnica resulta na produção de micropartículas, conhecidas como microcápsulas, em contraste com técnicas como spray-drying e spray cooling, que produzem microesferas (AZEREDO, 2005).

Na técnica conhecida como pulverização de fundo, também chamada de "revestimento de Wurster" (Figura 3) em homenagem ao seu desenvolvedor, utiliza-se uma câmara de revestimento equipada com um bocal cilíndrico e uma placa de fundo perfurada. No bocal cilíndrico, é aplicado o material de revestimento. À medida que as partículas ascendem através da placa de fundo perfurada e atravessam a área do bocal, ocorre o processo de encapsulação, no qual o material de revestimento se adere à superfície das partículas à medida que o solvente presente evapora. Esse ciclo é repetido até que as características desejadas sejam alcançadas. Essa abordagem oferece um maior controle sobre as variáveis do processo e resulta na produção de partículas com menos defeitos (DEWETTINCK; HUYGHEBAERT, 1999; GHOSH, 2006).

Figura 3- Equipamento de leito fluidizado tipo Wurster.



Fonte: Petrovic, Petrovic e Bassani, (2006).

No método de pulverização tangencial, também conhecido como "revestimento de disco rotativo," emprega-se uma câmara de revestimento equipada com um disco rotativo de diâmetro equivalente ao da câmara na parte inferior. Ao longo do processo, o disco é elevado, criando um espaço entre a borda da câmara e o próprio disco. Um bico tangencial é posicionado acima do disco rotativo, por meio do qual o material de revestimento é liberado. O disco rotativo fornece uma força centrífuga que direciona o produto em direção à parede da câmara, enquanto a injeção de ar impulsiona as partículas através da lacuna em direção à zona de pulverização, onde ocorre a encapsulação. Devido à curta distância que as partículas percorrem, esse processo resulta em um rendimento superior na encapsulação das partículas (DEWETTINCK; HUYGHEBAERT, 1999; GHOSH, 2006). Gouin (2004) destaca que o revestimento fluidizado tangencial representa uma melhoria em relação às técnicas de topo-spray e revestimento de Wurster. As últimas dependem da força da gravidade para mover as partículas em um fluxo ascendente de ar, mas, em partículas muito pequenas, forças como a eletrostática podem afetar o movimento das partículas, impedindo uma fluidização eficaz. A combinação das três forças aplicadas na fluidização tangencial (disco rotativo perfurado, força tangencial do bico atomizador e injeção de ar) minimiza esse problema.

Embora cada uma dessas três abordagens tenha suas próprias vantagens e desvantagens, as técnicas de topo-spray e spray tangencial geralmente são utilizadas para granulação, enquanto o revestimento de Wurster é empregado para revestimento (ALU'DATT *et al.*, 2022). Além disso, o revestimento superior é amplamente considerado a abordagem

mais viável para aplicações industriais, tanto em termos técnicos quanto econômicos, sendo a preferência na indústria de alimentos devido ao menor custo de produção e à necessidade de uma configuração menos complexa (DEWETTINCK; HUYGHEBAERT, 1999). Conforme Gouin (2004), o leite fluidizado é uma das poucas tecnologias avançadas capazes de revestir partículas com praticamente qualquer tipo de material encapsulante (polissacarídeos, gorduras, proteínas, emulsificantes etc.), oferecendo uma maior versatilidade nas possibilidades de liberação controlada em comparação com outras técnicas. Entre as vantagens desse método estão uma projeção de distribuição de tamanho de partículas precisa e baixa porosidade (MADENE *et al.*, 2006), economia eficiente de energia e tempo, especialmente devido à ausência da necessidade de altas temperaturas, e a possibilidade de automação após a otimização dos parâmetros operacionais. No entanto, algumas limitações incluem o custo relativamente elevado e os padrões de fluxo não uniformes, que podem resultar em um revestimento irregular (ALU'DATT *et al.*, 2022).

Schell e Beermann (2014) conduziram um estudo no qual utilizaram o método de leite fluidizado (top-spray) para microencapsular o *Lactobacillus reuteri* com soro de leite doce e goma-laca, com o objetivo de melhorar a resistência à acidez e a sobrevivência gastrointestinal *in vitro*. Os resultados revelaram uma taxa satisfatória de sobrevivência bacteriana após o processo de secagem e durante o armazenamento, sendo que o revestimento de goma-laca proporcionou resistência às condições ácidas durante o trânsito gastrointestinal.

#### 3.2.4 Coacervação

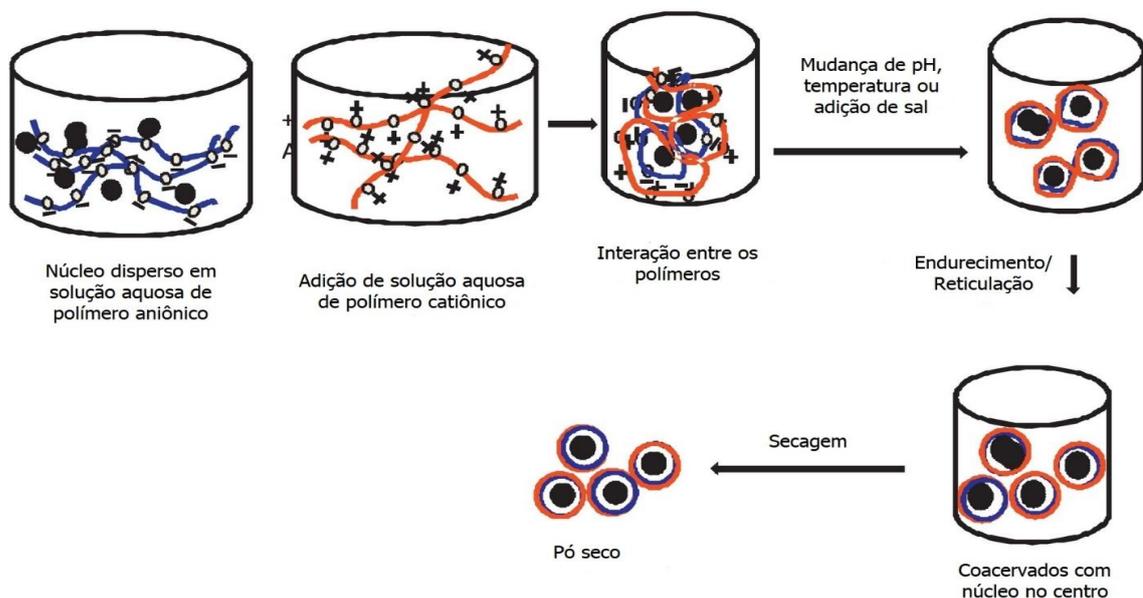
A técnica conhecida como coacervação refere-se à separação de fases induzida por variações em fatores ambientais, tais como força iônica, pH e temperatura. Nesse método, a fase que contém uma grande quantidade de coloide é denominada fase coacervada, enquanto a fase com quantidades menores de coloide é chamada fase de equilíbrio (TIMILSENA *et al.*, 2019).

Existem dois tipos de coacervação: a coacervação simples e a coacervação complexa. O processo de formação de microcápsulas é semelhante em ambos os métodos, com exceção do mecanismo de separação de fases utilizado. Na coacervação simples, que envolve apenas um polímero, um agente de dessolvatação, também conhecido como agente de coacervação ou agente indutor, é adicionado para induzir a separação das fases. Já na coacervação complexa, ocorre a interação entre dois ou mais polímeros com cargas opostas (TIMILSENA *et al.*, 2019).

A coacervação foi primeiramente sistematicamente abordada por Bungenberg e Kruyt no início do século XX, tornando-se o primeiro processo adequado para a produção em escala industrial de microcápsulas. Eles cunharam o termo "coacervação" para descrever o fenômeno de associação entre dois reagentes, com "acervus" do latim significando "pilha" e "co" indicando a união entre eles (TIMILSENA *et al.*, 2019).

O processo de coacervação complexa envolve várias etapas, que incluem: (i) preparação de uma dispersão ou emulsão, (ii) encapsulamento do núcleo e (iii) estabilização da partícula encapsulada. Inicialmente, o material do núcleo é disperso em uma solução polimérica, como um polímero catiônico em meio aquoso. Em seguida, é adicionada uma solução contendo o segundo polímero (aniônico e solúvel em água) à dispersão previamente preparada. O revestimento do material de parede em torno do núcleo ocorre quando os dois polímeros formam um complexo, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema representando o processo de coacervação aplicado na encapsulação de princípios ativos.



Fonte: Adaptado de [Timilsena \*et al.\*, \(2019\)](#).

De acordo com Ferreira, Nicoletti e Dragosavac (2023), a técnica de coacervação complexa é o resultado da interação eletrostática entre polímeros de cargas opostas, ou seja, um polímero catiônico e um polímero aniônico. Esses polímeros formam complexos que tendem a precipitar devido à repulsão do solvente. Conforme mencionado por Timilsena *et al.*

(2019), o processo se inicia quando ocorre uma mudança no pH, uma diminuição na temperatura ou a adição de sal, que atua como agente de coacervação. Em seguida, a solução reagente se torna turva devido à formação de partículas coacervadas extremamente pequenas. À medida que o processo avança, essas micropartículas se juntam para formar partículas maiores, que, devido à sua maior densidade, tendem a precipitar e se depositar no fundo do recipiente.

A coacervação complexa é empregada para criar microcápsulas que contêm diversos materiais de núcleo, como óleos perfumados, cristais líquidos, aromatizantes, corantes e tintas (GHOSH, 2006). Geralmente, esse método resulta na produção de microcápsulas com revestimento uniforme, podendo ser mono ou multinucleadas (TIMILSENA *et al.*, 2019). Uma das principais vantagens desse processo é sua eficácia no encapsulamento de fármacos hidrossolúveis, proporcionando altos rendimentos (SILVA *et al.*, 2003). Além disso, ele permite um controle eficaz do tamanho das partículas (CARVALHO; ESTEVINHO; SANTOS, 2016).

No entanto, a coacervação complexa requer um rigoroso controle das condições experimentais. Problemas comuns incluem a aglomeração excessiva de micropartículas, bem como custos elevados associados à reciclagem de solventes não utilizados e à eliminação de solventes residuais quando a manipulação ocorre em meios não-aquosos. Em certos casos, a estabilização das micropartículas exige o uso de agentes de reticulação, ajustes extremos de pH ou temperaturas elevadas, o que pode limitar o encapsulamento de substâncias como polipeptídeos e proteínas (SILVA *et al.*, 2003). Segundo Goin (2004), as principais limitações dessa técnica na indústria alimentícia estão relacionadas ao alto custo e à complexidade do processo.

Oliveira *et al.* (2022) microencapsularam extrato de folha de oliveira (*Olea europaea* L) em gelatina e goma tragacanto como materiais de parede por meio da coacervação complexa, visando sua aplicação em hambúrgueres de carne ovina. O extrato encapsulado foi aplicado em hambúrgueres de carne ovina com o objetivo de reduzir a degradação oxidativa deste produto. Foi demonstrado que as partículas com gelatina e gelatina/tragacanto tiveram maior capacidade de reduzir as reações oxidativas quando comparadas às partículas com tragacanto, pois proporcionaram os maiores percentuais de liberação de compostos fenólicos nos dois primeiros meses de armazenamento. Além disso, considerando a atividade antioxidante observada ao final do período de armazenamento, essas partículas poderiam substituir o aditivo artificial eritorbato de sódio, demonstrando potencial para aplicação em produtos à base de carne bovina visando reduzir a oxidação lipídica, além, também, da

possibilidade da utilização de antioxidantes naturais em substituição aos artificiais desses produtos.

### 3.3 SELEÇÃO DE LEVEDURAS PARA MICROENCAPSULAÇÃO

#### 3.3.1 Principais leveduras utilizadas na microencapsulação

Existem vários tipos de leveduras que são frequentemente empregadas na microencapsulação, cada uma com suas características específicas e benefícios (NUÑEZ *et al.*, 2023; DOS SANTOS *et al.*, 2023; SANTOS e MACHADO, 2020). Algumas das leveduras mais comuns utilizadas nesse processo são:

*Saccharomyces cerevisiae*: Esta é uma das leveduras mais estudadas e amplamente utilizadas. Ela é conhecida por sua capacidade de produzir metabólitos benéficos, como vitaminas e enzimas. Além disso, sua parede celular rica em polissacarídeos pode fornecer propriedades de proteção e liberação controlada aos compostos encapsulados (PARAPOULI *et al.*, 2020)

*Kluyveromyces spp.*: Essas leveduras são valorizadas por sua capacidade de crescer em meio de cultivo simples e pelo seu metabolismo versátil. Isso permite que elas produzam uma variedade de metabólitos que podem ser benéficos para os ingredientes encapsulados, como compostos antioxidantes e prebióticos (RIVERA FLORES *et al.*, 2021).

*Yarrowia lipolytica*: Essa levedura é conhecida por sua habilidade de metabolizar lipídios e produzir lipases, enzimas que podem ser úteis em diversas aplicações. Na microencapsulação, a *Yarrowia lipolytica* pode ser utilizada para encapsular compostos lipofílicos, oferecendo proteção contra a oxidação e melhorando a estabilidade dos produtos encapsulados (WANG *et al.*, 2020).

#### 3.3.2 Seleção de leveduras

As leveduras encapsuladas são escolhidas com base em uma série de características desejáveis que variam conforme a aplicação pretendida. Essas características influenciam a eficácia e a qualidade do produto. Em geral, busca-se que as leveduras encapsuladas mantenham sua capacidade de vida e sobrevivência durante o processo de encapsulamento e ao longo do armazenamento, especialmente quando são usadas para

fornecer benefícios funcionais ou probióticos. A estabilidade é outra característica importante (MARTINS *et al.*, 2022; BALSSANIA *et al.*, 2018).

As leveduras encapsuladas devem resistir a fatores ambientais adversos, como temperatura, umidade e luz, para garantir sua eficácia durante o armazenamento prolongado. Quando as leveduras encapsulam substâncias ativas, como enzimas ou compostos bioativos, é fundamental que as cápsulas ofereçam proteção dos componentes encapsulados contra degradação ou interações indesejadas. Além disso, as leveduras encapsuladas devem ser compatíveis com as matrizes e substratos onde serão inseridas, sem afetar negativamente as propriedades do sistema em que estão presentes (BALSSANIA *et al.*, 2018).

Em algumas aplicações, é relevante que as leveduras liberem gradualmente suas cargas ativas ao longo do tempo, garantindo liberação controlada para aplicações de benefícios sustentados. A capacidade de adesão pode ser importante em produtos de cuidados pessoais ou agrícolas, onde as leveduras encapsuladas precisam aderir a superfícies específicas de forma eficaz. Segurança é um critério fundamental. As leveduras encapsuladas devem ser seguras e não tóxicas, não representando riscos para a saúde humana, animal ou o meio ambiente (DOS SANTOS *et al.*, 2023).

Para aplicações industriais, a facilidade de processamento é uma consideração chave, incluindo a escalabilidade do processo de encapsulação e possíveis custos associados. Em determinados casos, a interatividade das leveduras encapsuladas com o ambiente é importante, seja aderindo à superfícies específicas ou interagindo com outros microrganismos. E, por vezes, as leveduras encapsuladas são empregadas para reduzir o odor ou sabor indesejado de produtos, contribuindo para uma experiência mais agradável (NUÑEZ *et al.*, 2023; PARAMERA, 2011; NAMBIAR *et al.*, 2017).

### **3.4 ESTABILIDADE E VIABILIDADE DAS LEVEDURAS ENCAPSULADAS**

#### **3.4.1 Fatores que afetam a estabilidade e a viabilidade das leveduras encapsuladas.**

A estabilidade e a viabilidade das leveduras encapsuladas podem ser afetadas por uma série de fatores. É importante considerar esses fatores ao projetar sistemas de encapsulamento e ao armazenar ou aplicar as leveduras encapsuladas (BALSSANIA *et al.*, 2018). Alguns dos principais fatores que influenciam a estabilidade e a viabilidade segundo os autores MARTINS *et al.*, 2022; BALSSANIA *et al.*, 2018; NAMBIAR *et al.*, 2017, PARAMERA, 2011; DOS SANTOS *et al.*, 2023, AZEREDO, 2005) Incluem:

**Composição da matriz encapsulante:** O tipo de material usado para encapsular as leveduras desempenha um papel fundamental na estabilidade. Materiais diferentes têm diferentes propriedades de retenção de água, permeabilidade a nutrientes e oxigênio, entre outros. A escolha adequada da matriz é crucial.

**Tamanho e espessura da cápsula:** O tamanho das cápsulas e a espessura das paredes podem afetar a proteção das leveduras encapsuladas. Paredes muito finas podem não fornecer proteção adequada contra condições adversas, enquanto paredes muito espessas podem dificultar a liberação de nutrientes e produtos metabólicos.

**Processo de encapsulamento:** As condições durante o processo de encapsulamento, como a taxa de fluxo de gotas, a concentração da matriz, a temperatura e o método de gelificação, podem influenciar a uniformidade da encapsulação e a integridade celular.

**Estresse mecânico:** Agitação ou mistura vigorosa durante o processo de encapsulamento pode causar danos mecânicos às células de levedura encapsuladas, reduzindo sua viabilidade. **Estresse osmótico:** Mudanças bruscas na pressão osmótica, devido às diferenças entre a matriz encapsulante e o meio externo, podem afetar a integridade da membrana celular das leveduras, causando desidratação ou ruptura celular.

**Condições de armazenamento:** Temperaturas elevadas durante o processo de encapsulamento ou armazenamento inadequado podem danificar as células de levedura encapsuladas. Umidade: A umidade é crítica, pois a presença de água em excesso pode levar à proliferação de microrganismos indesejados ou à degradação da matriz encapsulante. pH: A variação do pH pode afetar a viabilidade das leveduras encapsuladas, especialmente se o sistema for sensível a mudanças ácidas ou alcalinas. Exposição a oxigênio: Leveduras encapsuladas são frequentemente sensíveis à exposição ao oxigênio, que pode causar oxidação de compostos intracelulares e reduzir a viabilidade. Armazenamento e condições ambientais: A temperatura, umidade e luz durante o armazenamento afetam a estabilidade das leveduras encapsuladas. Armazenar a temperaturas inadequadas ou em condições de alta umidade pode levar à deterioração das cápsulas.

**Tipo de levedura e cepa:** As características intrínsecas da levedura, como resistência ao estresse, taxa de crescimento e metabolismo, podem variar entre diferentes cepas de leveduras, influenciando sua viabilidade em sistemas encapsulados.

**Atividade metabólica e nutrição:** A disponibilidade de nutrientes no ambiente das cápsulas e a atividade metabólica das leveduras encapsuladas também afetam sua viabilidade. Interação com o ambiente de aplicação, a interação das leveduras encapsuladas com o

ambiente de aplicação, como alimentos, solo ou produtos químicos, também pode afetar sua viabilidade e estabilidade

A compreensão e o controle desses fatores são essenciais para otimizar a estabilidade e a viabilidade das leveduras encapsuladas em aplicações específicas. Cada aplicação pode exigir considerações e estratégias específicas para lidar com esses desafios.

### **3.4.2 Métodos de avaliação da estabilidade e da viabilidade das leveduras encapsuladas**

A avaliação da estabilidade e viabilidade de leveduras encapsuladas é fundamental em várias aplicações, como na indústria de alimentos, na produção de biofertilizantes, na fermentação industrial, entre outras (MARTINS *et al.*, 2022). Existem vários métodos para avaliar a estabilidade e a viabilidade das leveduras encapsuladas. Aqui estão alguns dos métodos mais comuns:

#### **3.4.2.1 Contagem de células viáveis (CFU - Colony Forming Units):**

Este é um método direto que envolve a contagem das células de levedura que são capazes de se reproduzir e formar colônias em um meio de cultura apropriado. As leveduras encapsuladas são liberadas da matriz encapsulante e cultivadas em um meio seletivo. A contagem das colônias formadas fornece uma estimativa da viabilidade das células (STOLZE *et al.*, 2019).

#### **3.4.2.2 Viabilidade corada por corantes fluorescentes:**

Neste método, as células de levedura encapsuladas são coradas com corantes fluorescentes, como o verde de acetoximetilo (FDA) ou o propídio iodeto (PI). As células vivas são capazes de converter o FDA em uma substância fluorescente, enquanto as células mortas absorvem o PI. A viabilidade é então avaliada sob um microscópio de fluorescência (SAMPAIO *et al.*, 2019).

#### **3.4.2.3 Teste de exclusão de corante vital:**

Este método utiliza corantes vitais, como o azul de tripano, que penetram nas células mortas devido à permeabilidade da membrana comprometida. As células mortas ficam

coradas, enquanto as células viáveis permanecem incolores. A viabilidade pode ser determinada através da contagem das células coradas e incolores (MENDES *et al.*, 2023).

#### **3.4.2.4 Medição da taxa de liberação de metabólitos:**

A estabilidade das leveduras encapsuladas também pode ser avaliada medindo a taxa de liberação de metabólitos, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ou compostos orgânicos, a partir das cápsulas encapsuladas. Uma maior taxa de liberação pode indicar uma diminuição na integridade da cápsula e, portanto, uma possível perda de viabilidade (SILVA, 2019).

#### **3.4.2.5 Análise de morfologia celular:**

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) ou microscopia de fluorescência pode ser usada para examinar a morfologia das células de levedura encapsuladas. Mudanças na forma, integridade da membrana e estrutura celular podem fornecer informações sobre a viabilidade das células (SELVENCA *et al.*, 2020).

#### **3.4.2.6 Análise de perfil metabólico:**

A análise do perfil metabólico das leveduras encapsuladas pode ser realizada usando técnicas como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) ou espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN). Alterações nos metabólitos produzidos pelas células podem indicar a viabilidade e a atividade metabólica (ALVES, 2023).

É importante destacar que a escolha do método de avaliação depende do contexto e das informações específicas que se deseja obter sobre as leveduras encapsuladas. Geralmente, uma combinação de métodos é usada para obter uma imagem mais completa da estabilidade e viabilidade das células.

### **3.5 APLICAÇÕES DA MICROENCAPSULAÇÃO DE LEVEDURAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Atualmente, a microencapsulação é amplamente recomendada no setor de alimentos devido aos muitos benefícios que oferece. Esses benefícios incluem melhoramento da estabilidade térmica, proteção de compostos bioativos, liberação controlada de substâncias,

preservação de compostos voláteis, neutralização de odores indesejados e aprimoramento da textura e do sabor. Além disso, a técnica possibilita a conversão de substâncias líquidas em formas sólidas, facilitando seu transporte, manipulação e incorporação em formulações (VANISKI *et al.*, 2017, PARAMERA, 2011).

### 3.5.1 Setor de panificação

Cozmuta *et al.* (2021) conduziram um estudo sobre a “Imobilização de fermento de padeiro em hidrogéis à base de alginato para conferir características sensoriais à massa de pão congelada”. O objetivo deste estudo foi melhorar as características sensoriais do pão de massa congelada, substituindo as células livres de fermento por cálcio. Células de levedura de alginato (CAY) ou hidrogéis de células de levedura de amido de alginato de cálcio (CASY). Ao imobilizar o fermento de padeiro nos hidrogéis de alginato, os pesquisadores visaram otimizar a atividade do fermento durante a produção de pão congelado. A análise das características sensoriais da massa de pão revelou mudanças significativas em termos de textura, aroma e sabor. A liberação gradual de compostos pelo fermento imobilizado durante a fermentação proporcionou uma experiência sensorial mais rica e aprimorada em comparação com o processo convencional de fermentação. Esse estudo contribuiu para a busca contínua por métodos inovadores na indústria de panificação, visando melhorar a qualidade do pão produzido. A imobilização do fermento em hidrogéis de alginato representa um passo promissor para aprimorar as características sensoriais da massa de pão congelada, oferecendo aos consumidores produtos de panificação com perfis sensoriais mais agradáveis e distintos.

Beikzadeh *et al.* (2019), realizaram um estudo sobre a proteção do óleo de linhaça, rico em ácidos graxos ômega-3, contra a oxidação. Os autores utilizaram as matrizes de encapsulação de células de levedura *Saccharomyces cerevisiae* e  $\beta$ -glucano, com o objetivo de preservar a qualidade do óleo. Os testes foram realizados em pães, com análise das propriedades reológicas, cor e características sensoriais. A encapsulação teve um impacto notável nas propriedades reológicas da massa, tornando-a mais consistente e densa. Notou-se que pães contendo óleo encapsulado em células de levedura apresentaram menor índice de peróxido, indicando uma proteção eficaz contra oxidação. Além disso, o teor de ácido  $\alpha$ -linolênico foi maior nessas amostras, evidenciando proteção dos ácidos graxos insaturados. No aspecto sensorial, a incorporação de óleo encapsulado manteve as qualidades semelhantes às amostras de controle, sugerindo que a encapsulação não afetou negativamente sabor, aroma

ou textura. Esse método promissor oferece uma estratégia viável para melhorar a estabilidade e a qualidade nutricional de alimentos enriquecidos com ácidos graxos ômega-3.

### 3.5.2 Setor de bebidas

O estudo conduzido por Benucci *et al.* (2021) apresenta avanços promissores no campo da fermentação primária de cerveja. Ao explorar a utilização de uma levedura microencapsulada, os pesquisadores investigaram seu comportamento cinético, a formação de compostos voláteis e o perfil sensorial resultante. A microencapsulação das células de levedura mostrou-se eficaz em proporcionar uma fermentação controlada, contribuindo para a produção de álcool e dióxido de carbono de maneira gradual e eficiente. Além disso, os compostos voláteis gerados durante a fermentação enriqueceram o perfil sensorial da cerveja. As avaliações sensoriais realizadas demonstraram que a levedura microencapsulada não apenas influenciou os aspectos químicos da cerveja, mas também conferiu características sensoriais distintas. Esses achados realçam a importância do estudo na busca por métodos inovadores que elevem a qualidade e a experiência sensorial da cerveja durante a fermentação primária (BENUCCI *et al.*, 2021).

Martins *et al.* (2022) utilizaram o método de microencapsulação de leveduras epifíticas de café por spray drying usando diferentes materiais de parede. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de parâmetros operacionais no processo de secagem utilizando diferentes materiais de parede para obtenção de leveduras microencapsuladas. No estudo, os autores utilizaram leveduras previamente isoladas de frutos de café (*Saccharomyces cerevisiae* CCMA 0543 e *Torulaspora delbrueckii* CCMA 0684). Os resultados indicaram que houve algumas diferenças na fermentação do meio casca e polpa de café, mas as leveduras microencapsuladas mantiveram suas características biotecnológicas. Portanto, a microencapsulação de leveduras epifíticas do café por spray drying mostrou-se promissora para ser utilizada no processo de fermentação do café.

Canonico *et al.* (2021) avaliaram leveduras não convencionais com potencial probiótico para produção de cerveja artesanal fortificada com proteína. Os resultados destacam a possibilidade de produzir uma cerveja artesanal que não apenas mantenha suas qualidades sensoriais e de sabor, mas também ofereça benefícios nutricionais e probióticos adicionais. A pesquisa contribui para a compreensão de como a cerveja artesanal pode ser explorada como um meio de entrega de probióticos e nutrientes, expandindo as possibilidades de produtos funcionais e saudáveis.

### 3.6 PERSPECTIVAS FUTURAS E DESAFIOS NA MICROENCAPSULAÇÃO DE LEVEDURAS

A microencapsulação de leveduras emerge como uma promissora área de pesquisa com aplicações diversificadas e oportunidades notáveis. No entanto, à medida que avançamos para o futuro, é essencial enfrentar desafios significativos para garantir o sucesso dessa tecnologia inovadora (NUÑEZ *et al.*, 2023; DOS SANTOS *et al.*, 2023; SANTOS e MACHADO, 2020).

Em termos de perspectivas futuras, a microencapsulação de leveduras oferece uma janela para produtos funcionais avançados. A capacidade de fornecer entrega controlada de compostos bioativos e melhorar a sobrevivência microbiana pode impulsionar a criação de alimentos mais saudáveis e eficazes. Além disso, a possibilidade de incorporar leveduras encapsuladas probióticas em alimentos pode revolucionar a alimentação probiótica, aumentando a viabilidade e a atividade das culturas benéficas no trato gastrointestinal. Além disso, a microencapsulação pode ter um impacto na biotecnologia industrial, otimizando processos como fermentação e produção de compostos industriais (CANONICO *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2022; BENNUCI *et al.*, 2022).

#### 3.6.1 Avanços recentes na área de microencapsulação de leveduras

Nos últimos tempos, os avanços na área de microencapsulação de leveduras têm sido notáveis, trazendo consigo valiosos insights para melhorar a estabilidade, viabilidade e eficácia desses sistemas encapsulados. Essas inovações são aplicáveis em diversos campos, desde a indústria alimentícia até a biotecnologia, e têm se desenvolvido de maneiras intrigantes (PARAMERA *et al.*, 2011 ; NAMBIAR *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2022).

Uma das principais linhas de avanço se concentra na criação de materiais de revestimento mais eficientes (SANTOS e MACHADO, 2020). A busca por polissacarídeos, proteínas e lipídios modificados tem gerado revestimentos mais robustos, capazes de proteger as leveduras encapsuladas de forma mais eficaz. Esse desenvolvimento contribui para melhorar a estabilidade, além de possibilitar uma liberação controlada e direcionada de compostos ativos.

Outra área de destaque é a evolução das tecnologias de encapsulamento. Técnicas como a eletro-hidrodinâmica, coacervação complexa e extrusão têm passado por otimizações

para permitir um controle mais preciso do tamanho, forma e distribuição das partículas encapsuladas. Isso resulta em maior uniformidade e eficiência no processo de encapsulamento (TILMISENA *et al.*, 2019; ZIXUAN *et al.*, 2022).

Além disso, a microencapsulação de leveduras tem se mostrado uma abordagem promissora para a liberação controlada de compostos bioativos. Enzimas, probióticos e outros compostos funcionais podem ser encapsulados visando a entrega direcionada a locais específicos no organismo ou a liberação gradual para maximizar sua eficácia (DOS SANTOS *et al.*, 2023).

A sobrevivência das leveduras durante o processamento também tem sido aprimorada. A otimização das condições de encapsulamento, como temperatura, umidade e pressão, é crucial para garantir a viabilidade das células durante o processo e o armazenamento subsequente (MARTINS *et al.*, 2022).

A busca por métodos mais sustentáveis também tem sido uma vertente importante. Novas abordagens estão sendo desenvolvidas para reduzir o uso de solventes químicos e minimizar a geração de resíduos, tornando a produção de produtos encapsulados de levedura mais ecologicamente viável (KOWSALYA *et al.*, 2023; KUMARI *et al.*, 2023).

### **3.6.2 Possíveis direções futuras de pesquisa**

No horizonte das pesquisas relacionadas à microencapsulação de leveduras, surgem direções promissoras que podem redefinir o futuro dessa tecnologia. A exploração de novos materiais de encapsulação desponta como um campo fértil, onde a busca por substâncias biocompatíveis, biodegradáveis e com propriedades específicas de liberação pode revolucionar a eficácia do processo (MA ZHUANG *et al.*, 2020).

A bioengenharia das leveduras surge como uma abordagem intrigante, envolvendo a manipulação genética para aumentar a resistência das leveduras às condições adversas, melhorando a viabilidade após a encapsulação. A análise das interações complexas entre a microencapsulação e os processos fermentativos das leveduras também desponta como um terreno fértil de pesquisa, com implicações significativas na produção e qualidade dos produtos (NUÑEZ *et al.*, 2023).

Além disso, a pesquisa voltada para aplicações específicas, como alimentos probióticos e sistemas de liberação controlada de medicamentos, oferece promessas de inovações concretas. Avaliar o impacto ambiental das tecnologias de microencapsulação surge como uma necessidade crescente para garantir a sustentabilidade da indústria. A

abordagem multidisciplinar, integrando áreas como nanotecnologia e engenharia de alimentos, promete soluções mais completas para os desafios futuros (ARBULU *et al.*, 2023).

Em síntese, as possíveis direções futuras na microencapsulação de leveduras oferecem um cenário emocionante para o avanço da ciência, com a perspectiva de aprimorar a eficácia, a aplicabilidade e a sustentabilidade dessa tecnologia.

### 3.6.3 Obstáculos e desafios a serem enfrentados

No entanto, à medida que avançamos nesse campo, não podemos ignorar os vários obstáculos e desafios que se apresentam. A **viabilidade microbiana pós-encapsulação** é uma preocupação fundamental, visto que a sobrevivência das leveduras encapsuladas em ambientes desafiadores é essencial para o sucesso do processo. A **seleção criteriosa dos materiais de encapsulação** é crucial para garantir a estabilidade, viabilidade e liberação controlada das leveduras encapsuladas. Alcançar um **tamanho de partícula uniforme** e a capacidade de escalabilidade é um desafio real na produção em larga escala. A **segurança e a regulamentação** são pontos críticos, especialmente considerando que produtos encapsulados destinados ao consumo humano exigem rigorosa avaliação de segurança e eficácia. Além disso, os **custos de produção** e a relação custo-benefício devem ser analisados cuidadosamente para garantir a viabilidade comercial. A compreensão das **interações entre a matriz de encapsulação e as leveduras** é fundamental para preservar a atividade e as propriedades desejadas. A busca por **soluções sustentáveis e a avaliação do impacto ambiental** também são cruciais, alinhando a tecnologia com as preocupações globais de sustentabilidade. Abordar esses desafios requer uma abordagem multidisciplinar, envolvendo colaboração entre pesquisadores, indústria e entidades regulatórias. Dessa forma é possível superar esses obstáculos, permitindo que a microencapsulação de leveduras alcance seu pleno potencial em diversas aplicações (MARTINS *et al.*, 2023; FAN *et al.*, 2023; FU *et al.*, 2023).

## 4. CONCLUSÃO

Em síntese, a revisão bibliográfica sobre microencapsulação de leveduras revela uma área de pesquisa promissora e em constante evolução. Os avanços recentes nas técnicas de encapsulamento, materiais de revestimento e aplicações demonstram o potencial impacto dessa tecnologia em diversas indústrias. A compreensão aprofundada dos fatores que afetam a

estabilidade, viabilidade e liberação controlada de compostos bioativos abre caminho para novas descobertas e inovações. No entanto, desafios permanecem, destacando a importância contínua da pesquisa para explorar plenamente as oportunidades oferecidas pela microencapsulação de leveduras.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. D. S. (2023). Pré-tratamentos organosolve e hidrotérmico do bagaço e palha de cana-de-açúcar e hidrólise enzimática do licor hemicelulósico visando a produção de bioetanol.

ARBULU, S., JIMÉNEZ, JJ, GÚTIEZ, L., FEITO, J., CINTAS, LM, HERRANZ, C., & HERNÁNDEZ, PE (2019). Clonagem e expressão de genes sintéticos que codificam quimeras nativas, híbridas e derivadas de bacteriocinas de bacteriocinas maduras de classe IIa, por *Pichia pastoris* (sin. Komagataella spp.). **Pesquisa Alimentar Internacional**, 121, 888-899.

ARENAS-JAL, M.; SUÑÉ-NEGRE, J. M.; GARCÍA-MONTOYA, E. An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. **European Food Research and Technology**, v. 246, p. 1371-1382, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ALONSO, SAÚL. Novel preservation techniques for microbial cultures. In *Novel Food: Fermentation Technologies*, chapter 2, p. 7–34. 2016

ARSLAN, Sultan; Erbas, Mustafa; Tontul; Ismail; Topuz Ayhan. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, p. 685-690, 2015.

ALU'DATT, MH, ALROSAN, M., GAMMOH, S., TRANCHANT, CC, ALHAMAD, MN, RABABAH, T., ... & TAN, TC (2022). Tecnologias baseadas em encapsulamento para compostos bioativos e sua aplicação na indústria alimentícia: um roteiro para ingredientes funcionais e promotores da saúde derivados de alimentos. *Biociência Alimentar*, 50, 101971.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20140316141102id/http://serv-bib.fcfar.unesp.br:80/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/106/119>. Acesso em: 29 jun. 2023.

BALTRUSCH, K.L. Spray-drying microencapsulation of tea extracts using green starch, alginate or carrageenan as carrier materials, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 203, p. 417-429, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.129>. Acesso em: 11 jul. 2023.

BASSANIA, Joseane C.; Santos, Vidiany Queiroz A.; Dekker Aneli M. Barbosa; Dekker Robert F.H.; Cunha Mário Antônio A.da; Pereira Edimir A. Microbial cell encapsulation as a strategy for the maintenance of stock cultures. *LWT - Food Science and Technology*, v. 102, p.411-417, 2018.

BAKRY, A. M., ABBAS, S., ALI, B., MAJEED, H., ABOUELWAFI, M. Y., MOUSA, A., & LIANG, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(1), 143-182. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BEIKZADEH, S., SHOJAEI-ALIABADI, S., DADKHODAZADE, E., SHEIDAEI, Z., ABEDI, A. S., MIRMOGHATAIE, L., HOSSEINI, S. M. (2019). Comparison of properties of breads enriched with Omega-3 oil encapsulated in  $\beta$ -glucan and *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells. *Applied Food Biotechnology*, 7(1), 11-20.

BENUCCI, I., CECCHI, T., LOMBARDELLI, C., MARESCA, D., MAURIELLO, G., & ESTI, M. (2021). Novel microencapsulated yeast for the primary fermentation of green beer: Kinetic behavior, volatiles and sensory profile. *Food Chemistry*, 340, 127900.

BERTONI, S., ALBERTINI, B., DOLCI, L. S., & PASSERINI, N. Spray congealed lipid microparticles for the local delivery of  $\beta$ -galactosidase to the small intestine, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, v. 132, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.08.014>. Acesso em: 11 maio. 2023.

CARVALHO, I. T., ESTEVINHO, B. N., SANTOS, L. Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products – a review. *Int J Cosmet Sci*, v. 38, p. 109-119, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ics.12232>. Acesso em: 09 maio. 2023.

CANONICO, L., ZANNINI, E., CIANI, M., & COMITINI, F. (2021). Assessment of non-conventional yeasts with potential probiotic for protein-fortified craft beer production. *LWT*, 145, 111361.

COZMUTA, A. M., JASTRZEBSKA, A., APJOK, R., PETRUS, M., COZMUTA, L. M., PETER, A., & NICULA, C. (2021). Immobilization of baker's yeast in the alginate-based hydrogels to impart sensorial characteristics to frozen dough bread. *Food Bioscience*, 42, 101143.

CRIOLLO NUÑEZ, J., RAMIREZ-TORO, C., BOLÍVAR, G., SANDOVAL A, AP, & LOZANO TOVAR, MD (2023). Efeito do inóculo microencapsulado de *Pichia kudriavzevii* na fermentação e qualidade sensorial do genótipo CCN51 de cacau. *Revista da Ciência da Alimentação e Agricultura*, 103 (5), 2425-2435.

DE ABREU FIGUEIREDO, J., DE PAULA SILVA, C. R., OLIVEIRA, M. F. S., NORCINO, L. B., CAMPELO, P. H., BOTREL, D. A., & BORGES, S. V. (2022). Microencapsulation by spray chilling in the food industry: Opportunities, challenges, and

innovations. **Trends in Food Science & Technology**, 120, 274-287. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.026>. Acessado em: 22 jul. 2023.

DE MATOS-JR, F. E. *et al.* Effect of feed preparation on the properties and stability of ascorbic acid microparticles produced by spray chilling, **LWT**, v. 75, p. 251-260, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.006>. Acesso em: 11 jun. 2023.

DE SOUZA SIMÕES, L., MADALENA, D. A., PINHEIRO, A. C., TEIXEIRA, J. A., VICENTE, A. A., & RAMOS, Ó. L. (2017). Micro-and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*, 243, 23-45. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.010>. Acesso em: 05 jun. 2023.

DEWETTINCK, K., HUYGHEBAERT, A. Fluidized bed coating in food technology, **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, ed. 4-5, p. 163-168, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00041-2). Acesso em: 30 maio. 2023.

DOS SANTOS WANDERLEY, LA, AGUIAR, GPS, CALISTO, JFF, MAGRO, JD, ROSSATO, G., ZOTTI, CA, ... & JUNGES, A. (2023). Microencapsulação de *Yarrowia lipolytica*: viabilidade celular e aplicação in vitro em dietas para ruminantes. *Jornal Mundial de Microbiologia e Biotecnologia*, 39 (4), 88.

Engel, B. et al. Emprego de spray dryer em indústrias de alimento: uma breve revisão. *Revista Jovens Pesquisadores*, Santa Cruz do Sul, v.7, n. 2, p. 02-11, jul./dez. 2017.

FAN, Y., TIAN, X., ZHENG, L., JIN, X., ZHANG, Q., XU, S., ... & WANG, H. (2023). Yeast encapsulation in nanofiber via electrospinning: Shape transformation, cell activity and immobilized efficiency. *Food Research International*, 152, 110054.

FAVARO-TRINDADE, C. S., DE MATOS JUNIOR, F. E., OKURO, P. K., DIAS-FERREIRA, J., CANO, A., SEVERINO, P., ... & SOUTO, E. B. (2021). Encapsulation of active pharmaceutical ingredients in lipid micro/nanoparticles for oral administration by spray-cooling. *Pharmaceutics*, 13(8), 1186. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13081186>. Acesso em: 30 ago. 2023.

FAVARO-TRINDADE, C. S; PINHO, S.; ROCHA, G. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.11. n.2, p.103-112, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237521407\\_Revisao\\_Microencapsulacao\\_de\\_ingredientes\\_alimenticios](https://www.researchgate.net/publication/237521407_Revisao_Microencapsulacao_de_ingredientes_alimenticios). Acesso em: 21 jul. 2023.

FU, J., SONG, L., GUAN, J., SUN, C., ZHOU, D., & ZHU, B. (2023). Encapsulation of Antarctic krill oil in yeast cell microcarriers: Evaluation of oxidative stability and in vitro release. *Journal of Food Engineering*, 345, 109263.

GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A., & SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, **Food**

**Research International**, v. 40, ed. 9, 2007, p. 1107-1121, ISSN 0963-9969. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>. Acesso em: 25 jun. 2023.

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends, **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, ed. 7–8, 2004, p. 330-347, ISSN 0924-2244. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>. Acesso em: 15 mai. 2023.

GHOSH, S. K. *Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective*. Zelgate, Bélgica: Wiley – VHC, 2006. Disponível em: [https://application.wiley-vch.de/books/sample/352731296X\\_c01.pdf](https://application.wiley-vch.de/books/sample/352731296X_c01.pdf). Acesso em: 24 jul. 2023.

JAMEKHORSHID, A.; SADRAMELI, S.M.; FARID, M. A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, p. 531-542, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.033>. Acesso em: 28 mai. 2023.

JAFARI, S. A decade overview and prospect of spray drying encapsulation of bioactives from fruit products: Characterization, food application and in vitro gastrointestinal digestion, *Food Hydrocolloids*, v.134, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108068>. Acesso em: 27 jul. 2023.

M. KARABÍN, M., JELÍNEK, L., KOTRBA, P., CEJNAR, R., & DOSTÁLEK, P.. Enhancing the performance of brewing yeasts. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 3, p. 691-706, maio 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.014>. Acesso em: 24 mai. 2023.

KIM, G. Y. Microencapsulation of Caramel Flavor and Properties of Ready-to-drink Milk Beverages Supplemented with Coffee Containing These Microcapsules. **Food Sci Anim Resour.** v. 39, ed. 5, p. 780-791, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e68>. Acesso em: 28 jun. 2023.

KOSASIH, E. A., DZAKY, M. I., ZIKRI, A., RACHMANUDIPUTRA, A., ABIZAR, F., FAUZI, M. B., & SUHARYADI, Y. S. (2023). Microencapsulation of maltodextrin and gelatin using spray drying with double-condenser compression refrigeration systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 45, 102931.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102931>. Acesso em: 11 abr. 2023.

KOWSALYA, M., SUDHA, KG, ALI, S., VELMURUGAN, T., & RAJESHKUMAR, MP (2023). Sustentabilidade e comportamento de liberação controlada de *Lactobacillus plantarum* PRK7 microencapsulado e sua aplicação na produção de iogurte probiótico. **Biociência Alimentar** , 52 , 102430.

KUMARI, A., KAUSHIK, N., SLIZYTE, R. E KHUSHBOO. (2023). Produção e microencapsulação de hidrolisado protéico de subprodutos da perca rosa (*Nemipterus*

japonicus) obtidos da indústria do surimi para seu aproveitamento sustentável. **Valorização de Resíduos e Biomassa**, 14 (1), 209-226.

MADENE, A., JACQUOT, M., SCHER, J., & DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 41: p. 1-21, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>. Acessado em: 04 maio. 2023.

MARTINS, P. M. M., BATISTA, N. N., SANTOS, L. D., DIAS, D. R., & SCHWAN, R. F. (2022). Microencapsulation of epiphytic coffee yeasts by spray drying using different wall materials: Implementation in coffee medium. **LWT**, 158, 112949.

MA, Z., SONG, Z., JIANG, Q., & LV, W. (2020). Novo método para microencapsulação de ácido oxálico com casca de etilcelulose para desempenho de liberação sustentada. **Colóides e Superfícies A: Aspectos Físico-Químicos e de Engenharia**, 602, 125064.

Melo, V. M. D. (2023). Saccharomyces, principais parâmetros e sua importância no ambiente cervejeiro. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38407>. Acessado em 25 jul. 2023

MENDES, M., CASSONI, AC, ALVES, S., MOREIRA, P., PINTADO, ME, & CASTRO, PML (2023). Removendo a cor e diminuindo a toxicidade: o caso da descoloração de corantes têxteis e efluentes simulados com leveduras. **Jornal Internacional de Ciência e Tecnologia Ambiental**, 1-12.

MOKHTARI, S., KHOMEIRI, M., JAFARI, S. M., MAGHSOUDLOU, Y., & GHORBANI, M. Descriptive analysis of bacterial profile, physicochemical and sensory characteristics of grape juice containing Saccharomyces cerevisiae cell wallcoated probiotic microcapsules during storage. **International Journal of Food Science & Technology**, v.52, p.1042–1048, 2017.

NAMBIAR, RESHMA B.; SELLAMUTHU, P.S.; PERUMAL, A.B. Microencapsulation of Tender Coconut Water by Spray Drying: Effect of Moringa oleifera Gum, Maltodextrin Concentrations, and Inlet Temperature on Powder. **Food and Bioprocess Technology**, v.10, p. 1668-1684, 2017.

NAHUM, V.; DOMB, A. J. Recent Developments in Solid Lipid Microparticles for Food Ingredients Delivery. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 400, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10020400>. Acessado em: 30 abr. 2023.

OLIVEIRA, F. M., OLIVEIRA, R. M., BUCHWEITZ, L. T. G., PEREIRA, J. R., DOS SANTOS HACKBART, H. C., NALÉRIO, É. S., ... & ZAMBIAZI, R. C.. Encapsulation of olive leaf extract (*Olea europaea L.*) in gelatin/tragacanth gum by complex coacervation for application in sheep meat hamburger, **Food Control**, v. 131, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108426>. Acessado em: 30 maio. 2023.

OXLEY, J. Chapter 4 - Overview of Microencapsulation Process Technologies, Editor(s): Anilkumar G. Gaonkar, Niraj Vasisht, Atul Ramesh Khare, Robert Sobel, Microencapsulation in the Food Industry, **Academic Press**, ISBN 9780124045682, p. 35-46, 2014. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=b7JZAwAAQBAJ&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=b7JZAwAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acessado em: 28 abr. 2023.

PARAMERA, E. I., KONTELES, S. J., & KARATHANOS, V. T. Stability and release properties of curcumin encapsulated in *Saccharomyces cerevisiae*,  $\beta$ cyclodextrin and modified starch. *Food Chemistry*, 125(3), 913–922, 2011.

PARAPOULI, M., VASILEIADIS, A., AFENDRA, A. S., & HATZILOUKAS, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS microbiology**, 6(1), 1.

PETROVICK, G. F., PETROVICK, P. R., & BASSANI, V. L. (2006). Granulação e revestimento em leite fluidizado. **Cad Farm**, 21, 107-18.

RATHORE, S., DESAI, P. M., LIEW, C. V., CHAN, L. W., & HENG, P. W. S. Microencapsulation of microbial cells, **Journal of Food Engineering**, v. 116, ed. 2, p. 369-381, 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022>. Acessado em: 30 jul. 2023.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology, **Food Bioscience**, v. 13, 2016, p. 76-83, ISSN 2212-4292. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009> >. Acesso em: 07 abr. 2023.

RIVERA FLORES, VK, DE MARSH, TA, GIBNEY, PA E ALCALINE, SD (2021). Fermentação de açúcares relevantes para laticínios por *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* e *Brettanomyces*: Um estudo exploratório com implicações para a utilização de soro de leite ácido, Parte I. **Fermentação**, 7 (4), 266.

SAGALOWICZ, L., and Leser, M.E. Delivery systems for liquid food products. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.15, p.61-72, 2010.

SAGRILLO, F. S., OLIVEIRA, V. D. G., TOLENTINO, N. M. D. C., & DIAS, F. R. F. (2015). **Processos produtivos em biotecnologia**. Saraiva Educação SA.

SAMPAIO, G. P., VALE, V. L. C., DE MOURA COSTA, L. F., FRAGA, R. E., DE MELO SANTOS, H. H., DE SÁ, M. D. C. A., ... & NASCIMENTO, R. J. M. (2019). Padronização de técnicas por citometria de fluxo para avaliar *Corynebacterium pseudotuberculosis* células fagocitárias murinas. **Pubvet**, 13, 150.

SANTOS, MA E MACHADO, MT (2021). Partículas revestidas de alginato-quitosana para melhorar a estabilidade da levedura probiótica. **Jornal Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 56 (5), 2122-2131.

SELVENCA, L. P., SILVA, R. C., & PONTES, W. (2020). Relação da Aglomeração com a Hidrofobicidade Celular de Leveduras Selvagens e Seleccionadas para Produção de Etanol. **Bioenergia em Revista: Diálogos** (ISSN: 2236-9171), 10(2), 162-172.

SCHELL, D.; BEERMANN, C. Fluidized bed microencapsulation of *Lactobacillus reuteri* with sweet whey and shellac for improved acid resistance and in-vitro gastro-intestinal survival, **Food Research International**, v. 62, p. 308-314, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.016>. Acessado em: 21 maio. 2023.

SILVA, E. G. D. (2019). Fermentação de licor de hemicelulose advindo do pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte com as leveduras *Scheffersomyces stipitis* e *Pachysolen tannophilus* para produção de etanol 2G.

Silva, C., Ribeiro, A., Ferreira, D., & Veiga, F. Administração oral de peptídeos e proteínas: II. Aplicação de métodos de microencapsulação. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas** [online]. 2003, v. 39, n. 1, pp. 1-20. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322003000100002>. Epub 30 Mar 2009. ISSN 1516-9332. Acessado em: 24 ago. 2023.

SPERANZA, B., PETRUZZI, L., BEVILACQUA, A., GALLO, M., CAMPANIELLO, D., SINIGAGLIA, M., & CORBO, M. R (2017). Encapsulation of Active Compounds in Fruit and Vegetable Juice Processing: Current State and Perspectives. **Journal of Food Science**, v. 82: p. 1291-1301. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13727>. Acesso em: 08 abr. 2023.

STOLZE, N., BADER, C., HENNING, C., MASTIN, J., HOLMES, AE E SUTLIEF, AL (2019). Análise automatizada de imagens com ImageJ de unidades formadoras de colônias de leveduras de flores de cannabis. **Jornal de métodos microbiológicos** , 164 , 105681.

Timilsena, Y. P., Akanbi, T. O., Khalid, N., Adhikari, B., & Barrow, C. J. Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 1276-1286, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.144>. Acesso em: 26 abr. 2023.

TOZETTO, L. M. Produção e caracterização de cerveja artesanal adicionada de gengibre (*Zingiber officinale*). Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2451>. Acesso em: 24 jan. 2023.

VANISKI, ROSANE; CORTI, DAIANE; DRUNKLER, DEISY A. Técnicas e materiais empregados na microencapsulação de probióticos. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 1, p. 156-184, 2017.

WALKER, G. M.; WALKER, R. S. K. Enhancing Yeast Alcoholic Fermentations. *Advances in applied microbiology*. vol. 105 (2018): 87-129. Disponível em: [doi:10.1016/bs.aambs.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.05.003). Acesso em: 24 jan. 2023.

WANG, J., LEDESMA-AMARO, R., WEI, Y., JI, B., & JI, XJ (2020). Engenharia metabólica para aumento do acúmulo de lipídios em *Yarrowia lipolytica* – uma revisão. **Tecnologia de recursos biológicos**, 313, 123707.

Zixuan, S., Zihai, W., Xi, C., Jingang, G., & Yaohong, W. (2022, abril). Microcápsulas de hidrogel de alginato produzidas pelo método eletrohidrodinâmico coaxial. Em 2022, 17<sup>a</sup> **Conferência Internacional IEEE sobre Sistemas Nano/Micro Projetados e Moleculares (NEMS)** (pp. 44-47). IEEE.