

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JULIA DE OLIVEIRA MARQUES

ENCAPSULAÇÃO DE BETALAÍNA PARA APLICAÇÃO EM GELATINAS

Bagé

2026

JULIA DE OLIVEIRA MARQUES

ENCAPSULAÇÃO DE BETALAÍNA PARA APLICAÇÃO EM GELATINAS

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andressa Carolina
Jacques

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Catarina Motta de
Moura

Bagé

2026

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M357e Marques, Julia de Oliveira
Encapsulação de betalaína para aplicação em gelatinas /
Julia de Oliveira Marques.
62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2026.
"Orientação: Andressa Carolina Jacques".

1. Beterraba. 2. Compostos bioativos. 3. Corantes naturais.
I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

JULIA DE OLIVEIRA MARQUES

ENCAPSULAÇÃO DE BETALAÍNA PARA APLICAÇÃO EM GELATINAS

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 09 de julho de 2026.

Banca examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Andressa Carolina Jacques

Orientadora

UNIPAMPA

Prof^ª. Dr^ª. Catarina Motta de Moura

Co-orientadora

UNIPAMPA

Dr^a. Camila Ramão Contessa
UNIPAMPA

Prof^a. Dr^a. Miriane Lucas Azevedo
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MIRIANE LUCAS AZEVEDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/07/2026, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Camila Ramão Contessa, Usuário Externo**, em 17/07/2026, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/07/2026, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ANDRESSA CAROLINA JACQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2026, às 09:47, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2096738** e o código CRC **FE702E07**.

Referência: Processo nº 23100.011833/2026-11 SEI nº 2096738

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Rinaldo e Cilene Marques, por todo o apoio, incentivo, amor e por acreditarem em mim, estando ao meu lado em cada etapa da minha caminhada.

Às minhas avós, Eva e Elesi, agradeço por todo o carinho e apoio. À minha dinda, Cinara, ao meu tio, Régis, e à minha prima, Silvia, agradeço pelo incentivo, apoio e por sempre torcerem pelo meu sucesso. Sou grata a todos por estar sempre cercada de pessoas com quem posso contar.

Agradeço ao meu namorado, Daniel, por todo o amor, paciência e compreensão, por estar sempre ao meu lado, oferecendo carinho, incentivo e tornando essa caminhada mais leve e especial.

Agradeço aos meus amigos Mariana, Beatriz, Deyvid, Simon e Erica pela amizade, companheirismo, pelas conversas, pelo apoio e pelos inúmeros momentos de alegria compartilhados.

Agradeço aos professores que contribuíram para a minha formação, em especial à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Andressa Carolina Jacques, e à minha coorientadora, Prof.^a Dr.^a Catarina Motta de Moura, pela confiança, apoio, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos ao longo deste trabalho.

Agradeço, também, a todos que fizeram parte da minha trajetória e contribuíram para que este momento fosse possível.

Por fim, agradeço à UNIPAMPA, ao Campus Bagé e ao curso de Engenharia de Alimentos por proporcionarem a minha formação e a realização desta importante etapa da minha vida.

RESUMO

A cor é um dos atributos sensoriais mais determinantes na aceitação de produtos alimentícios, influenciando diretamente a percepção de sabor e qualidade por parte dos consumidores. Embora a indústria utilize amplamente corantes sintéticos devido ao seu baixo custo e alta estabilidade, a crescente preocupação com os potenciais riscos à saúde tem impulsionado a busca por alternativas naturais e funcionais. Nesse cenário, as betalaínas, pigmentos hidrossolúveis extraídos da beterraba (*Beta vulgaris L.*), surgem como uma opção promissora devido ao seu elevado poder tintorial e propriedades bioativas, como atividades antioxidante, anticarcinogênica e antimicrobiana. No entanto, a aplicação direta desses pigmentos é limitada por sua alta instabilidade frente a fatores ambientais como luz, temperatura e oxigênio. O presente trabalho teve como objetivo realizar a extração, encapsulação e aplicação do corante natural betalaína em uma matriz de gelatina, avaliando sua estabilidade físico-química e bioativas. A metodologia envolveu a extração aquosa da betalaína, seguida da encapsulação por liofilização, testando diferentes materiais de parede: maltodextrina (M), goma arábica (GA) e a combinação de ambos (GA+M). Os resultados da caracterização da matéria-prima indicaram que o extrato apresentou 19,09 mg/100 g de betalaínas totais e uma elevada atividade antioxidante (74,63% de inibição do radical DPPH), demonstrando que o processamento facilitou a liberação de compostos bioativos. No processo de encapsulação, a maltodextrina destacou-se como o agente mais capaz de reter as betalaínas totais (108,94 mg/100 g) e preservar o maior potencial antioxidante (20,17%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A análise morfológica revelou que as cápsulas de maltodextrina possuíam estruturas irregulares e rugosas, porém capazes de formar uma barreira protetora eficaz. Na aplicação em gelatinas, observou-se uma estabilidade relativa do pH (entre 5,17 e 5,54) ao longo de quatro semanas de armazenamento. Contudo, houve um aumento gradual na umidade do produto (de 9,55% para 10,70%) e alterações nos parâmetros de cor (sistema CIELAB), com redução da cromaticidade vermelha (a^*) e do Croma. Conclui-se que a encapsulação com maltodextrina é uma técnica viável para a proteção de betalaínas, embora a aplicação em produtos como a gelatina ainda demande otimizações para garantir a estabilidade visual prolongada. O estudo reforça o potencial do uso de corantes naturais como ingredientes funcionais, atendendo às demandas por alimentos mais saudáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: beterraba; compostos bioativos; corantes naturais.

ABSTRACT

Color is a key sensory attribute determining the acceptance of food products, directly influencing consumer perception of flavor and quality. Although the industry widely uses synthetic colorants due to their low cost and high stability, growing concern regarding potential health risks has driven the search for natural, functional alternatives. In this context, betalains—water-soluble pigments extracted from beetroot (*Beta vulgaris L.*)—emerge as a promising option due to their high coloring power and bioactive properties, such as antioxidant, anticarcinogenic, and antimicrobial activities. However, the direct application of these pigments is limited by their high instability when exposed to environmental factors like light, temperature, and oxygen. This study aimed to extract, encapsulate, and apply the natural betalain colorant within a gelatin matrix, evaluating its physicochemical stability and bioactive properties. The methodology involved the aqueous extraction of betalains followed by encapsulation via freeze-drying, testing different wall materials: maltodextrin (M), gum arabic (GA), and a combination of both (GA+M). Raw material characterization results showed that the extract contained 19.09 mg/100 g of total betalains and exhibited high antioxidant activity (74.63% DPPH radical inhibition), demonstrating that processing facilitated the release of bioactive compounds. During encapsulation, maltodextrin proved to be the most effective agent for retaining total betalains (108.94 mg/100 g) and preserving the highest antioxidant potential (20.17%), differing statistically from the other treatments. Morphological analysis revealed that the maltodextrin capsules had irregular, rough structures but were capable of forming an effective protective barrier. When applied to gelatin, relative pH stability (between 5.17 and 5.54) was observed over four weeks of storage. However, there was a gradual increase in product moisture (from 9.55% to 10.70%) and changes in color parameters (CIELAB system), specifically a reduction in red chromaticity (a^*) and Chroma. It is concluded that encapsulation with maltodextrin is a viable technique for protecting betalains, although application in products such as gelatin still requires optimization to ensure prolonged visual stability. The study reinforces the potential of using natural colorants as functional ingredients, meeting the demand for healthier and more sustainable foods.

Keywords: beetroot; bioactive compounds; natural colorants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura dos corantes alimentícios sintéticos	20
Figura 2 - Estrutura das betalaínas	23
Figura 3 - Metodologia da extração do corante	35
Figura 4 - Corante liofilizado. A) Extrato puro; B) Goma arábica + Maltodextrina; C) Maltodextrina; D) Goma arábica	39
Figura 5 - Análise microscópica do corante com maltodextrina	42
Figura 6 - Análise microscópica do corante com goma arábica	43
Figura 7 - Análise microscópica do corante com a combinação GA+M	44
 Quadro 1 - Aplicação de corantes naturais	 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos corantes utilizados no Brasil	19
Tabela 2 - Material de parede	36
Tabela 3 - Análises da beterraba <i>in natura</i>	38
Tabela 4 - Análise do extrato de beterraba	39
Tabela 5 - Análise do corante encapsulado	40
Tabela 6 - Análise de estabilidade da gelatina	45
Tabela 7 - Análise de cor das gelatinas	46

LISTA DE ABREVIATURAS

°C - graus celsius

a. C. - antes de Cristo

abs - absorbância

aw - atividade de água

C - carbono

C.I. - color index

DE - dextroses equivalentes

EDTA - ácido etilenodiamino tetra-acético

g - grama

GA - goma arábica

kg - quilograma

M - maltodextrina

mg - miligrama

mL - mililitro

N - nitrogênio

n° - número

nm - nanômetro

pH - potencial hidrogeniônico

RS - Rio Grande do Sul

μL - microlitro

LISTA DE SIGLAS

IDA - Ingestão diária aceitável

INS - International Numbering System

JECFA - Joint Expert Committee on Food Additives

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

US FDA - United States Food and Drugs Administration

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Corantes alimentícios	17
2.1.1 Corantes sintéticos	17
2.1.2 Corantes naturais	21
2.2 Betalaínas	22
2.2.1 Compostos bioativos	24
2.3 Encapsulação	25
<u>2.3.1 Material de parede</u>	28
<i>2.3.1.1 Maltodextrina</i>	28
<i>2.3.1.2 Goma arábica</i>	29
2.4 Aplicação de corantes naturais em alimentos	29
2.4.1 Gelatina	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Matéria-prima	33
<u>3.1.1 Caracterização das amostras</u>	33
<i>3.1.1.1 Umidade</i>	33
<i>3.1.1.2 Atividade antioxidante</i>	33
<i>3.1.1.3 Betalaínas</i>	34
3.2 Extração do corante	35
<u>3.2.1 Análise dos extratos</u>	35
<i>3.2.1.1 Atividade antioxidante</i>	35
<i>3.2.1.2 Betalaínas</i>	35
3.3 Encapsulação do corante	35
<u>3.3.1 Análise do corante encapsulado</u>	36
<i>3.3.1.1 Microscopia óptica</i>	36
3.4 Aplicação do corante encapsulado em gelatinas	36
<u>3.4.1 Análises de estabilidade da gelatina</u>	36
<i>3.4.1.1 pH</i>	37
<i>3.4.1.2 Umidade</i>	37

3.4.1.3 Cor	37
3.4.1.4 Betalaína	37
3.4.1.5 Atividade antioxidante	37
3.5 Análise estatística	37
4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1 Caracterização das amostras	38
4.2 Corante encapsulado	39
4.3 Aplicação do corante em gelatinas	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7. TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A percepção humana é feita majoritariamente pela visão, por isso as cores se tornam um elemento determinante na escolha de um produto, por ser o primeiro contato com o alimento (Mascarenhas, 1998). As cores são frequentemente associadas a determinados sabores, influenciadas pela memória e por experiências prévias, por exemplo, o verde é comumente relacionado a frutas ainda imaturas, enquanto tons de marrom remetem a produtos deteriorados (Prado; Godoy, 2003), devido a isso a indústria adiciona intencionalmente corantes aos alimentos para torná-los mais atrativos para os consumidores (Mascarenhas, 1998).

A utilização de corantes em alimentos é utilizada há milhares de anos, tendo registros da utilização por egípcios por volta de 3000 a.C., porém apenas no século XIX foi descoberto o primeiro corante sintético (Mascarenhas, 1998). Os corantes sintéticos são muito utilizados pela indústria devido a sua ampla variedade de tonalidades, abrangendo quase todo o espectro visível, além de apresentar grande estabilidade, uniformidade de coloração, alto poder tintorial e custo de produção baixo (Ferrão, 2013). Apesar de suas vantagens, esses corantes estão em constantes estudos sobre sua toxicidade, avaliando possíveis riscos à saúde humana (Prado; Godoy, 2003), sendo que esses estudos já proibiram muitos corantes sintéticos de serem utilizados em alimentos (Ferrão, 2013). Estudos já apontaram que o consumo desses corantes por crianças pode levar a intolerâncias alimentares e reações alérgicas, como urticárias, asma e até anafilaxia, por isso muitos consumidores estão preferindo corantes naturais (Rebouças, 2019).

Os corantes naturais mais conhecidos incluem os carotenoides, as clorofilas, as antocianinas e as betalainas, esses pigmentos podem ser extraídos de vegetais, incluindo cascas e polpas de frutas, microrganismos e animais (Schiozer; Barata, 2007). Nas plantas os pigmentos são resultado de processos bioquímicos dentro do organismo que geram compostos com propriedades físico-químicas, que desempenham funções vitais nas plantas (Sigurdson; Tang; Giusti, 2017).

As betalainas são pigmentos extraídos exclusivamente de plantas com características e aparência semelhante às antocianinas, sendo descritas na literatura antiga como antocianinas nitrogenadas (Constant; Stringheta; Sandi, 2002). Elas são derivadas do ácido betalâmico e solúveis em água (Rebouças, 2019), sendo uma excelente alternativa para uso em alimentos por possuírem alto poder tintorial e serem estáveis em pH baixo e neutro (Constant; Freitas, 2021). Se destacam por seus benefícios à saúde devido a presença de compostos bioativos que

possuem atividade antioxidante, propriedades anticarcinogênica, características antilipêmicas e ação antimicrobiana (Constant; Freitas, 2021), tendo destaque para sua atividade antioxidante. Apesar disso, a estabilidade das betalaínas é afetada por diversos fatores, como temperatura, luz, oxigênio, atividade da água e a presença de outros componentes alimentares (Sigurdson; Tang; Giusti, 2017).

Para contornar a instabilidade e garantir a proteção dos compostos bioativos, a encapsulação tem sido amplamente empregada (Passaglia, 2019). Essa técnica consiste no aprisionamento do corante (material ativo) dentro de uma matriz formada por um material de parede (encapsulante), resultando na formação de partículas (Nezamdoost-Sani; Amiri; Khaneghah, 2024). A encapsulação atua como uma barreira física, resguardando o pigmento contra fatores ambientais adversos durante o processamento e o armazenamento, como a oxidação e a degradação térmica (Junior; Spinelli; Sórís, 2024).

Entre os diversos métodos existentes, a liofilização destaca-se como uma das técnicas mais eficazes para preservar compostos termossensíveis, como as betalaínas (Oliveira, 2021). Esse processo remove a água por sublimação sob condições de baixa temperatura e pressão, o que minimiza danos térmicos e preserva tanto a cor quanto a atividade biológica do material ativo (Merivaara, 2021).

A seleção adequada do material de parede é determinante para o sucesso da encapsulação, diversos materiais são utilizados como agentes encapsulantes, entre os mais utilizados estão carboidratos, lipídeos e proteínas, pois apresentam características favoráveis para a criação de revestimento capaz de proteger compostos ativos ampliando a sua estabilidade (Sobrinho; Farias, 2012). Assim, além de promover maior estabilidade e prolongar a vida útil do pigmento, a encapsulação possibilita a liberação controlada do corante no produto final, potencializando sua funcionalidade e eficiência.

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho será realizar a encapsulação do corante natural betalaína extraído da beterraba (*Beta vulgaris* L.) e aplicá-lo em gelatina.

Os objetivos específicos são:

- Extrair o corante natural betalaína a partir da beterraba (*Beta vulgaris* L.);
- Encapsular o corante natural;
- Quantificar a atividade antioxidante e teor de betalaína do corante encapsulado;
- Aplicar o corante encapsulado em gelatinas;
- Quantificar a atividade antioxidante e teor de betalaína da gelatina;
- Avaliar a estabilidade do corante na gelatina durante 4 semanas.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção tem o objetivo de apresentar um panorama geral sobre a produção e benefícios da utilização de corantes naturais, com enfoque na betalaína. Além disso, apresenta as vantagens da encapsulação destes pigmentos e informações sobre a sua aplicação em alimentos.

2.1 Corantes alimentícios

A séculos atrás o homem já utilizava especiarias e condimentos como pigmentos. Registros egípcios descrevem a utilização de corantes para medicamentos, já em 400 a.C os romanos descreveram a coloração do vinho com base nas percepções sensoriais (Sigurdson; Tang; Giusti, 2017). Até metade do século XIX não se utilizava corantes sintéticos, apenas em 1856 foi descoberto o primeiro corante sintético pelo pesquisador Sir William Henry Perkin, esse foi denominado malva ou malveína um corante de coloração púrpura, a partir dessa descoberta passou-se a produzir mais corantes sintéticos (Mascarenhas, 1998). A percepção do ser humano é feita 87% por meio da sua visão e apenas 4% é pelo paladar, tato e olfato, demonstrando a importância das cores como um atributo sensorial (Constant; Stringueta; Sandi, 2002).

A legislação brasileira define corante como um aditivo alimentar, ou seja, um ingrediente que pode ser adicionado ao alimento sem o intuito de nutrir, podendo modificar suas características físicas, químicas, biológicas e sensoriais, esse pode ser adicionado em qualquer etapa do processamento do alimento (Brasil, 2023a). De 1965 a 2019 estava em vigência o Decreto nº 55.871 que dispunha sobre as normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, nele os corantes eram divididos em 3 principais tipos, sendo eles: corantes naturais (aqueles extraídos de substância vegetal ou animal), corante caramelo (obtido do açúcar por meio de aquecimento a temperaturas acima do seu ponto de fusão) e corantes sintéticos (corantes de composição química, obtidos pela síntese de compostos) (Mascarenhas, 1998), a legislação atual não subdivide os corantes, apenas impõe os limites máximos e condições de uso (Brasil, 2023b), porém muitos autores ainda utilizam essas designações em seus trabalhos.

2.1.1 Corantes sintéticos

Com a descoberta dos corantes sintéticos seu interesse pelas indústrias aumentou, pela sua maior estabilidade a luz e calor, uniformidade, poder de tintura comparado com os corantes naturais, assim incentivando novas descobertas desses aditivos (Os corantes [...],

[2010?], p. 28-39). Porém, após essa descoberta muitos alimentos passaram a serem coloridos, muitas vezes com substâncias altamente tóxicas, como sulfato de cobre para a coloração verde em conservas de pickles, utilização de chumbo negro em folhas de chá para parecerem mais jovens e chumbo vermelho para coloração alaranjada em queijos. O primeiro registro de toxicidade de corantes alimentares ocorreu na década de 1950, quando crianças sofreram problemas intestinais após consumirem balas com colorações preta e laranja distribuídas durante o Halloween nos Estados Unidos, A United States Food and Drugs Administration (US FDA) na época indicaram que o efeito foi causado pelo corante Orange nº1 do grupo azo (Ferrão, 2013).

No início do século XX o Estados Unidos possuía mais de 700 corantes sintéticos sendo utilizados, com isso começou-se a estabelecer legislações para controlar o uso de aditivos em alimentos. O Codex Alimentarius é uma das principais fontes de informações sobre este tema, sendo criado com um dos objetivos de estabelecer limites e critérios de uso para os aditivos alimentares (Prado; Godoy, 2003).

Cada país/região possui sua lista de corantes permitidos e seus limites, já que esse é um tema com muita divergência. No Brasil os limites percentuais de uso de aditivos alimentares são estabelecidos pela ANVISA, sendo todos estudados com os valores de ingestão diária aceitável definidos, embora novos estudos possam alterar esses valores (Prado; Godoy, 2003). A ingestão Diária Aceitável (IDA) é uma estimativa criada pelo Joint Expert Committe on Food Additives (JECFA) sobre a quantidade de aditivos que pode ser consumida diariamente, por tempo indeterminado, sem representar riscos à saúde. Esse valor é determinado com base em estudos de longo prazo em animais e observações em seres humanos, sendo realizadas investigações com diferentes doses (Toci; Zanoni, 2016).

Os corantes sintéticos oferecem uma grande variedade de cores, contemplando praticamente todas as cores do espectro visível (Constant; Stringueta; Sandi, 2002). No Brasil são permitidos 11 corantes sintéticos para alimentos e bebidas, sendo eles: amaranto, vermelho Eritrosina, vermelho 40, ponceau 4R, amarelo crepúsculo, amarelo tartrazina, azul indigotina, azul brilhante FCF, azorrubina, verde rápido FCF e azul patente V. A Tabela 1 mostra algumas propriedades físicas e químicas dos corantes sintéticos no Brasil.

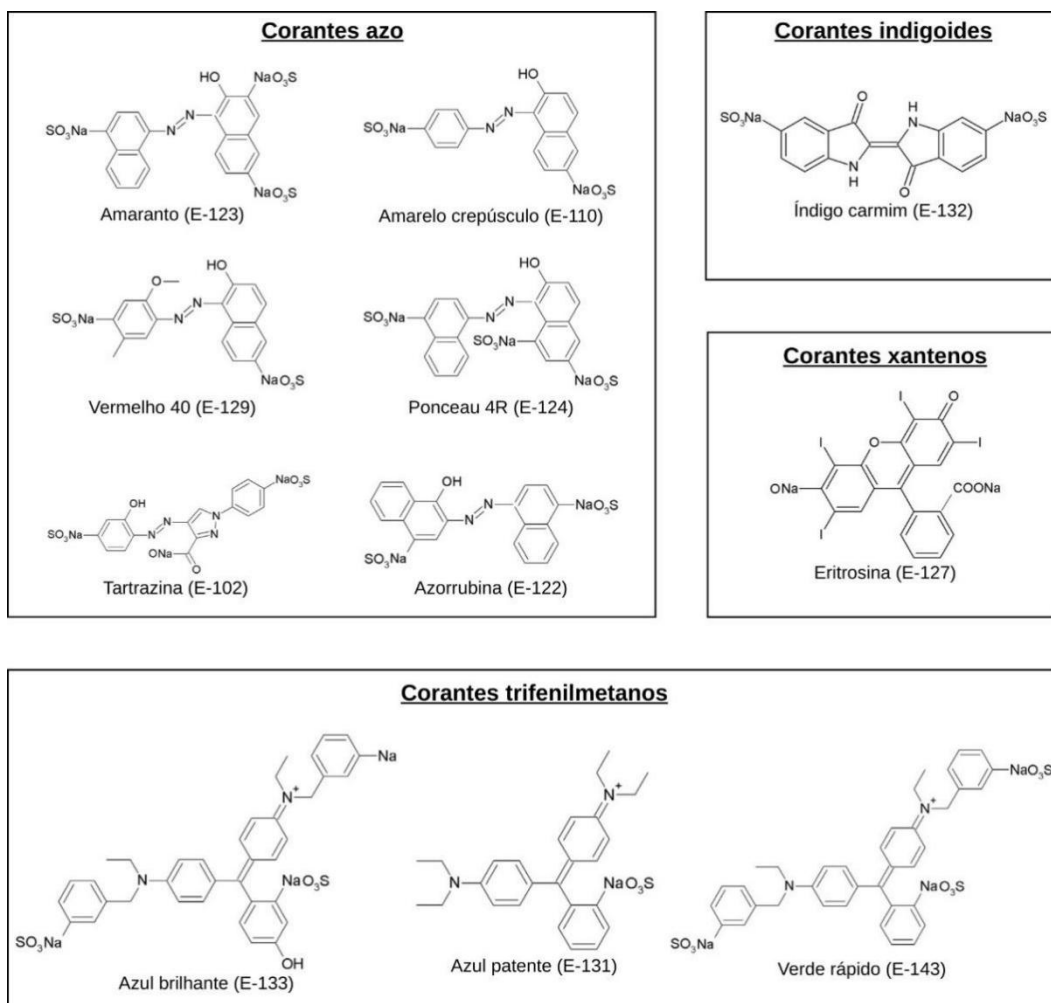
Pode-se dividir os corantes sintéticos em quatro grupos, sendo os corantes azo (amaranto, ponceau 4R, vermelho 40, azorrubina, tartrazina e amarelo crepúsculo), corantes trifenilmetanos (azul patente V, verde rápido e azul brilhante), corantes indigóides (índigo carmim) e corantes xantenos (eritrosina) (Toci; Zanoni, 2016). A Figura 1 mostra a estrutura dos corantes sintéticos.

Tabela 1 - Propriedades dos corantes utilizados no Brasil

Nome Usual	Classe	Massa molar (g/mol)	Color Index (C. I.)	Código Brasil	Absorvidade em Água	IDA (mg/kg peso corpóreo)	Sinônimos	Cor
Tartazina	Monoazo	534,35781	19140	E-102	426 nm	7,5	Tartrazine, FD&C Yellow No. 5, Food Yellow No.4	Amarelo
Amarelo Crepúsculo	Monoazo	452,36374	15985	E-110	480 nm	2,5	Sunset yellow FCF; Food Yellow No.5, FD&C Yellow No.6	Amarelo
Azorrubina	Monoazo	502,42354	14720	E-122	515 nm	4,0	Carmoisine, Food Red 3, Acid Red 14	Vermelho
Amaranto	Monoazo	604,46361	16185	E-123	523 nm	0,5	Amaranth; Food Red No.2; Bordeaux S	Vermelho
Porceau 4R	Monoazo	604,46361	16255	E-124	505 nm	4,0	New coccine, Food Red 7, Food Red No.102	Vermelho
Eritrosina	Xanteno	879,86194	45430	E-127	526 nm	0,1	Erythrosine B, Food Red 14, Acid Red 18	Vermelho
Vermelho 40	Monoazo	496,41674	16035	E-129	502 nm	7,0	Allura Red AC, Food Red 17	Vermelho
Azul Patente V	Trifenilmetano	566,66147	42051	E-131	635 nm	15,0	Acid blue 3; Patent Blue V, Food Blue 5	Azul
Azul Indigotina	Indigoide	466,34734	73015	E-132	610 nm	5,0	Indigo carmine, FD&C Blue No. 2, Food Blue No.2	Azul
Azul Brilhante	Trifenilmetano	792,84314	42090	E-133	629 nm	10,0	FD&C Blue No.1, Food Blue 2, Brilliant blue FCF	Azul
Verde Rápido	Trifenilmetano	808,84254	42090	E-143	625 nm	10,0	Fast green FCF, Food Green 3, FD&C Green No 3	Verde

Fonte: Adaptado de Prado; Godoy (2003).

Figura 1 - Estrutura dos corantes alimentícios sintéticos



Fonte: Adaptado de Toci; Zanoni (2016).

Os corantes azo são os mais importantes e utilizados, eles compreendem compostos que possuem um anel naftaleno ligado a um anel benzeno por uma ligação azo ($N=N$), esses anéis podendo possuir de um até três grupos sulfônicos. A maioria dos corantes dessa categoria possuem boa estabilidade à luz, calor e ácido, mas alguns descolorem em presença de agentes redutores como é o caso do amaranto, amarelo crepúsculo, tartrazina e ponceau 4R (Os corantes [...], [2010?], p. 28-39).

O grupo de corantes trifenilmetanos possuem três radicais arila na sua estrutura ligados a um átomo de carbono central, além de possuírem grupos sulfônicos que lhe possibilitam alta solubilidade em água. O azul patente V é o único com excelente estabilidade à luz, calor e ácido, os outros apresentam estabilidade razoável (Os corantes [...], [2010?], p. 28-39).

Os indigóides apresentam uma estrutura molecular complexa, o que lhes confere maior estabilidade química e resistência aos processos de biodegradação (Chaves, *et al.*, 2008). A eritrosina é o único corante xanteno permitido no Brasil.

Os alimentos coloridos por corantes sintéticos devem conter no seu rótulo “colorido artificialmente” e nos ingredientes indicar o nome completo do corante ou seu número INS (International Numbering System) (Brasil, 1969, 2022).

2.1.2 Corantes naturais

A busca por uma vida mais saudável tem levado a procura cada vez maior de alimentos saudáveis, com a menor utilização de aditivos sintéticos, assim aumentando o consumo de corantes naturais (Santo; Costa; Silva, 2023). Os pigmentos naturais são aqueles derivados de fontes naturais, eles podem apresentar uma grande variedade de composições químicas que irão afetar suas propriedades, solubilidade e estabilidade de maneiras diferentes, assim impactando na sua utilização em determinados grupos de alimentos (Sigurdson; Tang; Giusti, 2017).

Os corantes naturais podem ser classificados por meio de cinco classes, sendo elas: tetrapirrol, tetraterpenos/carotenoides, flavonoides, antraquinona e betalaína (Mendonça, 2011). Também podem ser classificados em 4 classes com base na sua estrutura química, sendo elas: tetrapirróis, isoprenóides/tetraterpenoides, compostos O-heterocíclicos/quinonas e compostos N-heterocíclicos (Damodaran; Parkin, 2019).

Os tetrapirróis são um grupo pequeno de pigmentos, mas com amplo espectro de cores, considerado um dos mais abundantes na Terra, nele estão contidos os compostos heme e a clorofila. A estrutura desses compostos é formada por anéis de pirrol dispostos em estrutura cíclica, como no cromóforo heme (quelado com ferro), presente na hemoglobina das hemácias, e na clorofila (quelada com magnésio), encontrada nos cloroplastos das plantas (Schiozer; Barata, 2007).

Os pigmentos heme são os principais responsáveis pela coloração das carnes, sendo a mioglobina o predominante nos tecidos musculares e a hemoglobina no sangue, como a maior parte do sangue é removida no abate a mioglobina se torna responsável por 90% da coloração da carne. A estabilidade desses pigmentos pode ser afetada pela exposição à luz, temperatura, umidade relativa, pH, oxigênio e presença de bactérias específicas (Damodaran; Parkin, 2019).

As clorofilas são pigmentos provenientes de plantas verdes, algas e bactérias fotossintéticas, possuindo um papel fundamental na fotossíntese (Damodaran; Parkin, 2019). Pela sua instabilidade a luz, pH, oxigênio e ao calor são pouco utilizadas como aditivos (Rebouças, 2019).

Os carotenóides são um dos grupos de pigmentos naturais mais abundante na natureza, ele é responsável pela coloração do amarelo ao vermelho, pode ser extraído de flores, folhas,

frutos e algumas raízes (Mascarenhas, 1998). São compostos solúveis em solventes orgânicos por serem de natureza lipofílica. Já foram identificadas mais de 300 espécies de carotenóides, podendo ser divididas em duas classes os carotenos, formados por átomos de carbono e hidrogênio, e as xantofilas, formadas por meio da oxidação dos carotenos com a introdução de um grupo hidroxila, metoxila, carboxila e cetona (Ribeiro, 2007).

Os flavonóides são pigmentos heterocíclicos, sua estrutura é formada por 15 átomos de carbono na forma C6-C3-C6. Podem ser subdivididos em seis classe: flavanonas, flavonóis, flavonas, flavanóis, isoflavonas e antocianidinas (Savi *et al.*, 2017), sendo as antocianidinas a com maior poder de tintura.

As seis antocianidinas mais comuns diferem pelo grau de hidroxilação e metoxilação, o que influencia sua cor, estabilidade e solubilidade. Sendo as antocianinas a forma glicosada, ou seja, ligada a um ou mais açúcar, sendo os mais comuns aglucose, ramnose, xilose e galactose (Freitas, 2019). As antocianinas são influenciadas pelo pH, concentração de pigmento, tipo de solvente, temperatura, estrutura química e presença de outras substâncias.

Os pigmentos quinoidais podem ser extraídos de raízes, madeiras e alguns insetos, sendo o carmim cochonilha o mais importante no uso em alimentos. Ele é extraído do inseto cochonilha após secos e possui um pigmento vermelho (Ribeiro, 2007).

As betalaínas são pigmentos nitrogenados hidrossolúveis que podem ser divididos em betacianinas e betaxantinas, são conhecidas 50 betacianinas que se dividem em betanina, gonferina, amarantina e bunganvília, e 20 betaxantinas (Constant; Freitas, 2021). A beterraba é uma das principais fontes desse pigmento, especialmente a betacianinas, cada 100 g do vegetal pode conter mais de 200 mg de betanina. (Os corantes [...], [2010?], p. 28-39).

A betanina, assim como as antocianinas são influenciadas pelo pH do meio, com excelente estabilidade entre pH 4 e 5, mas alguns fatores como a presença de luz, oxigênio e altas temperaturas podem levar o pigmento a degradação (Ribeiro 2007; Os corantes [...], [2010?], p. 28-39).

Os principais corantes com benefícios bioativos são os carotenóides, licopeno, luteína e zeaxantina, bixina e norbixina, clorofilas, polifenóis, ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, cúrcuma e curcumina, carmim, betalaínas e pigmentos de monascus e tagetes (Volp, Takeuchi, Stringheta, 2021).

2.2 Betalaínas

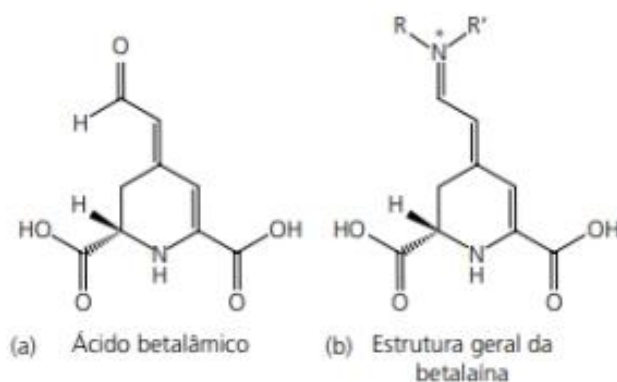
As betalaínas são pigmentos nitrogenados hidrossolúveis que estão localizados no vacúolo das células vegetais, sendo responsáveis pelas cores vermelha, amarela, rosa e laranja

em flores e frutas (Volp, Takeuchi, Stringheta, 2021). Pode ser dividida em dois grupos baseados na sua estrutura, sendo a betacianinas (vermelho ao violeta) e betaxantinas (amarelo). Já foram descritos aproximadamente 50 tipos de betacianinas e 20 de betaxantinas (Volp, Takeuchi, Stringheta, 2021).

Quimicamente as betalaínas possuem uma estrutura baseada no ácido betalâmico que se ligam a um radical R1 ou R2. Esses radicais podem ser átomos de hidrogênio até grupos mais complexos. Essas variações irão influenciar a tonalidade e estabilidade do pigmento (Volp; Renhe; Stringueta, 2009).

A estrutura das betalaínas resulta da condensação do ácido betalâmico com uma amina primária ou secundária (Figura 2). Esses pigmentos compartilham um sistema de ressonância estabilizado de 1,7-diaza-heptametina. Quando o grupo R não participa da conjugação desse sistema, formam-se as betaxantinas, com absorção máxima de luz abaixo de 480 nm e coloração amarelo-alaranjada. Se a conjugação se estende até R', formam-se as betacianinas, com absorção máxima abaixo de 540 nm, resultando em coloração vermelho-violeta (Damodaran; Parkin, 2019).

Figura 2 - Estrutura das betalaínas



Fonte: Damodaran; Parkin (2019).

As betalaínas são antioxidantes naturais, além de ser descrita como uma substância envolvida na proteção da partícula do colesterol LDL contra modificações oxidativas (Volp, Takeuchi, Stringheta, 2021).

A betalaína pode ser degradada pela luz e oxigênio, com efeitos cumulativos. Antioxidantes como ácidos ascórbico e isoascórbico ajudam a proteger, mas a oxidação do ácido ascórbico é acelerada por metais como cobre e ferro, o que reduz sua eficácia. A

degradação do pigmento pode ser controlada com agentes quelantes, como o EDTA, além de sistemas proteicos nos alimentos que também protegem a cor (Damodaran; Parkin, 2019).

A betalaína pode ser utilizada como corante para diversos produtos como geleias, sorvetes, doces, sucos, produtos cárneos e outros. Attia *et al.* (2013) fizeram um estudo de diferentes níveis de aplicação de betalaína em gelatina e sorvete comparando com uma amostra controle com pigmento sintético, os resultados obtidos foram que em amostras de gelatina com 0,30 % de betalaína mostraram-se com características mais próximas do controle, já no sorvete a amostra com 0,20 % teve resultados muito parecidos com o controle. Em outro estudo feito por Mehta *et al.* (2024), extraíram betalaína do figo-da-índia e encapsularam com glicerol por ultrassom aplicando em balas de gelatina, a encapsulação manteve sua coloração e propriedades bioativas por mais tempo, assim as balas em comparação às com corante sintético apresentaram boa coloração e aceitação visual. López-Solórzano *et al.* (2024) extraíram a betalaína da beterraba vermelha, beterraba dourada e da pera espinhosa para aplicar em queijo cottage, em produtos embalados observou-se que não houve diferença no teor de betalaína e cor dos produtos mantidos a 4 °C mesmo após 10 dias, porém nos que permaneceram aberto o pigmento extraído da casca da pera espinhosa foi o que manteve as características por mais tempo. O pigmento também pode ser aplicado em filmes como indicadores em rótulos inteligentes, em 2022 González *et al.* aplicaram betalaína como indicador da deterioração da pescada argentina e comprovaram a capacidade do pigmento em reagir ao teor de nitrogênio básico volátil total, assim podendo ser utilizado como um indicador da deterioração de pescados.

As betalaína se destacam dentre os corantes naturais que podem atuar como compostos bioativos. Martinez e colaboradores em 2024 fizeram uma revisão sobre os efeitos farmacológicos e fisiológicos da betalaína em estudos *in vitro*, *in vivo* e clínicos, sendo esses efeitos: antioxidantes, anti-inflamatórios, ação hipolipemiante e antidiabética, efeito cardiovascular (reduz pressão arterial), efeito hepatoprotetor, neuroproteção e potencial anticarcinogênico. De acordo com Volp; Renhe; Stringueta (2009), estudos indicam que a betalaína está entre os dez antioxidantes naturais mais potentes, com potencial de prevenção de câncer de pele e pulmão, além de inibição da oxidação lipídica.

2.2.1 Compostos bioativos

Os compostos bioativos são metabólitos secundários das plantas e microrganismos, estão diretamente relacionados ao sistema de defesa, atuando na defesa contra radiação ultravioleta, insetos e microrganismos (Cominetti; Cozzolino, 2020). Muitos desses

compostos são considerados nutracêuticos, isso é, são compostos de origem natural que possuem propriedades medicinais, auxiliando na prevenção de algumas doenças (Damodaran; Parkin, 2019).

Os compostos bioativos não possuem níveis mínimos necessários de ingestão já que sua ausência de consumo, não gera carência ao organismo tendo apenas funções positivas contribuindo para a otimização da saúde e a prevenção de doenças, mas sem serem essenciais à sobrevivência (Pimentel; Elias; Philippi, 2019).

As principais ações dos compostos bioativos são: antioxidantes, anti-inflamatórios, antimicrobianos, modulação imunológica e ação antiviral. Isso ocorre, pois, esses compostos têm capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, assim diminuindo o estresse oxidativo e prevenindo danos celulares, além de reduzirem a expressão de citocinas pró-inflamatórias, inibirem enzimas inflamatórias e a replicação viral (Soares *et al.*, 2015).

Os antioxidantes são substâncias que podem ser empregadas na conservação de alimentos, pois retardam processos de deterioração, rancificação e descoloração causados pela oxidação (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). Além disso, esses compostos podem modular sistemas antioxidantes endógenos e proteger lipídios, proteínas e DNA contra danos oxidativos, estando associados à redução do risco de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares, câncer e distúrbios neurodegenerativos (Li *et al.*, 2016).

De acordo um estudo feito por Lobato; Barros; Lima em 2022 substâncias como resveratrol, genisteína, fucoxantina, ácido logânico e piceatannol possuem capacidade de reduzir significativamente o acúmulo lipídico e modular a expressão gênica envolvida na adipogênese, sendo os principais alimentos funcionais para esses fins chá verde, gengibre, jabuticaba, peixe e feijão.

2.3 Encapsulação

A produção de cápsulas iniciou na década de 1930, mas a partir de 1970 a produção expandiu significativamente ganhando destaque em diversas áreas (Fu; Hu, 2017). A encapsulação é uma técnica muito utilizada para produtos alimentícios, farmacêuticos, cosméticos e têxteis (Pimentel *et al.*, 2007). Os corantes naturais comercializados recentemente são encapsulados, por isso suas características são mantidas por um período maior ao serem adicionados a alimentos (Rigolon; Oliveira; Stringheta, 2021).

Há diversas razões para encapsular produtos bioativos em alimentos como uma forma de conservação desses produtos que são sensíveis à luz, oxigênio, calor, umidade e pH, assim mantendo sua ação por um período maior, não alterando a matéria-prima, como a

transformação de líquidos em pós para a utilização em matérias-primas sólidas, além de muitas outras (Nezamdoost-Sani; Amiri; Khaneghah, 2024).

Os métodos podem ser divididos em três categorias, sendo eles: métodos físicos, químicos e físico-químicos. O método físico utiliza meios físicos e mecânicos, como spray-drying, liofilização e extrusão, a formação das microcápsulas acontece por meio da transformação sólido-líquido por aquecimento ou redução da solubilidade pela evaporação do solvente. Por meio de reações químicas, monômeros de baixa massa molecular polimerizam, formando uma casca polimérica ao redor do material encapsulado, assim acontece o método químico. No método físico-químico a formação da casca acontece quando materiais previamente dissolvidos precipitam a solução em resposta a variações de temperatura, pH ou concentração de eletrólitos, depositando-se gradualmente sobre a superfície do núcleo. A estrutura das microcápsulas vai depender do material de núcleo, sólidos mantêm seu formato após a microencapsulação e líquidos formam esferas (Fu; Hu, 2017).

O núcleo da cápsula irá conter os sólidos, líquidos ou gases que se deseja proteger, já a camada externa será um revestimento a partir de um material de parede, sendo os mais comuns de serem utilizados a etilcelulose, carboximetilcelulose de sódio, hidroxipropilmetilcelulose, gelatina, poli (ácido láctico-glicólico), quitosana, alginato de sódio e poliésteres (Nezamdoost-Sani; Amiri; Khaneghah, 2024).

A encapsulação utiliza um ou mais material polimérico, conhecido como material de parede, para envolver um composto ativo com o objetivo de proteger esse composto aumentando sua durabilidade e estabilidade o protegendo de condições que possam o deteriorar, como luz, oxigênio, umidade, calor, pH e outros (Junior; Spinelli; Sórís, 2024).

A seleção apropriada do material de parede garante o isolamento das propriedades do composto presente no núcleo em relação ao ambiente externo, prevenindo possíveis alterações indesejadas. Essa característica torna a encapsulação adequada para a proteção de materiais termocrômicos, como a betalaína (Fu; Hu, 2017).

Santos e colaboradores (2020) em seu estudo sobre a influência do material de parede sobre a microencapsulação do óleo de pequi utilizaram goma arábica e maltodextrina, sendo que a goma arábica proporcionou menor atividade de água e maior capacidade antioxidante, enquanto a maltodextrina resultou em maior eficiência de encapsulamento e a mistura 25:75 de goma arábica e maltodextrina gerou partículas menores e com menor potencial zeta. Em sua tese Lopes (2020) microencapsulou o *Lactobacillus acidophilus* La-05 em alginato/quitosana aplicado em creme de ricota caprino, onde o revestimento com quitosana reduziu de forma significativa a porosidade e permeabilidade das cápsulas de alginato, assim

criando uma camada externa mais densa e estável, além de aumentar a resistência das micropartículas às condições adversas de armazenamento, pH ácido, salinidade e calor. Em 2012 Fujiwara microencapsulou estigmasterol utilizando alginato de sódio como matriz principal, quitosana como revestimento e amido para preenchimento, o uso da quitosana proporcionou maior resistência mecânica, menor porosidade e melhor integridade estrutural das microcápsulas e do amido melhorou a morfologia, a esfericidade e a estabilidade.

Existem diversas técnicas empregadas na encapsulação, como a secagem por atomização, coacervação complexa, extrusão e liofilização. Dentre elas, a liofilização se destaca por sua capacidade de preservar as características do núcleo, uma vez que o processo ocorre sob baixas temperaturas, assim se destacando como um método de conservação dos encapsulados. Esse fator é essencial, pois a maioria dos compostos utilizados na encapsulação é sensível ao calor, podendo sofrer degradação quando exposta a altas temperaturas (Passaglia, 2019).

A liofilização é um processo de secagem baseado na sublimação, em que a água passa do estado sólido diretamente para o gasoso, sem atravessar a fase líquida (Passaglia, 2019). Por operar em baixas temperaturas e pressões reduzidas, é considerada o método mais eficiente para a conservação de substâncias voláteis e termossensíveis, evitando perdas de compostos aromáticos e bioativos (Borgognoni, 2005). Na indústria de alimentos, é amplamente utilizada em produtos como frutas, legumes e sopas, pois mantém características sensoriais e nutricionais, como cor, textura, sabor e valor nutricional (Silva, 2016).

O processo ocorre em três etapas principais: congelamento, secagem primária e secagem secundária, isso resulta em produtos com baixa umidade e atividade de água reduzida, dificultando o crescimento microbiano e aumentando sua estabilidade (Pereira, 2015; Merivaara, 2021). Apesar do custo mais elevado, a liofilização se destaca por não degradar os compostos sensíveis, ao contrário de métodos que empregam calor. No entanto, os produtos liofilizados apresentam tendência a reabsorver umidade, exigindo armazenamento em embalagens adequadas (Oliveira, 2021).

Na encapsulação, a liofilização é amplamente empregada como método de conservação de materiais sensíveis, permitindo a obtenção de pós estáveis e com alta retenção de compostos bioativos. Estudos comprovam sua eficiência, como o de Seke e colaboradores (2021), que demonstraram a preservação da cor e da atividade antioxidante do corante de ameixa-de-natal, e o de Shadordizadeh e colaboradores (2023), que observaram aumento da estabilidade e da capacidade antioxidante do corante de *Indigofera tinctoria* microencapsulado

com maltodextrina. Assim, a técnica se confirma como um método eficaz para conservar e estabilizar compostos encapsulados, garantindo sua funcionalidade e qualidade final.

2.3.1 Material de parede

A escolha do material de parede influencia diretamente na eficiência da encapsulação, assim como na estabilidade e funcionalidade. Para ele ser considerado ideal deve apresentar baixa viscosidade mesmo em altas concentrações, fácil manipulação, higroscopicidade reduzida, não reagir com o agente ativo, capacidade de encapsular e reter eficientemente o agente ativo, facilidade em retirar o solvente utilizado no processo, alta eficiência na proteção do agente ativo, solubilidade em solventes de uso comum, ausência de sabor indesejável, apresentar viabilidade econômica e além disso para ser aplicado em alimentos deve possuir grau alimentício e ser biodegradável (Pereira *et al.*, 2018).

Diversos materiais são utilizados como agentes encapsulantes, entre os mais utilizados estão carboidratos, lipídeos e proteínas, pois apresentam características favoráveis para a criação de revestimento capaz de proteger compostos ativos ampliando a sua estabilidade (Sobrinho; Farias, 2012). Dentre esses materiais a maltodextrina e a goma arábica são favorecidas pela sua solubilidade, biocompatibilidade e propriedades formadoras de filme.

2.3.1.1 Maltodextrina

A maltodextrina é um polissacarídeo constituído por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas α 1-4, podendo apresentar pequenas ramificações decorrentes das ligações α -(1 $\rightarrow$ 6) (Barreto *et al.*, 2015; Oliveira, 2025). Ela é formada através da hidrólise do amido (milho, arroz, batata, amido ou trigo) por ação ácida ou enzimática (Lourenço; Moldão-Martins; Alves, 2020), apresentando diferentes dextroses equivalentes (DE) que indicam o número de hidrólises do amido, que variam de 3 a 20, resultando em polímeros que exibem propriedades físicas e químicas distintas (Costa *et al.*, 2015; Oliveira, 2025). Produtos com valores de DE menores que 20 são definidos como maltodextrinas. A DE de um produto de hidrólise equivale ao seu poder redutor, como uma porcentagem do poder redutor da dextrose pura (D-glicose), sendo inversamente relacionada ao seu peso molecular médio (Carneiro, 2011).

É amplamente utilizada em processos de encapsulação devido a sua baixa higroscopicidade, alta solubilidade, baixo custo, sabor neutro e facilidade de ser encontrada (Pereira, *et al.*, 2018; Lourenço; Moldão-Martins; Alves, 2020). Em altas concentrações, forma uma rede de cadeias de dupla hélice e longos agregados de cadeia. Como substância

higroscópica e solúvel em água, pode assumir uma estrutura helicoidal elástica com núcleo hidrofóbico, permitindo sua complexação com compostos bioativos (Oliveira, 2025).

O principal problema na sua utilização como material de revestimento é a baixa capacidade de formação de emulsões (Costa *et al.*, 2015). Por essa razão utiliza-se uma combinação com outros biopolímeros tensoativos, como a goma arábica, que apresenta alta eficiência de encapsulação e boa capacidade de formação de filmes (Gül, 2025).

2.3.1.2 Goma arábica

A goma arábica é considerada a mais antiga das gomas conhecidas, com registros de utilização que remontam a aproximadamente 2.650 a.C. (Barreto *et al.*, 2015). Ela também é conhecida como goma acácia e pode ser obtida a partir do exsudado de árvores do gênero *Acácia* nativas das regiões subdesérticas da África, com destaque para o Sudão (Silva; Ueno; Sakanaka; Shirai, 2020).

A goma arábica é um polissacarídeo composto por cadeias de β -D-galactopiranosil unidas por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 3). A essa estrutura estão ligadas de duas a quatro cadeias laterais, também compostas por unidades de β -D-galactopiranosil ligadas em (1 $\rightarrow$ 3), que se conectam à cadeia principal por ligações (1 $\rightarrow$ 6). Tanto a cadeia principal quanto as cadeias laterais podem conter resíduos de α -L-arabinofuranosil, α -L-rhamnopiranosil, β -D-glucuronopiranosil e 4-O-metil- β -D-glucuronopiranosil (Damodaran; Parkin. 2019). Possui um peso molar que varia de 2.5×10^5 to 1.0×10^6 , contendo sais de magnésio, cálcio e potássio (Oliveira, 2025).

Ela é muito utilizada na microencapsulação devido as suas características, sendo elas: boas propriedades emulsificantes, alta solubilidade, baixa viscosidade, sabor suave e elevada estabilidade oxidativa (Costa *et al.*, 2015), além disso ela possui capacidade de formar filme e retenção de substâncias voláteis (Barreto *et al.*, 2015). Pode ser dissolvida em água quente ou fria, é estável em meios ácidos e não interage com compostos químicos (Sobrinho; Farias, 2012). Porém apesar de suas qualidades, a goma arábica possui um alto custo devido a sua limitada disponibilidade (Carneiro, 2011).

2.4 Aplicação de corantes naturais em alimentos

Devido a tendência de produtos naturais, os corantes de origem vegetal têm ganhado destaque, não só por serem naturais, mas também pelas características funcionais que muitos possuem, como capacidade antioxidantes, anti-inflamatórios, neuroproteção e potencial anticarcinogênico (Constant; Stringueta; Sandi, 2002). Tem-se observado que os corantes

naturais têm conquistado mais espaço em produtos alimentícios, a utilização deles em produtos de panificação e bebidas já foi testada e obtiveram sucesso com o uso de carotenóides e antocianinas para sua coloração (Rossi *et al.*, 2021).

O Quadro 1 mostra a aplicação de corantes naturais em produtos alimentícios.

Quadro 1 - Aplicação de corantes naturais

Autor (ano)	Corante/Fonte	Aplicação
Ferro (2015)	Curcumina	Gelatina
Almeida (2017)	Curcumina	Iogurte
Moura <i>et al.</i> (2018)	Antocianina (Hibiscus)	Bala de gelatina
Sousa (2019)	Betalaina (beterraba)	Iogurte
Rebouças (2019)	Betalaina (Pitaya)	Sorvete
Toker (2019)	Clorofila e carotenoide (microalga <i>Porphyridium cruentum</i>)	Goma de mascar
Silva <i>et al.</i> (2022)	Antocianina (capim-gordura)	Iogurte
Abdo <i>et al.</i> (2023)	Betalaina (beterraba)	Iogurte batido
Antonio <i>et al.</i> (2023)	Betalaina (beterraba)	Iogurte
Crepaldi (2023)	Betalaina (beterraba)	Bala de gelatina
Shamshad <i>et al.</i> (2023)	Antocianina (cenoura preta)	Sorvete
Júnior <i>et al.</i> (2024)	Antocianina (Batata doce roxa)	Iogurte grego
Karadag; Ozkan; Sagdic (2024)	Antocianinas (Uva)	Gelatina

Fonte: Autora (2025).

Os estudos constataam a ampla utilização de corantes naturais em diferentes produtos alimentícios, especialmente em produtos industrializados com alto uso de corantes sintéticos como: iogurtes, gelatinas, balas e sorvetes. Isso reflete a tendência da indústria em substituir

corantes sintéticos por alternativas naturais, atendendo à demanda por produtos mais saudáveis e com apelo funcional.

A efetividade da utilização dos corantes naturais depende da capacidade de controlar a matéria-prima de forma que o pigmento não seja degradado, pois os mesmos possuem o mesmo poder de colorir que os sintéticos desde que obtidos e utilizados de forma adequada (Constant; Stringueta; Sandi, 2002).

Apesar dos corantes naturais apresentarem algumas limitações como a instabilidade, a encapsulação se mostrou eficaz para a utilização desses pigmentos, protegendo-os da degradação e aumentando a estabilidade (Nabi *et al.*, 2023).

2.4.1 Gelatina

De acordo com a legislação a gelatina é um produto obtido pelo processo de hidrólise térmica, química ou enzimática do colágeno, uma proteína encontrada em cartilagens, tendões, peles, aparas ou ossos de diferentes animais. Para a obtenção é preciso que o produto passe por uma purificação, filtração, esterilização, concentração e secagem (Brasil, 2021).

A gelatina é uma substância proteica formada por um conjunto de peptídeos e proteínas, obtida por meio da hidrólise parcial do colágeno, a principal proteína estrutural presente nos tecidos conjuntivos, ossos, cartilagens, pele e tendões de animais (Mikhailov, 2023). Ela é considerada uma proteína fibrosa e insolúvel, obtida como resíduo do abate e processamento de animais (Rodrigues, 2016). A gelatina pode ser classificada de acordo com seu ponto isoelétrico, sendo a gelatina tipo A produzida por processo ácido, com ponto isoelétrico entre pH 6,0 e 9,5, já a gelatina tipo B é produzida por processo alcalino, com ponto isoelétrico entre 4,7 e 5,6 (Hosseinkhani *et al.*, 2015 *apud* Waidi; Kariim; Datta, 2024).

A gelatina tem como função principal formar geis, proporcionando estrutura e textura ao produto, ela pode ser encontrada nas versões em pó, granulada ou em folhas, sendo a mais comum a versão em pó (Marfil, 2010), por isso é muito utilizada como sobremesa, sendo um produto comercializado com sabor agradável pela adição de sacarose e aditivos, saborizante, corante e outros (Berté *et al.*, 2011).

Um estudo feito por Johann e Gräff feito em 2014 entrevistou 280 estudantes de escolas públicas e privadas de 8 a 14 anos avaliando a aceitação de produtos coloridos com corantes naturais e extrato vegetal, quanto à cor houve preferência pelas coloridas artificialmente principalmente por possuírem coloração mais intensa e atraente, porém em sabor as gelatinas coloridas com extrato de beterraba tiveram boa aceitação, se comparando

com as coloridas com o corante sintético vermelho 40. Foi observado também que à medida que a idade das crianças avançava menor era a aceitabilidade de corantes naturais.

Santos (2021) elaborou gelatinas utilizando extratos vegetais de manga, abacaxi, morango, cenoura, couve e beterraba, sendo testados de forma aquosa e liofilizada, onde as gelatinas com extratos aquosos apresentaram coloração características da matéria-prima, enquanto as gelatinas com os extratos liofilizados de couve e cenoura tiveram diferença, no extrato de couve foi obtido uma tonalidade mais clara e com precipitação e a cenoura ficou com uma tonalidade mais escura devido ao escurecimento enzimático, o extrato de beterraba não apresentou diferença significativa a matéria-prima e quanto a manga, abacaxi e morango não foi possível aplicar o extrato liofilizado em gelatina pois obtiveram um baixo rendimento.

3 METODOLOGIA

3.1 Matéria-prima

Foram utilizadas beterrabas *in natura*, adquiridas em comércio local do município de Bagé - RS, onde foram encaminhadas para o laboratório de Bioquímica e Análise de Alimentos do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA campus Bagé, sendo higienizadas com solução de hipoclorito de sódio 100 ppm por 15 minutos e após descascadas e cortadas. A gelatina sem sabor e incolor também foi adquirida em supermercado local.

Os reagentes utilizados possuíam padrão analítico e foram disponibilizados pela UNIPAMPA, sendo eles: metanol, DPPH, goma arábica, maltodextrina e água destilada.

3.1.1 Caracterização das amostras

3.1.1.1 Umidade

A umidade da beterraba foi determinada de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foi pesado 5 g da amostra em cadinho de porcelana, previamente tarado e seco, a amostra foi levada para estufa a 105°C por 24h. Seu resultado foi calculado por meio da Equação 3.

$$Umidade = \frac{N \times 100}{P} \quad (1)$$

Onde:

N: massa da amostra seca (g);

P: massa da amostra úmida (g).

3.1.1.2 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada de acordo com a metodologia de Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) com adaptações, onde é medida a capacidade de sequestro do radical estável DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila).

Para o preparo da solução mãe de DPPH foi utilizado 6 mg de DPPH em 25 mL de metanol em um frasco âmbar, após pode ser armazenada por até 7 dias a -20°C. Para a

solução de uso foi utilizado 10 mL da solução mãe e diluído em 45 mL de metanol com absorvância (abs) de $1,1 \pm 0,02$ à 517 nm.

Na análise utilizou-se 2,5 g de amostra adicionado de 10 mL de metanol, agitado para homogeneização e após permaneceu sob refrigeração de 3 a 4°C por 24 horas. Então foi feita uma centrifugação por 15 minutos e foi analisado apenas o sobrenadante.

Foi adicionado 100 µL do sobrenadante em 3,9 mL da solução uso de DPPH, deixando em repouso por 1 hora a temperatura ambiente. Por fim, foi feita a leitura da absorvância no espectrofotômetro no comprimento de onda de 527 nm que deve ser zerado com um branco contendo metanol e a solução uso DPPH.

A inibição do radical DPPH foi expressa em porcentagem, de acordo com a Equação 1.

$$\% \text{ de inibição} = \frac{abs_{branco} - abs_{amostra}}{abs_{branco}} \times 100 \quad (2)$$

3.1.1.3 Betalaínas

O teor de betacianinas e betaxantinas presente nas amostras foram determinados de acordo com a metodologia de Nilson (1970) *apud* Crepaldi (2023).

Para isso diluiu-se 0,1 g de amostra em um balão volumétrico de 10 mL, completando com a água destilada. Após foram feitas leituras em espectrofotômetro previamente zerado com água destilada. Para determinar as betacianinas foi utilizado o comprimento de onda 538 nm, as betaxantinas no comprimento de onda 480 nm e para eliminar interferente foi feita uma última leitura no comprimento de onda 600 nm.

O resultado foi calculado por meio da Equação 2 e expresso em mg/100g.

$$betalaína = \frac{(abs - abs_{600}) \times MM \times FD \times 10^2}{\epsilon \times l} \quad (3)$$

Onde:

abs: absorvância em 480 ou 536 nm;

MM: massa molar (339 g/mol para a vulgoxantina I e 550 g/mol para a betanina);

FD: fator de diluição;

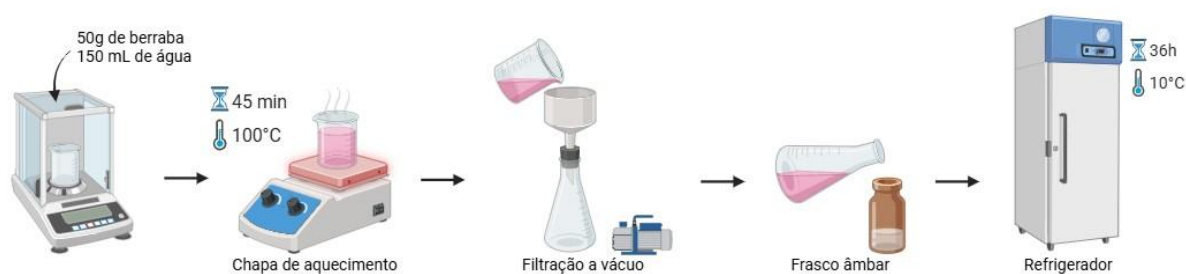
ϵ : absorvidade molar (48000 L.mol⁻¹.cm⁻¹ para a vulgoxantina I e 60000 L.mol⁻¹.cm⁻¹ para a betanina);

l: comprimento do caminho óptico.

3.2 Extração do corante

A extração do corante de beterraba seguiu de acordo com a metodologia descrita por Ferreira *et al.* (2019) onde o solvente utilizado foi água destilada conforme a Figura 4.

Figura 3 - Metodologia da extração do corante



Fonte: Autora (2025).

Inicialmente foram pesadas 50 g de beterraba *in natura*, previamente higienizadas e cortadas em cubos com aproximadamente 1 cm², e adicionado 150 mL de água destilada, então a solução foi aquecida até a fervura e reduzir metade do seu volume inicial, sendo o tempo médio para isso ocorrer, 45 minutos. Após a extração, a solução permaneceu em repouso até atingir temperatura ambiente (aproximadamente 20°C) e filtrada a vácuo para retirar o sobrenadante, logo após, foi transferida para um frasco âmbar e armazenada no refrigerador por 36 horas a 10°C.

3.2.1 Análise dos extratos

3.2.1.1 Atividade antioxidante

A análise da atividade antioxidante foi feita conforme descrito nos itens 3.1.1.2.

3.2.1.2 Betalaínas

A análise do teor de betalaína foi feita conforme descrito nos itens 3.1.1.3.

3.3 Encapsulação do corante

O processo de encapsulação do corante de betalaína seguiu a metodologia de Zardo (2014) com adaptações.

Foram feitos 4 tratamentos, onde o material de parede foi variado. O material de parede foi adicionado ao extrato com a concentração de 15%, após foi agitado por 10 minutos para homogeneização da solução. A Tabela 2 apresenta os materiais de parede.

Tabela 2 - Material de parede

Tratamento	Material de parede
T1	Extrato puro
T2	Goma arábica
T3	Goma arábica + maltodextrina (1:1)
T4	Maltodextrina

Fonte: autora (2026).

Após a solução foi congelada a -18°C e submetida à liofilização sob pressão reduzida. Então o pó seco e estável foi armazenado em recipientes herméticos, protegidos da luz e da umidade, sob refrigeração ($\approx 4^{\circ}\text{C}$) até sua utilização.

3.3.1 Análise do corante encapsulado

Após a encapsulação foram realizadas as análises de atividade antioxidante e betalaína conforme descritos nos itens 3.1.1.2 e 3.1.1.3, respectivamente, além das avaliações descritas abaixo.

3.3.1.1 Microscopia óptica

A morfologia foi analisada em um microscópio ótico na ampliação de $400\times$. As imagens foram capturadas através da câmera acoplada ao microscópio.

3.4 Aplicação do corante encapsulado em gelatinas

Em 10 g de gelatina incolor foi adicionado o corante encapsulado seco na proporção de 50%. Essa mistura foi armazenada em embalagens plásticas para simular as comerciais e foi armazenado a temperatura ambiente ao abrigo da luz, sendo avaliada uma vez por semana durante o total de quatro semanas.

3.4.1 Análises de estabilidade da gelatina

3.4.1.1 pH

O pH das gelatinas foi determinado de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Para isso, 1 g da amostra foi diluída em 10 mL de água destilada, após, com o equipamento (pHmetro) calibrado foi feita a leitura.

3.4.1.2 Umidade

A análise do teor de umidade foi feita conforme descrito nos itens 3.1.1.1.

3.4.1.3 Cor

A análise de cor utilizou o colorímetro Lovebond que determina os parâmetros das cores de acordo com o sistema CIELAB. Onde pode ser obtido os parâmetros L*, representando a luminosidade, a*, representando a coordenada do eixo vermelho/verde e b*, representando a coordenada do eixo azul/amarelo.

Para essa análise a gelatina foi preparada com água seguindo as instruções de uso da gelatina convencional.

As Equações 4 e 5 correspondem a saturação e ângulo de tonalidade, respectivamente.

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

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

Onde:

C: saturação (croma);

h*: ângulo de tonalidade (HUE).

3.4.1.4 Betalaína

A análise do teor de betalaína foi feita conforme descrito nos itens 3.1.1.3.

3.4.1.5 Atividade antioxidante

A análise da atividade antioxidante foi feita conforme descrito nos itens 3.1.1.2.

3.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram expressos em médias e desvio padrão referente às análises realizadas em triplicata. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização das amostras

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para as análises de umidade, teor de betalaína, betaxantina e betacianina e atividade antioxidante da beterraba *in natura*.

Tabela 3 - Análises da beterraba *in natura*

Análise	<i>In natura</i>
Umidade (%)	64,21 ± 1,95
Betalaína (mg/100g)	40,08 ± 4,48
Betaxantina (mg/100g)	18,73 ± 2,27
Betacianina (mg/100g)	21,34 ± 2,21
Atividade antioxidante (%)	33,85 ± 3,51

Fonte: Autora (2026). n = 3, média ± desvio padrão

O valor da umidade da beterraba *in natura* é consideravelmente inferior aos informados pela TACO (Unicamp, 2011), onde a beterraba crua possui umidade de 86%. Essa diferença pode ser atribuída a diversos fatores, como a cultivar utilizada, o estado de maturação, as condições de cultivo, o tempo e as condições de armazenamento, além do preparo das amostras antes das análises. A exposição ao ambiente e processo de corte pode favorecer perdas de água, reduzindo o teor de umidade observado. Além disso, diferenças metodológicas entre os estudos também podem contribuir para essa variação.

A beterraba apresentou 40,08 mg/100 g de betalainas totais, sendo 18,73 mg/100g de betaxantina e 21,34 de betacianina. Na literatura. Bovi *et al.* (2019) encontraram um teor de betalaína total de 31,42 mg/100g, já Kaba, Zannou, Redha e Koca em um estudo de 2024 indicam faixas amplas para betacianina e betaxantina, de 2,3 a 70 mg/100g para betacianinas e de 2,1 a 46 mg/100g para betaxantinas. Essa ampla faixa demonstra que o teor de betalainas pode variar significativamente em função da cultivar, condições de cultivo, grau de maturação, processamento e dos métodos analíticos utilizados.

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos para as análises de teor de betalaína, betaxantina e betacianina e atividade antioxidante no extrato de beterraba.

Tabela 4 - Análise do extrato de beterraba

Análise	Extrato
Betalaína (mg/100g)	19,09 ± 0,67
Betaxantina (mg/100g)	9,72 ± 0,88
Betacianina (mg/100g)	9,37 ± 0,28
Atividade antioxidante (%)	74,63 ± 7,44

Fonte: Autora (2026). n = 3, média ± desvio padrão.

O extrato apresentou 19,09 mg/100 g de teor de betalaína totais, esses resultados sugerem que o processo de extração promoveu degradação parcial desses pigmentos, que são reconhecidamente sensíveis à temperatura, à presença de oxigênio, à luz e a variações de pH. Durante o aquecimento necessário para obtenção do extrato, parte das betalaínas pode ter sofrido degradação química, reduzindo sua concentração final.

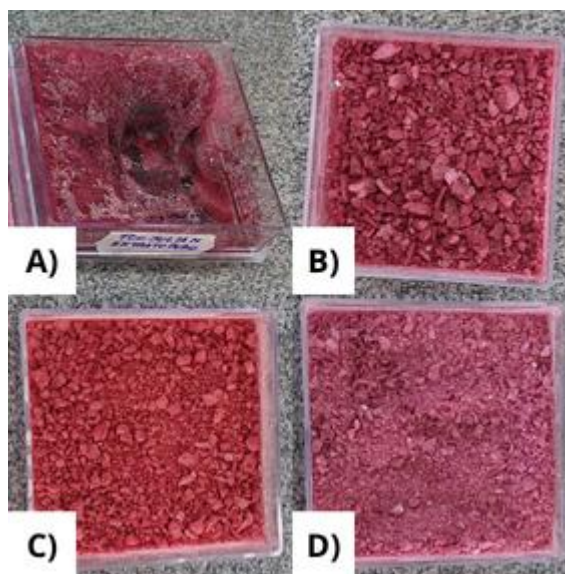
Diferentemente dos pigmentos, a atividade antioxidante do extrato aumentou após o processamento atingindo 74,63% de inibição do radical DPPH. O valor situa-se dentro da faixa observada por Jakubczyk *et al.* (2023) que encontraram valores entre 54,76% a 79,07% de inibição do radical DPPH. Isso indica que a ruptura da estrutura celular promovida pelo processamento facilita a liberação dos compostos bioativos, pois existem outros componentes que possuem propriedades antioxidantes na composição da beterraba como carotenoides, flavonoides e vitaminas (Panghal, 2017), que aumentando sua disponibilidade para reagir com o radical DPPH.

4.2 Corante encapsulado

A Figura 4 apresenta imagem dos corantes liofilizados com os diferentes materiais de parede.

O extrato puro durante o processo de liofilização sofreu uma reação que inviabilizou sua aplicação, resultando em um produto tipo caramelizado. Os outros corantes microencapsulados com goma arábica (GA), maltodextrina (M) e a combinação de ambos (GA+M) apresentaram diferença visual de cor, indicando que os materiais de parede tiveram efeito sobre a proteção e estabilidade dos pigmentos.

Figura 4 - Corante liofilizado. A) Extrato puro; B) Goma arábica + Maltodextrina; C) Maltodextrina; D) Goma arábica



Fonte: Autora (2026).

A Tabela 5 apresenta os valores das análises de teor de betalaína, betaxantina e betacianina e atividade antioxidante do corante encapsulado com GA, M e GA+M.

Tabela 5 - Análise do corante encapsulado

Análise	GA	M	GA+M
Betalaína (mg/100g)	61,16 ^c ± 0,19	108,94 ^a ± 5,54	83,09 ^b ± 1,75
Betaxantina (mg/100g)	27,02 ^c ± 0,33	54,06 ^a ± 6,74	39,97 ^b ± 2,10
Betacianina (mg/100g)	34,14 ^b ± 0,15	55,75 ^a ± 1,73	42,16 ^b ± 0,99
Atividade antioxidante (%)	7,34 ^b ± 1,18	20,17 ^a ± 1,43	7,09 ^b ± 0,32

Fonte: Autora (2026).

Médias ± Desvio padrão acompanhados de letras minúsculas diferentes na linha representam diferenças estatísticas para teste de Tukey ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados demonstram que a maltodextrina (M) foi o material de parede mais eficaz na preservação das betalaínas totais (108,94 mg/100 g), betacianinas (55,75 mg/100 g) e betaxantinas (54,06 mg/100 g), diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos. A combinação GA+M apresentou valores intermediários para os pigmentos avaliados, enquanto a goma arábica (GA) resultou nas menores concentrações.

Esse comportamento pode ser explicado pelas características físico-químicas da maltodextrina. Esse material possui elevada solubilidade em água, baixa viscosidade em altas concentrações e boa capacidade de formação de matriz vítrea durante a secagem, reduzindo a mobilidade molecular e limitando a exposição dos pigmentos ao oxigênio, à luz e ao calor (Lourenço; Moldão-Martins; Alves, 2020). Essas propriedades favorecem a proteção das betalaínas contra processos de degradação térmica e oxidativa, contribuindo para maior estabilidade do corante microencapsulado.

Os resultados obtidos estão de acordo com estudos que demonstram a eficiência da maltodextrina na retenção de pigmentos naturais. Trindade *et al.* (2023) observaram teores de 239,9 mg/100 g de betalaínas totais, 141,5 mg/100 g de betacianinas e 82,4 mg/100 g de betaxantinas utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Embora esses valores sejam superiores aos encontrados no presente estudo, diferenças na concentração do agente encapsulante e condições de processamento podem justificar essa variação. Da mesma forma, Shofinita, Fawwaz e Achmadi (2023) relataram concentrações de betalaínas entre 90,71 e 135,98 mg/100 g utilizando maltodextrina com 10 DE, faixa que engloba os resultados obtidos neste trabalho e reforça o uso desse material na preservação dos pigmentos.

É importante destacar que a relação entre betacianinas e betaxantinas permaneceu equilibrada entre os tratamentos, indicando que os grupos de pigmentos responderam de maneira semelhante ao processo de encapsulação. Entretanto, as betacianinas apresentaram maior concentração em todos os tratamentos, comportamento esperado, já que esses pigmentos representam a principal fração das betalaínas presentes na beterraba e tendem a estar em maiores concentrações no material vegetal.

Em relação à atividade antioxidante, a maltodextrina também apresentou desempenho significativamente ($p < 0,05$) superior (20,17%), enquanto os tratamentos contendo apenas goma arábica (7,34%) e a combinação GA+M (7,09%) não diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). Esse resultado acompanha a maior retenção de betalaínas observada para a maltodextrina, uma vez que esses pigmentos são reconhecidos por sua elevada capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio.

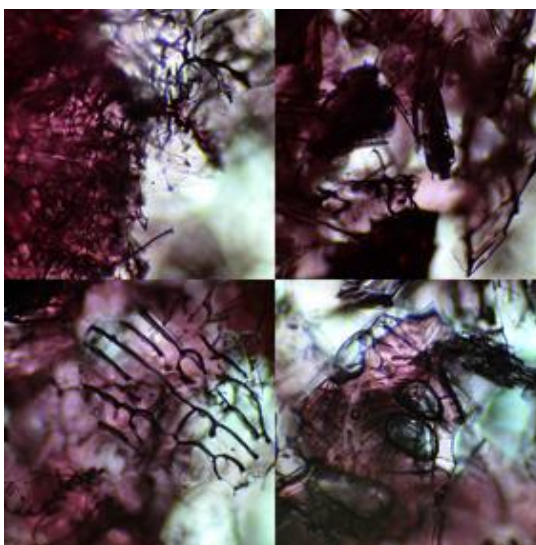
Os resultados encontrados confirmam estudos da literatura, Yousefi *et al.* (2022), ao otimizar a encapsulação de extrato de beterraba, verificaram que formulações contendo 15% de maltodextrina associada a 7,5% de goma arábica proporcionaram maior retenção de compostos fenólicos totais e elevada atividade antioxidante, evidenciando que tanto a escolha quanto a proporção dos materiais de parede influenciam significativamente ($p < 0,05$) a preservação dos compostos bioativos.

Segundo Mkhari, Kaseke e Fawole (2023), a atividade antioxidante da beterraba encapsulada com maltodextrina varia entre 17% e 28%, dependendo da cultivar, das condições de cultivo e da metodologia analítica utilizada. O valor obtido para o tratamento contendo maltodextrina (20,17%) encontra-se dentro dessa faixa, indicando que o processo de encapsulação foi eficiente em preservar parte significativa do potencial antioxidante do extrato.

De modo geral, os resultados evidenciam que a maltodextrina foi o encapsulante mais eficiente para a preservação dos pigmentos betalânicos e da atividade antioxidante do corante em pó obtido a partir da beterraba. Esses achados reforçam o potencial desse material de parede para o desenvolvimento de corantes naturais com maior estabilidade química e funcional, ampliando suas possibilidades de aplicação na indústria de alimentos como alternativa aos corantes sintéticos.

A Figura 5 apresenta um conjunto de imagens capturadas pelo microscópio óptico do corante encapsulado com maltodextrina apresentando sua morfologia.

Figura 5 - Análise microscópica do corante com maltodextrina



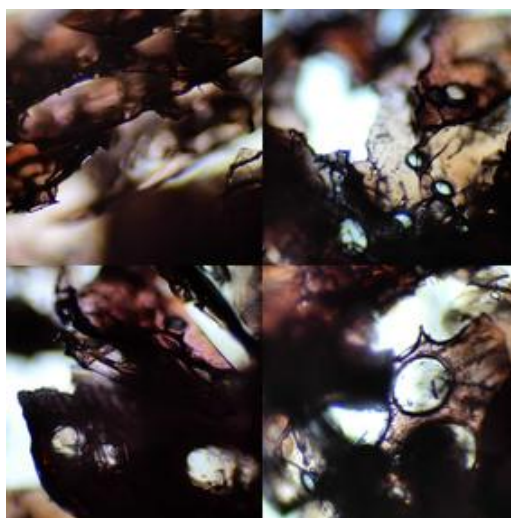
Fonte: Autora (2026).

Pode-se observar na Figura 5 que corante encapsulado com maltodextrina apresenta estruturas irregulares e aglomeradas, com superfície rugosa e porosa. Observa-se uma rede menos compacta e distribuição heterogênea do corante, sugerindo agregação das partículas e formação de uma parede encapsulante menos uniforme. A maltodextrina é amplamente utilizada na microencapsulação devido à sua alta solubilidade em água, baixo custo e capacidade de formar filmes. Entretanto, sua baixa capacidade emulsificante e elevada

higroscopicidade podem favorecer a formação de partículas mais porosas e rugosas, comprometendo a uniformidade da cápsula (Lopes; Coutinho; Quadri, 2019). Essas características podem reduzir a eficiência do encapsulamento e a proteção do corante contra fatores como oxidação e luz.

A Figura 6 também apresenta um conjunto de imagens da morfologia do corante encapsulado com goma arábica.

Figura 6 - Análise microscópica do corante com goma arábica

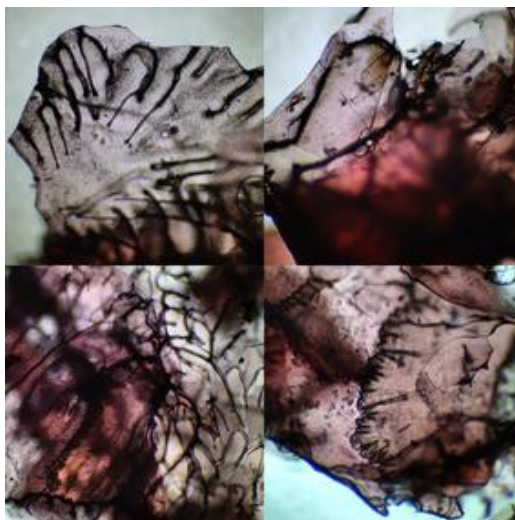


Fonte: Autora (2026).

A Figura 6 apresenta uma encapsulação com estruturas mais definidas e esféricas, superfície mais lisa e menor porosidade em comparação à maltodextrina. Observa-se menor agregação das partículas e uma distribuição mais homogênea do corante, indicando maior integridade das paredes encapsulantes. A goma arábica destaca-se por suas propriedades emulsificantes e capacidade de formar filmes, favorecendo a obtenção de estruturas mais uniformes e com maior eficiência de encapsulamento (Mangope; Kaseke; Fawole, 2024; Higuira, 2013). Essas características contribuem para uma melhor proteção do corante e maior estabilidade frente a fatores externos.

E por fim a Figura 7 apresenta o conjunto de imagens do corante encapsulado com a combinação de maltodextrina e goma arábica.

Figura 7 - Análise microscópica do corante com a combinação GA+M



Fonte: Autora (2026).

A Figura 7 apresenta cápsulas mais compactas e menos porosas do que aquelas obtidas apenas com maltodextrina. Embora ainda sejam observadas pequenas irregularidades superficiais e alguns filamentos, estas ocorrem em menor intensidade, com distribuição mais homogênea do corante. A associação entre goma arábica e maltodextrina combina as propriedades de ambos os materiais, favorecendo a formação de uma parede encapsulante mais uniforme e densa (Schallenberger, 2025; Landim, 2008). Essa combinação pode aumentar a eficiência do encapsulamento e proporcionar maior proteção e estabilidade ao corante em comparação com o uso dos agentes de forma isolada.

4.3 Aplicação do corante em gelatinas

Por apresentar resultados significativamente ($p < 0,05$) superiores nas análises de betalaína e atividade antioxidante foi escolhida a maltodextrina como material de parede.

A Tabela 6 apresenta os valores da análise de estabilidade do corante aplicado em gelatina quanto a umidade, teor de betalaína, betacianina, betaxantina e atividade antioxidante ao longo das quatro semanas.

A umidade da gelatina apresentou um aumento gradual e estatisticamente significativo ($p < 0,05$) da semana 1 (9,55%) para a semana 4 (10,70%). Este aumento na umidade pode influenciar a estabilidade dos pigmentos, uma vez que a água pode atuar como plastificante e aumentar a mobilidade molecular, facilitando reações de degradação.

Tabela 6 - Análise de estabilidade da gelatina

Análise	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Umidade (%)	9,55 ^c ± 0,10	10,20 ^b ± 0,18	10,47 ^{ab} ± 0,06	10,70 ^a ± 0,08
Betalaína (mg/100g)	47,00 ^a ± 11,23	30,90 ^a ± 0,55	28,53 ^a ± 2,79	44,03 ^a ± 4,74
Betaxantina (mg/100g)	27,12 ^a ± 5,09	16,35 ^a ± 2,05	16,21 ^a ± 0,25	24,65 ^a ± 1,09
Betacianina (mg/100g)	11,86 ^a ± 5,19	15,39 ^a ± 0,30	12,32 ^a ± 2,54	19,39 ^a ± 3,64
Atividade Antioxidante	2,30 ^a ± 0,42	3,80 ^a ± 0,26	2,04 ^a ± 1,11	2,08 ^a ± 1,31
pH	5,5	5,54	5,28	5,17

Fonte: autora (2026).

Médias ± Desvio padrão acompanhados de letras minúsculas diferentes na linha representam diferenças estatísticas para teste de Tukey ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Os teores de betalaína total, betacianinas e betaxantinas apresentaram oscilações ao longo do período de armazenamento, porém não houve diferença significativas ($p < 0,05$) entre eles ao longo das 4 semanas, as variações que houveram podem ser causadas pela heterogeneidade da matriz da gelatina. As betalaínas são pigmentos hidrossolúveis cuja estabilidade é influenciada por fatores como pH, temperatura, luz e presença de oxigênio. A atividade antioxidante da gelatina também não apresentou diferença estatisticamente significativas ($p < 0,05$) durante o período de armazenamento.

O pH da gelatina manteve-se relativamente estável, variando de 5,5 na semana 1 para 5,17 na semana 4. Pequenas variações de pH podem afetar a cor e a estabilidade das betalaínas, embora a faixa observada ainda esteja dentro dos limites de estabilidade para esses pigmentos. A faixa de pH observada (5,17 a 5,54) é considerada favorável à estabilidade desses pigmentos, que apresentam maior estabilidade em valores de pH entre 4 e 7 (Otálora; Wilches-Torres; Castaño, 2023). Sendo classificada como uma gelatina tipo B, ou seja produzida por processo alcalino (Hosseinkhani et al., 2015 apud Waidi; Kariim; Datta, 2024).

A Tabela 7 mostra os valores da análise de cor da gelatina utilizando o sistema CIELAB:

O parâmetro L (luminosidade) aumentou significativamente ($p < 0,05$) da semana 1 (52,06) para a semana 4 (54,24), indicando que a gelatina se tornou mais clara ao longo do tempo. Isso pode ser um indicativo de alguma degradação dos pigmentos, resultando em uma menor intensidade de cor.

O valor de a^* (cromaticidade vermelho-verde) diminuiu significativamente ($p < 0,05$) de 57,71 na semana 1 para 53,85 na semana 4. Uma diminuição no valor de a^* indica uma perda da intensidade da cor vermelha, que é a principal característica das betacianinas. Essa perda de intensidade vermelha pode ser atribuída à degradação das betacianinas, que são os principais pigmentos responsáveis pela coloração avermelhada.

Tabela 7 - Análise de cor das gelatinas

Semana	L	a^*	b^*	h^*	C
1	$52,06^c \pm 0,53$	$57,71^a \pm 0,21$	$33,80^a \pm 0,22$	0,53	$63,88^s \pm 0,13$
2	$53,43^{ab} \pm 0,15$	$57,26^b \pm 0,03$	$25,12^d \pm 0,10$	0,41	$63,53^c \pm 0,02$
3	$53,19^b \pm 0,12$	$56,48^c \pm 0,04$	$31,88^b \pm 0,04$	0,51	$64,86^b \pm 0,05$
4	$54,24^a \pm 0,16$	$53,85^d \pm 0,10$	$29,58^c \pm 0,20$	0,50	$61,43^d \pm 0,16$

Fonte: Autora (2026).

Médias $\pm$ Desvio padrão acompanhados de letras minúsculas diferentes na coluna representam diferenças estatísticas para teste de Tukey ao nível de 5% ($p < 0,05$).

O parâmetro b^* (cromaticidade amarelo-azul) apresentou flutuações, diminuindo na semana 2 e depois aumentando na semana 3, e uma nova queda na semana 4. As betaxantinas contribuem para a coloração amarela, e as variações em b^* podem refletir a estabilidade desses pigmentos. A diminuição geral em b^* pode sugerir uma perda da tonalidade amarela ao longo do armazenamento.

O ângulo Hue (h^*) manteve-se relativamente estável, variando entre 0,41 e 0,53, o que sugere que a tonalidade geral da cor não sofreu grandes alterações, apesar das mudanças na intensidade. O Croma (C), que representa a saturação da cor, diminuiu de 63,88 na semana 1 para 61,43 na semana 4, indicando uma perda na vivacidade da cor. A redução do Croma, juntamente com a diminuição de a^* , reforça a ideia de que pequenas variações de pH causam uma variação na coloração, resultando em uma cor menos intensa e vibrante.

Embora a encapsulação com maltodextrina tenha sido escolhida por sua eficácia, os resultados indicam que, mesmo com essa proteção, o pigmento na matriz de gelatina sofreu algumas alterações ao longo das quatro semanas de armazenamento. As alterações nos teores de betalínas e na atividade antioxidante, juntamente com as mudanças nos parâmetros de cor (L, a^* e Croma), sugerem uma degradação gradual dos pigmentos, que pode ser influenciada pelo aumento da umidade e pelas condições de armazenamento. O pH em uma faixa favorável

para as betalaínas pode ter contribuído para reduzir a degradação, mas a perda de intensidade da cor vermelha e da saturação são indicativos de que a estabilidade total ainda é um desafio.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou seu objetivo principal de extrair, encapsular e aplicar o corante natural betalaína, obtido a partir da beterraba (*Beta vulgaris L.*), em uma matriz de gelatina, avaliando sua estabilidade e viabilidade como alternativa aos corantes sintéticos na indústria de alimentos.

A etapa de extração demonstrou que, embora tenha ocorrido uma degradação parcial das betalaínas devido à sensibilidade térmica do pigmento, o extrato obtido apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) na atividade antioxidante (74,63% de inibição do radical DPPH). Esse resultado indica que o processamento térmico promoveu a ruptura celular, facilitando a liberação de compostos bioativos.

No processo de encapsulação, a maltodextrina revelou-se o material de parede mais eficiente quando comparado à goma arábica e à combinação de ambos. A maltodextrina proporcionou a maior retenção de betalaínas totais (108,94 mg/100 g), betacianinas (55,75 mg/100 g) e betaxantinas (54,06 mg/100 g), além de preservar a maior atividade antioxidante (20,17%). A análise morfológica por microscopia óptica indicou que, apesar das partículas encapsuladas com maltodextrina apresentarem superfície rugosa e irregular, a matriz vítrea formada foi capaz de proteger os pigmentos de forma eficaz contra a degradação oxidativa e térmica.

A aplicação do corante encapsulado com maltodextrina em gelatinas permitiu avaliar sua estabilidade ao longo de quatro semanas de armazenamento. Os resultados indicaram um aumento gradual na umidade da gelatina (de 9,55% para 10,70%), o que pode ter influenciado a mobilidade molecular e a degradação parcial da cor. Observou-se uma flutuação nos teores de betalaína e na atividade antioxidante, além de alterações nos parâmetros de cor (sistema CIELAB). Houve aumento da luminosidade (L^*) e redução da cromaticidade vermelho-verde (a^*) e do Croma, sugerindo uma perda gradual na intensidade e vivacidade da cor vermelha característica das betacianinas. O pH, no entanto, manteve-se em uma faixa favorável (5,17 a 5,54).

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a betalaína extraída da beterraba apresenta elevado potencial para aplicação como corante natural em alimentos, especialmente quando encapsulada com maltodextrina, que se mostrou o material de parede mais promissor na proteção dos pigmentos e na preservação de suas propriedades antioxidantes. Embora o sistema encapsulado tenha sido capaz de manter a estabilidade da betalaína quando aplicado na gelatina, houve uma perda gradual na intensidade da coloração durante o armazenamento. Dessa forma, este estudo evidencia a viabilidade da utilização da betalaína encapsulada como

uma alternativa promissora aos corantes sintéticos, agregando valor funcional aos alimentos por meio de suas propriedades antioxidantes.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como perspectiva para trabalhos futuros, visa-se a realização de análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET) para investigar a morfologia das partículas e confirmar a ocorrência da encapsulação do pigmento. Essas técnicas permitirão avaliar a estrutura das partículas, a integridade do material de parede e a distribuição do pigmento encapsulado, fornecendo evidências consistentes sobre a encapsulação da betalaína.

Além disso, sugere-se a ampliação do período de avaliação da aplicação do corante na gelatina. No presente estudo, o acompanhamento foi realizado durante quatro semanas, o que possibilitou observar apenas o comportamento inicial do pigmento na matriz alimentícia. Dessa forma, estudos com um período de armazenamento mais prolongado poderão fornecer informações mais abrangentes sobre a estabilidade da coloração, a possível degradação do pigmento e a manutenção das propriedades visuais e funcionais do produto ao longo do tempo. Além disso, realizar a aplicação do pigmento em diferentes proporções para avaliar a influência da concentração do pigmento na estabilidade da coloração durante o armazenamento, contribuindo para a definição de formulações mais adequadas para sua aplicação em produtos alimentícios.

Por fim, a realização de estudos de estabilidade utilizando a goma arábica e a combinação de goma arábica e maltodextrina como materiais de parede. Essas análises permitirão comparar o desempenho de cada material quanto à proteção do pigmento frente a fatores como umidade, teor de betalaína, atividade antioxidante e coloração, possibilitando identificar a formulação com melhor uso para a preservação das características físico-químicas e a estabilidade do pigmento durante o armazenamento. Os resultados desses estudos contribuirão para o desenvolvimento de sistemas de encapsulação mais eficientes e para a ampliação das possibilidades de aplicação do pigmento em diferentes matrizes alimentícias.

REFERÊNCIAS

- ABDO, E. M. *et al.* Beetroot stalk extract as a functional colorant for stirred yogurt beverages: effect on nutritional value and stability during storage. **Fermentation**, v. 9, n. 878, p. 1-19, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/10/878>. Acesso em: 3 out. 2025.
- ALMEIDA, H. H. S. **Estudo de formulações hidrofílicas do corante natural curcumina para aplicação em iogurtes**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar) – Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/14402>. Acesso em 3 out. 2025.
- ANTÔNIO, A. P. *et al.* Utilização de beterraba (*Beta Vulgaris* L.) em pó como corante natural em iogurte caseiro. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 9, p. e493886, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/3886/2815>. Acesso em: 4 set. 2025.
- ATTIA, G. Y.; MOUSSA, M. E. M.; SHEASHEA, E. R. Characterization of red pigments extracted from red beet (*Beta vulgaris*, L.) and its potential uses as antioxidant and natural food colorants. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, v. 91, n. 3, p. 1095-1110, 2013. Disponível em: https://ejar.journals.ekb.eg/article_167086_6aa88ff6a1a8f09fd77500a946d81b4b.pdf. Acesso em: 12 out. 2025.
- BARRETO, A. R. *et al.* Materiais de Revestimento Utilizados na Microencapsulação de Probióticos. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 164-174, 2015. Edição Especial. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/19747>. Acesso em: 23 jun. 2026.
- BERTÉ, K. A. S. *et al.* Desenvolvimento de gelatina funcional de erva-mate. **Ciência Rural**, v. 41, n. 2, p. 354-360, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/r5vCQLKqQNfqtLPBJHYtbtr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 3 out. 2025.
- BORGOGNONI, C. F. **Microencapsulação por liofilização de d-limoneno em maltodextrina e quitosana modificada**. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-24012018-093149/publico/CAMILA_FIGUEIREDO_BORGOGNONI_MESTRADO.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.
- BOVI, D. C. M. de L. *et al.* Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba in natura e tipo chips. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10, n. 2, p. 80-92, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/9521>. Acesso em: 5 abr. 2026.
- BOVI, D. C. M. de L. *et al.* Determinação dos teores de betalaína e composição centesimal de beterraba in natura e tipo chips. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10, n. 2, p. 80-92, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/9521>. Acesso em: 1 abr. 2026.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085>. Acesso em: 6 nov. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN n. 211, de 1º de março de 2023**. Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF, Edição 46, p. 110, 8 mar. 2023b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-211-de-1-de-marco-de-2023-468509746>. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC Nº 727, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre a rotulagem dos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 126, p. 195, 06 de jul. 2022. Seção 1. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-727-de-1-de-julho-de-2022-413249279>. Acesso em: 12 dez. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº778, de 28 de março de 2023**. Dispõe sobre os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 61, p. 129, 30 mar. 2023a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-778-de-1-de-marco-de-2023-468499613>. Acesso em: 15 set. 2025.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 986, de 21 de outubro de 1969**. Institui normas gerais sobre alimentos. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, p. 8935, 21 out. 1969. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0986.htm. Acesso em: 12 dez. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria nº 384, de 25 de agosto de 2021**. Aprova os Regulamentos Técnicos que fixam os padrões de identidade e qualidade para gelatina, gelatina hidrolisada e colágeno comestíveis. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 163, p. 17, 27 ago. 2021. Disponível em: <https://portal.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-384-de-25-de-agosto-de-2021-341025382>. Acesso em: 2 out. 2025.

CARNEIRO, H. C. F. **Microencapsulação de óleo de linhaça por spray drying**: influência da utilização de diferentes combinações de materiais de parede. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/906063>. Acesso em: 23 jun. 2026.

CHAVES, K. O. *et al.* Adsorção de índigo carmim em biomassas mortas de *Aspergillus niger*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 351-355, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/rQrnNN9c7gfysk6cHLzG8xK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 set. 2025.

COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F. **Bases bioquímicas e fisiológicas da nutrição: nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença**. 2. ed. Manole, 2020. E-book. p.606. ISBN 9786555761764. Disponível em: <https://pergamum.unipampa.edu.br/acervo/5068863/>. Acesso em: 15 dez. 2025.

CONSTANT, P. B. L.; FREITAS, P. A. V. Betalaínas. In: STRINGHETA, P. C.; FREITAS, P. A. V. (Org.). **Corantes naturais: da diversidade da natureza as aplicações e benefícios**. 1. ed., 2021. p. 55-85. Disponível em: <https://publicacoes.even3.com.br/book/corantes-naturais-da-diversidade-da-natureza-as-aplicacoes-e-beneficios-409795>. Acesso em: 4 set. 2025.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 203-220, 2002. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/1248/1048>. Acesso em: 4 set. 2025.

COSTA, S. S. et al. Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 9, p. 462-470, 2015. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJFS/article-full-text/09B6D3855447>. Acesso em: 23 jun. 2026.

CREPALDI, G. A. **Extração de betalaína a partir do resíduo da beterraba (*Beta Vulgaris* L.) para potencial aplicação em bala de gelatina**. 2023. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/server/api/core/bitstreams/ac03b47e-22b1-4ee0-b67e-ddce7b8bbfd0/content>. Acesso em: 2 out. 2025.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5. ed. ArtMed, 2019. E-book. p.679. ISBN 9788582715468. Disponível em: <https://pergamum.unipampa.edu.br/acervo/5060164>. Acesso em: 30 set. 2025.

FERRÃO, L. L. **Avaliação do teor de corantes artificiais em cereais matinais: validação de metodologia analítica e contribuição para avaliar a exposição de crianças de 2 a 8 anos**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/3233/2/2013%20-%20Luana%20Limoeiro%20Ferr%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

FERREIRA, A. R. *et al.* **Extração, obtenção e avaliação do pigmento da beterraba (*Beta vulgaris succulenta*)**. IFCE, 1ª ed., p. 1-4, 2019. Disponível em: https://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc6157-Trabalho/EXTRA%C7%C3O%2C%20OBTEN%C7%C3O%20E%20AVALIA%C7%C3O%20DO%20PIGMENTO%20DA%20BETERRABA%20%28Beta%20vulgaris%20succulenta%29%20%281%29.pdf. Acesso em: 2 nov. 2025.

FERRO, A. C. **Gelatina comestível utilizando curcumina nanoencapsulada como corante natural**. 2015. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6638/2/CM_COEAL_2015_2_01.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

FREITAS, V. O mundo colorido das antocianinas. **Revista de Ciência Elementar**, v. 7, n. 2, e017, p. 1-6, jun. 2019. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2019/017/>. Acesso em: 26 set. 2025.

FU, F.; HU, L. Temperature sensitive colour-changed composites. In: FAN, M.; FU, F. (Ed.). **Advanced high strength natural fibre composites in construction**. Woodhead Publishing, 2017. p. 405-423. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00015-7>. Acesso em: 1 out. 2025.

FUJIWARA, G. M. **Microencapsulação de estigmasterol utilizando alginato de sódio, quitosana e amido**. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/28180/R%20-%20D%20-%20GISLENE%20MARI%20FUJIWARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2025.

GONZÁLEZ, C. M. O. *et al.* Cassava starch films with anthocyanins and betalains from agroindustrial by-products: their use for intelligent label development. **Foods**, v. 11, n. 21, p. 3361, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3361>. Acesso em: 12 out. 2025.

GÜL, L. B. Royal jelly microencapsulation with a maltodextrin/gum Arabic binary blend by spray drying: process optimization and characterization of microcapsules. **Italian Journal of Food Science**, v. 37, n. 4, 2025. Disponível em: <https://itjfs.com/index.php/ijfs/article/view/3112/1780>. Acesso em: 23 jun. 2026.

HIGUITA, D. M. C. **Microencapsulação de oleoresina de cúrcuma (curcuma longa L.) em misturas de goma arábica, maltodextrina e amido modificado**. 2013. 76 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/81eaed7d-8b91-4b37-9ebb-a3c4e1cf60d9/content>. Acesso em: 30 jun. 2026.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. 2008. Disponível em: https://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

JAKUBCZYK, K. *et al.* Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Fermented Beetroot Juices Enriched with Different Additives. **Foods**, v. 13, n. 1, p. 102, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/102>. Acesso em: 5 abr. 2026.

JAKUBCZYK, K. *et al.* Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Fermented Beetroot Juices Enriched with Different Additives. **Foods**, v. 13, n. 1, p. 102, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/102>. Acesso em: 1 abr. 2026

JOHANN, A.; GRÄFF, T. B. A. Preferência e aceitação de gelatinas, destinadas ao público infantil, fabricadas com corantes artificiais, naturais e extratos vegetais. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 6, n. 3, p. 13-21, 2014. Disponível em: <https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/409/401>. Acesso em: 3 out. 2025.

JÚNIOR, P. C. C. *et al.* Application of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder as a multifunctional ingredient in Greek yogurt. **Ciência Rural**, v. 54, e20220688, 2024.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/mZJWd8wBfqYNxD7wwnxYCMN/?format=pdf&lang=en>.

Acesso em: 2 out. 2025.

JUNIOR, W. K. B.; SPINELLI, A.; SÓRIS, S. S. Encapsulamento do corante extraído do fruto do açaí (*Euterpe Oleracea*) com o uso da técnica de adsorção por contato. **Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 11, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7772/4846>. Acesso em: 4 set. 2025.

KABA, B.; ZANNOU, O.; REDHA, A. A.; KOCA, I. Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using deep eutectic solvents: optimization, bioaccessibility and stability. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 6, n. 38, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s43014-023-00208-2>. Acesso em: 5 abr. 2026.

KABA, B.; ZANNOU, O.; REDHA, A. A.; KOCA, I. Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using deep eutectic solvents: optimization, bioaccessibility and stability. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 6, n. 38, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s43014-023-00208-2>. Acesso em: 1 abr. 2026.

KARADAG, A.; OZKAN, K.; SAGDIC, O. Development of microencapsulated grape juice powders using black 'Isabel' grape peel pectin and application in jelly formulation with enhanced in vitro bioaccessibility of anthocyanins. **Journal of Food Science**, p.2067-2083, 2024. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1750-3841.16999>. Acesso em: 22 set. 2025.

LANDIM, E. M. C. **Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos naturais microencapsulados**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17374/1/2008_dis_emclandim.pdf. Acesso em: 30 jun. 2026.

LI, Y. *et al.* Bioactivities and Health Benefits of Wild Fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 8, p. 1258, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/8/1258>. Acesso em: 15 dez. 2025.

LOBATO, J. M.; BARROS, F. D. D.; LIMA, D. O. Compostos bioativos na prevenção e no tratamento da obesidade. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**. v. 16, n. 104, p. 886-895, 2022. Disponível em: <https://www.rbone.com.br/index.php/rbone/article/view/2147/1318>. Acesso em: 10 out. 2025.

LOPES, L. A. A. **Lactobacillus acidophilus La-05 microencapsulado em alginato e quitosana: sobrevivência em bebidas lácteas e não lácteas e incorporação em creme de ricota caprino**. 2020. 137 p. Tese (Doutorado em Nutrição) – Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/38813/1/TESE%20Laenia%20Ang%20c3%a9li%20Andrade%20Lopes.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

LOPES, T. J.; COUTINHO, M. R.; QUADRI, M. G. N. Use of maltodextrin and gum arabic for encapsulation of red cabbage anthocyanins. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10, n.

4, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/11043>. Acesso em: 30 jun. 2026.

LÓPEZ-SOLÓRZANO, E. *et al.* Conservation analysis and colorimetric characterization of betalain extracts from the peel of red beetroot, golden beetroot, and prickly pear applied to cottage cheese. **Foods**, v. 14, n. 228, p. 1-19, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/2/228>. Acesso em: 11 out. 2025.

LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Microencapsulation of Pineapple Peel Extract by Spray Drying Using Maltodextrin, Inulin, and Arabic Gum as Wall Matrices. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 718, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/6/718>. Acesso em: 23 jun. 2026.

MANGOPE, K.; KASEKE, T.; FAWOLE, O. A. Microencapsulation and characterization of pomegranate seed oil using gum Arabic and maltodextrin blends for functional food applications. **Food Science & Nutrition**, v. 12, n. 11, p. 52-67, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.4493>. Acesso em: 30 jun. 2026.

MARFIL, P. H. M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/5ca53e42-5002-4b88-98e9-e51a1cf07275>. Acesso em: 17 out. 2025.

MARTINEZ, R. M. *et al.* Betalains: A Narrative Review on Pharmacological Mechanisms Supporting the Nutraceutical Potential Towards Health Benefits. **Foods**, v. 13, n. 3909, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/23/3909>. Acesso em: 28 nov. 2025.

MASCARENHAS, J. M. O. **Corantes em alimentos: perspectivas, uso e restrições**. 1998. 143 f. Tese (Magister Scientiae em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/63a2e2b8-4ecf-49c7-9f22-0fc2c2cba3a1/content>. Acesso em: 17 set. 2025.

MEHTA, D. *et al.* Ultrasound-assisted extraction and encapsulation of betalain from prickly pear: process optimization, *in-vitro* digestive stability, and development of functional gummies. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 108, art. 106975, p. 1-11, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417724002232#s0135>. Acesso em: 16 out. 2025.

MENDONÇA, J. N. **Identificação e isolamento de corantes naturais produzidos por actinobactérias**. 2011. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área: Química) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59138/tde-29092011-145108/publico/JacquelineMestrado.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

MERIVAARA, A. *et al.* Preservation of biomaterials and cells by freeze-drying: change of paradigm. **Journal of Controlled Release**, v. 336, p. 480-498, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365921003400?via%3Dihub>. Acesso em: 2 out. 2025.

MIKHAILOV, O.V. Gelatin as it is: history and modernity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 4, art. 3583, p.1-31, 10 fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/4/3583>. Acesso em: 17 out. 2025.

MKHARI, T. T.; KASEKE, T. T.; FAWOLE, O. O. A. Encapsulation of betalain-rich extract from beetroot postharvest waste using a binary blend of gum Arabic and maltodextrin to promote a food circular bioeconomy. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2023.1235372/full>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MOURA, S. C. S. R. *et al.* Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in jelly candy. **Food Research International**, v. 121, p. 542-552, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918309578?via%3Dihub>. Acesso em: 22 ago. 2025.

NABI, B. G. *et al.* Natural pigments: anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. **Food Bioscience**, v. 52, 102403, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429223000548>. Acesso em: 2 out. 2025.

NEZAMDOOST-SANI, N.; AMIRI, S.; KHANEGHAH, A. M. The application of the coacervation technique for microencapsulation bioactive ingredients: A critical review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, 101431, p. 1-19, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266615432400468X>. Acesso em: 1 out. 2025.

OLIVEIRA, L. S. *et al.* Edible polysaccharides as stabilizers and carriers for the delivery of phenolic compounds and pigments in food formulations. **arXiv**, 2025. Preprint. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2511.07264>. Acesso em: 23 jun. 2026.

OLIVEIRA, N. J. C. **Liofilização como método de conservação aplicada à produtos de origem vegetal: uma revisão bibliográfica**. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61684/3/2021_tcc_njcoliveira.pdf. Acesso em 2 out. 2025.

OS CORANTES alimentícios. **Aditivos & Ingredientes**, n. 119, p. 28-39, [2010?]. Disponível em: https://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/119.pdf. Acesso em: 25 set. 2025.

OTÁLORA, M. C.; WILCHES-TORRES, A.; GÓMEZ CASTAÑO, J. A. Microencapsulation of Betaxanthin Pigments from Pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) By-Products: Characterization, Food Application, Stability, and In Vitro Gastrointestinal Digestion. **Foods**, v. 12, n. 14, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/14/2700>. Acesso em: 26 jun. 2026.

PANGHAL, Anil *et al.* Development of Probiotic Beetroot Drink. **Current Research in Nutrition and Food Science Journal**, v. 5, n. 3, p. 263-270, 2017. Disponível em: <https://www.foodandnutritionjournal.org/volume5number3/development-of-probiotic-beetroot-drink/>. Acesso em: 15 jul. 2026.

PASSAGLIA, N. F. **Microencapsulação por liofilização do extrato de compostos fenólicos da torta de girassol**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em : <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/200413/001101627.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 out. 2025.

PEREIRA, E. F. S. **Liofilização de nanopartículas para aplicação de produtos inovadores em oncologia**. 2015. 145 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Farmacêutica) – Faculdade de Farmácia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/31060/1/Tese%20Eva%20Fabiana%20Silva%20Pereira.pdf>. Acesso em: 2 out. 2025.

PEREIRA, K. C. *et al.* Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017083, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/grd6gfXLgGSqTqqwcGGkxYb/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2026.

PIMENTEL, C. V. M. B.; ELIAS, M. F.; PHILIPPI, S. T. **Alimentos funcionais e compostos bioativos**. Manole, 2019. E-book. p.17. ISBN 9786555761955. Disponível em: <https://pergamum.unipampa.edu.br/acervo/5060660>. Acesso em: 1 out. 2025.

PIMENTEL, L. F. *et al.* Nanotecnologia farmacêutica aplicada ao tratamento da malária. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 43, n. 4, p. 503-514, out./dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcf/a/rbPrCJhs8ZZdhqk8WWVfC6N/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 out. 2025.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 2, p. 237-250, 2003. Disponível em: <https://doaj.org/toc/2179-4448>. Acesso em: 4 set. 2025.

REBOUÇAS, C. R. S. **Aplicação de corante natural obtido de extrato em pó da casca de pitaia em sorvete**. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/44962/5/2019_dis_crsrebou%c3%a7as.pdf. Acesso em: 30 set. 2025.

RIBEIRO, E. P. **Química de alimentos**. 2. ed. Editora Blucher, 2007. E-book. p.178. ISBN 9788521215301. Disponível em: <https://pergamum.unipampa.edu.br/acervo/5059693>. Acesso em: 30 set. 2025.

RIGOLON, T. C. B.; OLIVEIRA, I. R. N.; STRINGHETA, P. C. Antocianinas. In: STRINGHETA, P. C.; FREITAS, P. A. V. (Org.). **Corantes naturais: da diversidade da**

natureza as aplicações e benefícios. 1 ed., 2021. p. 17-53. Disponível em: <https://publicacoes.even3.com.br/book/corantes-naturais-da-diversidade-da-natureza-as-aplicacoes-e-beneficios-409795>. Acesso em: 4 set. 2025.

RODRIGUES, M. Á. V. **Biomateriais de quitosana/gelatina com resina de jatobá: influência do grau de acetilação da quitosana e da inclusão da resina.** 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Área de concentração: Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-23052017-095341/publico/MuirloAlisonVigilatoRodriguesoriginal.pdf>. Acesso em: 3 out 2025.

ROSSI, P. H. S. *et al.* Utilização tecnológica de corantes naturais em alimentos: uma revisão. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 11, e211941, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/941/793>. Acesso em: 9 out. 2025.

SANTO, T. S.; COSTA, L. M.; SILVA, A. R. C. S. Prevalência de aditivos alimentares em produtos industrializados e a tendência clean label. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 30, e8670219, p. 1-12, 2023. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8670219/32616>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SANTOS, F. H.. Influence of wall materials on the microencapsulation of pequi oil by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, art. e2019132, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/TNxhYxppFVP9mWbYLPqVxw/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 out. 2025.

SANTOS, G. A. **Elaboração de sobremesa tipo gelatina a partir de extratos vegetais.** 2021. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2021. Disponível em: <https://www.ufmg.br/montesclaros/tccs/2020/TCC-GicelleAparecidaSantos%20.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

SAVI, P. R. S. *et al.* Análise de flavonoides totais presentes em algumas frutas e hortaliças convencionais e orgânicas mais consumidas na região sul do Brasil. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**, v. 12, n. 1, p. 275–287, 2017. DOI: 10.12957/demetra.2017.22391. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/demetra/article/view/22391/20077>. Acesso em: 26 set. 2025.

SCHALLENBERGER, M. de O. **Microencapsulação de colostro bovino por atomização utilizando maltodextrina e goma arábica como agentes encapsulantes.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2025. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37517/1/microencapsulacaocolostrobovino.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

SCHIOZER, A. L.; BARATA, L. E. S. Estabilidade de corantes e pigmentos de origem vegetal: uma revisão. **Revista Fitos**, v. 3, n. 02, p. 6-24, 2007. Disponível em: <https://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/71/70>. Acesso em: 25 set. 2025.

SEKE, F. *et al.* Effect of freeze drying and simulated gastrointestinal digestion on phenolic metabolites and antioxidant property of the natal plum (*Carissa macrocarpa*). **Foods**, v. 10, n. 6, art. 1420, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/6/1420>. Acesso em: 16 out. 2025.

SHADORDIZADEH, T.; MAHDIAN, E.; HESARINEJAD, M. A. Application of encapsulated *Indigofera tinctoria* extract as a natural antioxidant and colorant in ice cream. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 4, p. 1940-1951, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fsn3.3228>. Acesso em: 16 out. 2025.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, Part B, p. 820-897, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615003023>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SHAMSHAD, A. *et al.* Effect of storage on physicochemical attributes of ice cream enriched with microencapsulated anthocyanins from black carrot. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 7, p. 3976-3988, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/fsn3.3384>. Acesso em: 3 out. 2025.

SHOFINITA, D.; FAWWAZ, M.; ACHMADI, A. B. Betalain extracts: Drying techniques, encapsulation, and application in food industry. **Food Frontiers**, v. 7, p.576-623, 2023. Disponível em: <https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fft2.227>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SIGURDSON, G. T., TANG, P., GIUSTI, M. M. Natural colorants: food colorants from natural sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, p. 261-280, 2017. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/docserver/fulltext/food/8/1/annurev-food-030216-025923.pdf?expires=1760295320&id=id&accname=guest&checksum=2E19F4F95CAFD8437C75ABA815B21595>. Acesso em: 13 set. 2025.

SILVA, E. T. V. *et al.* Secagem por liofilização: método de operação e relevância na área de alimentos. In: **Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências**, 2016. Anais [...]. Realize Editora, 2016. p. 1-12. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/18206>. Acesso em 2 out. 2025.

SILVA, I. M. *et al.* Obtenção de corante natural de antocianinas extraídas de capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) e estudo da aplicação em iogurtes. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e9811326230, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/26230/23034>. Acesso em 2 out. 2025.

SILVA, K. C. da; UENO, C. T; SAKANAKA, L. S.; SHIRAI, M. A. Microencapsulação de Óleo de Semente de Uva por Spray Drying, p. 47-68. **Tópicos em ciências e tecnologia de alimentos: resultados de pesquisas acadêmicas - Vol. 5**. Blucher, 2020. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-list/9786555500240-475/list#undefined>. Acesso em: 23 jun. 2026.

SOAREZ, E. R. *et al.* Compostos bioativos em alimentos, estresse oxidativo e inflamação: uma visão molecular da nutrição. **Revista HUPE**, v. 14, n. 3, p. 64-72, 2015. Disponível em:

<https://www.e-publicacoes.uerj.br/revistahupe/article/view/19942/14448>. Acesso em 10 out. 2025.

SOBRINHO, E. C. de S.; FARIAS, M. C. A microencapsulação na indústria alimentícia. **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, v. 24, n. 1/3, p. 29-37, 2012. Disponível em: <https://revistas.cff.org.br/infarma/article/view/364>. Acesso em: 23 jun. 2026.

SOUSA, C. R. V. **Extração assistida por ultrassom e encapsulamento de corante da casca de beterraba com potencial para aplicação em iogurte**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49921/5/dis_2019_crvsousa.pdf. Acesso em: 2 out. 2025.

TOCI, A. T.; ZANONI, M. V. B. Corantes alimentícios. In: ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. (orgs.). **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. Cultura Acadêmica, p. 37-54, 2016. Disponível em: <https://wordpress.ft.unicamp.br/wp-content/uploads/sites/33/2017/10/Corantes.pdf>. Acesso 13 set. 2025.

TOKER, O. S. *Porphyridum Cruentum* as a natural colorant in chewing gum. **Food Science and Technology**, v. 39, n. Supl. 1, p. 195-201, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/fPpBHTcrDZkjtGHmxXJfFzH/?format=pdf&lang=en>. Acesso em 2 out. 2023.

TRINDADE, L. R. et al. Microencapsulated and Ready-to-Eat Beetroot Soup: A Stable and Attractive Formulation Enriched in Nitrate, Betalains and Minerals. **Foods**, v. 12, n. 7, p. 1-17, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/7/1497>. Acesso em: 29 jun. 2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Tabela brasileira de composição de alimentos: TACO**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: https://cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 5 abr. 2026.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/pt/revista/alimentos-e-nutricao/articulo/pigmentos-naturais-bioativos>. Acesso em: 30 set. 2025.

VOLP, A. C. P.; TAKEUCHI, K. P.; STRINGHETA, P. C. Corantes naturais como compostos bioativos. In: STRINGHETA, P. C.; FREITAS, P. A. V. (Org.). **Corantes naturais: da diversidade da natureza as aplicações e benefícios**. 1. ed., 2021. p. 437-472. Disponível em: <https://publicacoes.even3.com.br/book/corantes-naturais-da-diversidade-da-natureza-as-aplicacoes-e-beneficios-409795>. Acesso em: 4 set. 2025.

WAIDI, Y. O.; KARIIM, I.; DATTA, S. Bioprinting of gelatin-based materials for orthopedic application. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 12, ID do artigo 1357460, p. 1-30, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2024.1357460/full>. Acesso em: 17 out. 2025.

YOUSEFI, S. et al. Yogurt fortification by microencapsulation of beetroot extract (*Beta vulgaris* L.) using maltodextrin, gum arabic, and whey protein isolate. **Food Science & Nutrition**, v. 10, n. 6, p. 1875–1887, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.2804>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ZARDO, I. **Extração e microencapsulação de compostos antociânicos do bagaço de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.)**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/105067/000940180.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, Acesso em: 1 abr. 2026.