

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
CURSO DE NUTRIÇÃO

ÁLISSY FERNANDA CARDOSO VIEIRA VALOIS

**MICROENCAPSULAÇÃO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA DOS ÓLEOS
DE PEQUI E BURITI RICOS EM CAROTENOIDES UTILIZANDO
MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*) E GELATINA**

BARREIRAS - BA

2025

ÁLISSY FERNANDA CARDOSO VIEIRA VALOIS

**MICROENCAPSULAÇÃO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA DOS ÓLEOS
DE PEQUI E BURITI RICOS EM CAROTENOIDES UTILIZANDO
MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*) E GELATINA**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Nutrição do Centro das Ciências Biológicas e da
Saúde - CCBS da Universidade Federal do
Oeste da Bahia. Orientado pelo professor
doutor Volnei Brito de Souza.

BARREIRAS - BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

V198 Valois, Álissy Fernanda Cardoso Vieira.

Microencapsulação por coacervação complexa dos óleos de pequi e buriti ricos em carotenoides utilizando mucilagem de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) e gelatina. / Álissy Fernanda Cardoso Vieira Valois. – 2025.

51f.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Brito de Souza.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Nutrição. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Biológicas e da Saúde. Barreiras, BA, 2025.

1. Encapsulação. 2. Biopolímeros. 3. Pigmentos naturais. 4. Compostos bioativos. I. Souza, Volnei Brito de. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Biológicas e da Saúde. III. Título.

CDD 613.2

Biblioteca Universitária de Barreiras - UFOB

ÁLISSY FERNANDA CARDOSO VIEIRA VALOIS

MICROENCAPSULAÇÃO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA DOS ÓLEOS DE PEQUI
E BURITI RICOS EM CAROTENOIDES UTILIZANDO MUCILAGEM DE PALMA
FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*) E GELATINA

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Nutrição do Centro das Ciências Biológicas e da
Saúde - CCBS da Universidade Federal do
Oeste da Bahia.

BARREIRAS, BAHIA, 29 de Maio de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Volnei Brito de Souza

Prof. Dra. Izabela Alves Gomes

Prof. Dr. Fabricio Luiz Tulini

AGRADECIMENTOS

A realização e apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso representa o encerramento de uma etapa acadêmica muito importante e sinto muito orgulho, após tantos esforços, alguns altos e baixos, em agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para esse momento.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me dar a força necessária para nunca desistir, mesmo após tantos conflitos internos e algumas surpresas inesperadas. À minha família, em especial à minha mãe, que sempre fez tudo por mim e pela minha irmã, e que mesmo sozinha nunca deixou nos faltar nada e também por todo amor, carinho, apoio e momentos de conforto. À minha irmã, que me ouvia desabafar sobre tudo e ainda me aconselhava. Aos meus padrinhos, tios, tias, primos e avó, que sempre me apoiaram em tudo que eu me dispusesse a fazer. E ao meu namorado, que foi meu momento de conforto em muitos dos momentos difíceis.

Às minhas colegas, que se tornaram amigas que vou levar para a vida, que caminharam junto comigo durante toda a graduação, que tornaram todos os momentos mais leves, mesmo querendo chorar, sempre saíam sorrisos pelos corredores da universidade, que me ouviram repetir sobre o mesmo problema milhares de vezes e mesmo assim me escutavam e me abraçavam todas as vezes, vocês foram fundamentais para essa conquista. Aos meus amigos de longa data, que sempre me colocavam para cima, sempre me levavam para distrair, para curtir, para viver um pouco mais e sempre estiveram do meu lado todas as vezes que precisei, mesmo sem precisar que eu falasse sobre o tanto que estava difícil.

Aos docentes que me abraçaram, estiveram disponíveis para tirar dúvidas sobre assuntos educacionais e realizar orientações diversas. Em especial à banca e, claro, ao meu orientador. Professor Volnei, não tenho palavras para agradecer todo o acolhimento, disposição e orientação. Faço questão de falar para todos que o senhor me salvou quando eu não conseguia ver solução para o momento mais difícil da minha graduação, nunca esquecerei que me estendeu a mão, mesmo tendo sido uma grande surpresa. Minha imensa gratidão pela orientação rigorosa e impecável, pelo acompanhamento em todos os dias no laboratório, por todo comprometimento e dedicação para que esse momento fosse possível no tempo necessário.

A todos, que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização do meu sonho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Extração da Mucilagem dos Cladódios da Palma Forrageira. Cladódios (a) cortados em pequenos pedaços (b) em água (c). Mucilagem extraída congelada (d), liofilizada (e) e pronta para uso (f).	27
Figura 2 - Teste para determinar o pH de coacervação	28
Figura 3 - Teste para determinação da proporção de polímeros.	29
Figura 4 - Teste para determinação da concentração do núcleo da microcápsula	30
Figura 5 - Produção de microcápsulas em maior quantidade	31
Figura 6 - Amostras das microcápsulas secas. Gelatina:mucilagem com óleo de pequi (a), gelatina:mucilagem com óleo de buriti (b), goma arábica:gelatina com óleo de pequi (c), goma arábica:gelatina com óleo de buriti (d).	31
Figura 7 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 25%.	34
Figura 8 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 50%.	35
Figura 9 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 75%.	35
Figura 10 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 25%.	36
Figura 11 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 50%.	36
Figura 12 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 75%.	37
Figura 13 - Morfologia das microcápsulas de Goma-arábica e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 50%.	37
Figura 14 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Goma-arábica e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 50%.	38
Figura 15 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de gelatina e mucilagem com óleo de buriti em aumento de 40x.	38
Figura 16 - Figura 15 após a aplicação do filtro “Subtract Background” no ImageJ para retirar o fundo da imagem e evidenciar as microcápsulas.	39
Figura 17 - Figura 16 após a aplicação do filtro “Find Edges” no ImageJ para definir as	

bordas das microcápsulas.....	39
Figura 18 - Figura 17 após a aplicação do filtro “Make Binary” no ImageJ para enfatizar os contornos das microcápsulas.	39
Figura 19 - Figura 18 após a aplicação dos comandos “Erode”, “Dilate” e “Fill Holes” no ImageJ para evidenciar apenas as microcápsulas.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características para a formação das microcápsulas.....	30
Tabela 2 - Teor de carotenoides totais presentes nos óleos de buriti e pequi.....	32
Tabela 3 - Carotenoides Totais nas Cápsulas, Rendimento e Eficiência de Encapsulação do óleos de buriti e pequi utilizando os complexos mucilagem:gelatina e goma arábica:gelatina como materiais de parede.....	33
Tabela 4 - Tamanhos das microcápsulas com óleo de buriti.....	40

RESUMO

A microencapsulação de compostos é uma estratégia utilizada pela indústria para o enriquecimento de alimentos, essa técnica consiste em envolver e proteger um composto bioativo a partir de uma película feita por polímeros que são os agentes encapsulantes. Dessa forma, o objetivo do estudo foi microencapsular carotenoides presentes nos óleos de buriti e pequi pelo método de coacervação complexa utilizando gelatina e mucilagem de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) como materiais de parede. Foi realizada a extração e liofilização da mucilagem de palma, após testou-se as condições de encapsulamento com testes de pH, proporção de polímeros e concentração de núcleo. As microcápsulas foram caracterizadas quanto ao teor de carotenoides totais, rendimento e eficiência de encapsulamento, morfologia e tamanho de partícula. Os resultados indicaram a possibilidade da produção de microcápsulas utilizando a proporção de 2:1 de gelatina para mucilagem e 50% de núcleo, com isso obteve-se 2,62 e 0,222 mg/g de carotenoides totais nas cápsulas para os óleos de buriti e pequi, respectivamente. Para o óleo de buriti, encontrou-se rendimento de 94% e eficiência de 70%, já os resultados referentes ao óleo de pequi foram inconclusivos. Por fim, as partículas encontradas tinham formato arredondado e bordas irregulares, bem como diâmetro médio de 105 e 80 µm, para as cápsulas de buriti e pequi, respectivamente. Conclui-se que a mucilagem da palma forrageira é um biopolímero promissor como material de parede para a produção de microcápsulas por meio da técnica de coacervação complexa.

Palavras-Chave: Encapsulação, biopolímeros, pigmentos naturais, compostos bioativos.

ABSTRACT

Microencapsulation of compounds is a strategy used by the industry for food enrichment. This technique consists of wrapping and protecting a bioactive compound from a film made of polymers that are the encapsulating agents. Thus, the objective of the study was to microencapsulate carotenoids present in buriti and pequi oils by the complex coacervation method using gelatin and forage palm mucilage (*Opuntia ficus-indica*) as wall materials. The extraction and lyophilization of the palm mucilage were performed, after which the encapsulation conditions were tested with pH, polymer proportion and core concentration tests. The microcapsules were characterized according to the total carotenoid content, encapsulation yield and efficiency, morphology and particle size. The results indicated the possibility of producing microcapsules using a 2:1 ratio of gelatin to mucilage and 50% core, thus obtaining 2.62 and 0.222 mg/g of total carotenoids in the capsules for buriti and pequi oils, respectively. For buriti oil, a yield of 94% and efficiency of 70% were found, while the results for pequi oil were inconclusive. Finally, the particles found had a rounded shape and irregular edges, as well as an average diameter of 105 and 80 μm , for the buriti and pequi capsules, respectively. It is concluded that forage palm mucilage is a promising biopolymer as a wall material for the production of microcapsules through the complex coacervation technique.

Keywords: Encapsulation, biopolymers, natural pigments, bioactive compounds.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Buriti	14
2.2 Pequi	15
2.3 Carotenoides	16
2.4 Microencapsulação	17
2.4.1 Coacervação Complexa	18
2.5 Palma Forrageira.....	19
2.5.1 Mucilagem da Palma Forrageira.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Materiais	23
3.1.1 Materiais de Parede.....	23
3.1.2 Materiais de Núcleo	23
3.2 Métodos	23
3.2.1 Extração e Liofilização da Mucilagem da Palma Forrageira.....	23
3.2.2 Determinação do pH e Proporção dos Polímeros de Coacervação.....	23
3.2.3 Determinação da Concentração do Núcleo.....	24
3.2.4 Microencapsulação	24
3.2.5 Secagem das microcápsulas.....	24
3.3 Caracterização das Microcápsulas	25
3.3.1 Quantificação dos Carotenoides Totais dos Óleos Livres	25
3.3.2 Quantificação dos Carotenoides Totais dos Óleos Encapsulados	25
3.3.3 Rendimento de Encapsulação	25
3.3.4 Eficiência de Encapsulação	26
3.3.5 Morfologia	26
3.3.6 Tamanho de Partícula	26
3.4 Análise Estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27

4.1 Obtenção da Mucilagem da Palma Forrageira.....	27
4.2 Teste para Determinação do pH e Proporção de Polímeros	28
4.3 Obtenção das Cápsulas	29
4.4 Caracterização das cápsulas.....	31
4.4.1 Teor de Carotenoides Totais dos Óleos	31
4.4.2 Teor de Carotenoides Totais das Cápsulas	32
4.4.3 Rendimento de Encapsulação	32
4.4.4 Eficiência de Encapsulação	33
4.4.5 Morfologia das Cápsulas	34
4.4.6 Tamanho das Partículas	38
5 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Além de ocupar cerca de 23% do território, o Cerrado é um dos biomas mais ricos e biodiversos do Brasil (Ribeiro et al., 2022; IBGE, 2024; Weichert, 2024). De toda a flora presente, mais de 30% dos vegetais são espécies endêmicas, como pequi (*Caryocar brasilienses*), buriti (*Mauritia flexuosa*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), mangaba (*Hancornia speciosa*), cajuí (*Anacardium humile*) e cagaita (*Eugenia dysenterica*) (Weichert, 2024). Espécies como o pequi e o buriti são fontes de várias substâncias bioativas, como vitaminas e polifenólicos, que podem apresentar grande potencial ecológico, econômico, alimentício e medicinal (Melo, Araújo, Brandão, 2017; Weichert et al., 2023).

Entre a vasta flora característica do Cerrado brasileiro, o pequi, nome científico *Caryocar brasilienses*, pertencente à família Caryocaraceae, é o fruto mais consumido e comercializado da região (Weichert et al., 2023). Esse fruto possui alto valor nutricional e por ser rico em vitaminas, compostos fenólicos e carotenoides, apresenta atividade antioxidante e pode ser consumido e utilizado para o desenvolvimento de novos produtos (Barroso et al., 2020).

Ademais, o buriti, fruto comestível de nome científico *Mauritia flexuosa* e pertencente à família Arecaceae, é um vegetal de grande importância devido sua multiutilidade, como fonte de renda para a população, como proteção para o ecossistema e como fonte de alimento (Silva, 2019). Além de ser rico em fibras e compostos antioxidantes, é um dos frutos com maior teor de carotenoides e vitamina A (Silva, 2019; Barboza et al., 2022; Do Nascimento Silva, Cavalcante e Da Silva, 2023).

A coloração amarelada desses frutos indica a presença de grande teor de carotenoides, principalmente o betacaroteno (Reis e Schmiele, 2019). Os carotenoides são um grupo de pigmentos lipossolúveis que variam entre as cores amarelo, laranja e vermelho (Bergmann et al., 2021; Antonini, 2023). Apesar de estarem presentes na natureza, podem desempenhar diversos efeitos positivos na saúde humana devido seu poder bioativo como antioxidante, anti inflamatório, pró-vitamina A, imunomodulador e quimiopreventivo (Bergmann et al., 2021; Antonini, 2023; Bas, 2024). Porém, essas substâncias podem ficar instáveis na presença de luz, oxigênio e temperatura, sendo facilmente oxidadas (Pais, 2023).

A indústria alimentícia tem sido desafiada a inovar suas tecnologias para atender às necessidades e buscas dos consumidores (Coutinho, 2024). Nos últimos anos o interesse por uma alimentação cada vez mais saudável e a ideia de transformar alimentos simples em alimentos funcionais tem crescido (Hilachuk, 2021; Viana, Adorno e Santos, 2022). Os alimentos funcionais são definidos como alimentos que oferecem mais que nutrientes para o corpo humano, esses são fonte de mais benefícios e está totalmente ligado à saúde, ao bem-estar

e à prevenção de doenças crônicas (Dias, Simas e Lima Junior, 2020; Viana, Adorno e Santos, 2022; Çelekli, 2024; Da Silva Gomes et al., 2024).

Uma das técnicas utilizadas para o desenvolvimento de alimentos funcionais é a microencapsulação (Choudhury, Meghwal e Das, 2021). A microencapsulação é uma técnica que consiste em envolver e proteger um material, denominado núcleo, a partir de uma película feita por polímeros que são os agentes encapsulantes, como a gelatina, goma arábica, pectina e alginato de sódio (Alencar, 2020; Susin, 2020; Sousa et al., 2022).

Essa técnica tem como objetivo melhorar a exposição e a entrega de compostos bioativos, sendo fundamental para proteger o complexo de ambientes insalubres, como alta exposição à luz, oxigênio, temperatura e pH e evitar perda do valor nutricional e danos à estrutura do composto. Entre os métodos utilizados para formar microcápsulas está a coacervação complexa (Organek, 2023).

A coacervação complexa é um procedimento realizado através da mistura de 2 ou mais polímeros de cargas opostas, geralmente proteína e polissacarídeo, que formam uma emulsão e através de algumas mudanças do ambiente, como ajuste de pH e temperatura, e cobrem o núcleo, que geralmente são substâncias oleosas (Vasconcelos, 2022; Organek, 2023). Além de ser simples e ser eficiente na proteção de compostos sensíveis ao ambiente, esse método de microencapsulação tem sido muito utilizado pelas indústrias alimentícias e farmacêuticas devido suas vantagens, como a capacidade de mascarar características sensoriais indesejáveis e de liberação lenta do núcleo da microcápsula (De Souza et al., 2018).

A palma forrageira, nome científico *Opuntia ficus-indica*, faz parte da família Cactaceae e é uma planta muito resistente, visto que consegue se adaptar aos climas quentes da região semiárida do nordeste brasileiro (Freitas, 2021). Essa cactácea tem como característica a produção de mucilagem, de alto valor nutricional e elevado teor de água, carboidratos não fibrosos e pectina, em seus cladódios (Freitas, 2021). A mucilagem é um polímero natural complexo, composto de diversos tipos de açúcares como galactose, xilose e arabinose, de textura viscosa com propriedades emulsificantes e elásticas (Araújo et al., 2021).

Assim, o presente trabalho se justifica pelo ineditismo e pela valorização do Cerrado, que é o bioma regional. Ademais, teve como objetivo a extração e caracterização da mucilagem da palma forrageira, de forma a utilizá-la como um dos polímeros agentes de microencapsulação. Bem como a avaliação do teor de carotenoides totais dos óleos de pequi e buriti e realizar a microencapsulação através da técnica de coacervação complexa, sendo realizado também o rendimento, eficiência de encapsulação e morfologia e tamanho das partículas obtidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Buriti

O Buriti é uma palmeira característica do Cerrado com uma das maiores distribuições geográficas do Brasil, cresce em ambientes úmidos e é capaz de alcançar cerca de 20 metros de altura (Ribeiro et al., 2023; Pinto et al., 2024). Essa planta pertence ao gênero *Mauritia*, conhecido pelos povos indígenas antigos como “árvore da vida”, além disso a denominação foi dedicada ao rei dos países baixos, Maurício de Nassau (Carvalho e Dos Santos, 2020; Pinto et al., 2020). A safra do fruto acontece entre os meses de setembro a fevereiro (Sampaio, 2012).

O fruto do buriti apresenta formato arredondado, com polpa de coloração amarelo-avermelhada, envolvida por uma casca escamosa e rígida (Ribeiro et al., 2023). Tem alto valor nutricional, é rico em lipídeos, como ácido palmítico e oleico, e uma ótima fonte de ácidos graxos monoinsaturados (Martins, 2020). Tem alta concentração de vitaminas, como A, C e E (Ramos, 2022). A coloração do buriti demonstra o elevado teor de carotenoides, principalmente o beta caroteno, sendo um dos frutos mais ricos em carotenoides do Brasil (Teodoro, 2024).

Dentre os frutos do cerrado, o buriti é um dos que apresenta maior quantidade de compostos biologicamente ativos (Teodoro, 2024). Entre os principais compostos estão: os ácidos graxos, compostos fenólicos, flavonoides, fitoesteróis e carotenoides (Rodrigues, 2021; Sousa, 2024). A composição química do buriti proporciona atividades benéficas à saúde humana, como atividade antioxidante, antibacteriana, anti-inflamatória, cicatrizante, aumento da resposta imunológica e redução da ocorrência de doenças crônicas (Carvalho e Dos Santos, 2020; Morais, 2021).

Dessa forma, o óleo de buriti tem sido amplamente estudado, como exemplo tem-se o trabalho de Leão (2019) que analisou o potencial antioxidante de nanoemulsões do óleo de buriti e óleo de buriti estruturado através dos métodos de poder antioxidante redutor férrico (FRAP) e capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC) e identificou que pelo método FRAP, o óleo não estruturado apresentou capacidade antioxidante de $419,83 \mu\text{mol mL}^{-1}$ e o óleo estruturado 24h de $611,38 \mu\text{mol mL}^{-1}$. Já pelo método ORAC, o óleo não estruturado apresentou capacidade antioxidante de $3089,66 \mu\text{mol mL}^{-1}$ e o óleo estruturado 24h de $3640,56 \mu\text{mol mL}^{-1}$. Essa elevada capacidade antioxidante referente ao óleo de buriti provavelmente está relacionada à alta concentração de carotenoides presente no fruto.

Além de seu potencial biológico e medicinal, o buriti possui grande importância socioeconômica no Brasil (Pinto et al., 2020; Teodoro, 2024). Por ser comestível, o fruto é regionalmente utilizado na indústria alimentícia na produção de doces, sucos, sorvetes e óleo (Ribeiro et al., 2023). Por fim, a indústria farmacêutica tem desenvolvido cosméticos a partir do óleo de buriti, visto que a presença de compostos antioxidantes, tocoferóis e carotenoides proporcionam a renovação celular, bem como a lubrificação e estímulo para a hidratação da pele (Pinto et al., 2020; Santos, 2024). O estudo de Belfort et al (2023) também indicou a atividade antimicrobiana do buriti, contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus sp.* e *Pseudomonas aeruginosa*, ao realizar testes microbiológicos em um cosmético para pele idosa desenvolvido a partir de óleo de buriti por meio da metodologia de difusão em disco.

2.2 Pequi

Entre a vasta flora característica do Cerrado brasileiro, o pequi, nome científico *Caryocar brasilienses*, pertencente à família Caryocaraceae, é o fruto mais consumido e comercializado (Weichert et al., 2023). Esse fruto é produzido em larga escala no Brasil, sendo os estados de Minas Gerais e Goiás, os que mais se destacam na produção e pode ser comercializado para ser consumido in natura, em forma de óleo, conserva e licor (QUINTANILHA et al., 2022). É uma espécie arbórea, seu fruto possui exocarpo verde e mesocarpo amarelado, e é muito explorado por diversas áreas da indústria, como alimentícia, farmacêutica e medicinal, principalmente por ser uma ótima fonte de compostos bioativos (Garcia, 2021).

Esse fruto possui alto valor nutricional e por ser rico em vitaminas, compostos fenólicos e carotenoides, apresenta atividade antioxidante e pode ser consumido e utilizado para o desenvolvimento de novos produtos (Barroso et al., 2020). Ademais, as vitaminas A e C e os ácidos graxos oleico, palmítico e linoleico se destacam (Coutinho et al., 2024).

Existe na literatura estudos que avaliaram a atividade antioxidante do extrato da polpa do pequi através das metodologias de ensaios da atividade sequestrante do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) e poder redutor de metais para teste *in vitro* e ensaios de inibição da peroxidação lipídica em homogeneizado de cérebro de rato para teste *ex vivo*. Os autores concluíram que maiores concentrações do extrato apresentam melhores resultados tanto para a atividade antioxidante, quanto para a capacidade de inibição da peroxidação lipídica, sendo essas propriedades atribuídas à presença de compostos fenólicos (Denger et al., 2020).

O potencial antimicrobiano do extrato bruto da flor de *C. brasilienses* já foi previamente identificado contra *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* e *K. pneumoniae* (De Sousa et al., 2022). Outras partes da planta, como cascas e folhas, também demonstraram atividade antimicrobiana

contra fungos. O óleo da polpa do fruto apresentou atividade antibacteriana, principalmente contra as bactérias *Salmonella choleraesuis*, *S. aureus* e *E. coli* (Bezerra, 2021). Os extratos etanólicos e aquoso das folhas do pequi apresentaram efeito inibitório contra cepas de *Staphylococcus spp.* e *E. coli* (Filho et al., 2021).

2.3 Carotenoides

Os carotenoides são corantes naturais sintetizados como metabólitos secundários da fotossíntese de vegetais, principalmente em frutos e folhas, caracterizados por cores que variam entre amarelo, laranja e vermelho (Viana, 2022; Terao, 2023). Sua estrutura linear e simétrica conta com tetraterpenoides, um conjunto de 40 carbonos, e 8 unidades de isopreno e são fundamentais para a sobrevivência de organismos fotossintetizantes (Bemfeito, 2020; Maoka, 2020; Sun, 2022).

Esses pigmentos são classificados de acordo com os grupos funcionais, os carotenos, como o α -caroteno e o β -caroteno, possuem apenas cadeias de hidrocarbonetos. Já as xantofilas, como luteína e β -criptoxantina, possuem átomos de oxigênio entre os carbonos (Maoka, 2020; Ghosh, 2022). Entre esses, os principais carotenoides presentes em frutos são o β -caroteno e a luteína (Bemfeito, 2020), porém as polpas de buriti e pequi possuem maior teor de β -caroteno e α -caroteno, respectivamente (Soares et al., 2021; Narita et al., 2022; Sousa, 2024).

Soares et al. (2021) analisaram amostras de óleo de buriti de três cidades de Minas Gerais, sendo elas Brasília de Minas, Cônego Marinho e Chapada Gaúcha, e identificou que não houve diferenças estatísticas relevantes entre os diferentes locais. A quantidade de carotenoides por espectrofotometria encontrada foi entre 562,85 e 582,62 mg/100 g. Os testes por cromatografia líquida de alta eficiência demonstraram que o teor de luteína foi entre 1,39 e 1,80 μ g/100 g, o de β -caroteno foi expressivo entre 201,25 e 324,63 mg/100 g, porém não detectaram α -caroteno.

Amostras da polpa, casca e amêndoa de pequi coletados no estado de Mato Grosso foram estudadas por Narita et al. (2022) através de espectrofotometria UV-Visível, e identificaram que a polpa possui a maior quantidade de α -caroteno (63,81 μ g/g), β -caroteno (59,83 μ g/g) e licopeno (40,66 μ g/g). Já a atividade antioxidante foi testada por meio da capacidade do extrato das farinhas desse fruto degradar 50% do radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH), dessa forma a o extrato da casca apresentou o melhor resultado, sendo relacionado à quantidade de compostos fenólicos presentes no pequi.

Do Nascimento (2021) realizou estudo para avaliar o teor de carotenoides e a atividade antioxidante da polpa de abacate (*Persea americana* Mill) madura. A capacidade antioxidante

foi avaliada pelos métodos de sequestro do radical DPPH, do radical ABTS e o método de redução do íon Fe^{3+} (FRAP), concluiu-se que o abacate é rico em carotenoides totais, o que pode ter influenciado na excelente capacidade antioxidante.

Além de serem fundamentais para o desenvolvimento de plantas, os carotenoides também desempenham funções muito importantes para a saúde humana (Sun, 2022). A importância desses pigmentos naturais se deve à atividade de pró-vitamina A, visto que a maioria dos carotenoides são precursores dessa vitamina, que é responsável pela saúde dos olhos, funcionamento do sistema imunológico, desenvolvimento e diferenciação celular (Viana, 2022; Terao, 2023). Adicionalmente, vários estudos têm sido realizados para demonstrar as propriedades e benefícios dos frutos ricos em carotenoides para a saúde humana (Amengual, 2019; Do Nascimento, 2021; Shilpa, 2020; Viana, 2022; Terao, 2023).

Porém, uma das características que dificulta a utilização dos carotenoides na indústria é a sua instabilidade à exposição a condições ambientais diversas, tais como exposição à luz, calor, oxigênio e acidez (Polyakov et al., 2023; Pinna et al., 2024). Essa instabilidade se justifica devido à sua estrutura tetraterpenóide com duplas ligações conjugadas de cadeia longa e a alta quantidade de elétrons (Sridhar, Inbaraj e Chen, 2021; Atencio et al., 2022). Dessa forma, tem sido estudado maneiras de evitar a degradação desses corantes naturais, sendo a encapsulação uma estratégia utilizada para este fim (Sridhar, Inbaraj e Chen, 2021; Pinna et al., 2024).

2.4 Microencapsulação

A microencapsulação de compostos, como o nome diz é uma técnica emergente muito utilizada para revestir substâncias, como edulcorantes, temperos, óleos essenciais, probióticos e outras com potencial bioativo, dessa forma isolam e protegem as mesmas das diversas condições ambientais, como umidade, calor, luz e temperatura (Selmi, 2014; Santos, 2020; Gottardo et al., 2021; Calderón-Oliver e Ponce-Alquicira, 2022; Mehta et al., 2022; Raddatz, 2022; Al-Hamayda et al., 2023). As cápsulas são compostas pelo núcleo, podendo ser sólido, líquido ou gasoso contendo o material ativo, e pela membrana de revestimento que são finas e resistentes e formadas por polímeros, como gelatina e goma arábica (Sousa et al., 2022; Yuksel, Istek e Bulca, 2023).

As partículas podem ser classificadas de acordo com núcleo em polinucleares ou mononuclear e conforme tamanhos. As microcápsulas possuem diâmetro entre 0,2 e 5.000 μm , as macrocápsulas possuem diâmetro maior que 5.000 μm e as nanocápsulas que possuem diâmetro entre 10 nm e 1 μm (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020; Neves et al., 2021; Yan e Kim, 2024). Também podem ser classificadas conforme o formato, como as microcápsulas que

se caracterizam pelo núcleo concentrado no centro da partícula recoberto totalmente pela parede, e as microesferas que são caracterizadas pela distribuição do núcleo tanto no centro quanto na superfície da cápsula (Sousa et al., 2022). A morfologia das cápsulas depende de vários fatores, tais como as propriedades físico-químicas do núcleo, a composição da parede e o tipo de processo utilizado para o encapsulamento, essas características definem, por exemplo, o formato esférico ou irregular da cápsula (Choudhury, Meghwal e Das, 2021).

Atualmente, várias áreas da indústria utilizam as técnicas de encapsulamento de substâncias, entre elas a alimentícia, farmacêutica, agricultura e de cosméticos, com o objetivo de desenvolver ingredientes bioativos (Yan e Kim, 2024). Entre as vantagens desse procedimento estão a utilização de materiais biodegradáveis, sustentáveis e inofensivos à saúde humana, o aumento da estabilidade dos compostos bioativos, a proteção das substâncias contra condições ambientais, como luz, temperatura e acidez, a possibilidade de mascarar sabores e odores indesejados e a liberação dos princípios ativos de forma controlada, tanto para tempo e ambiente, conforme a alteração de pH, temperatura e solubilidade (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020; Raddatz e Menezes, 2021; Sousa et al., 2022). Assim, o encapsulamento tem sido muito utilizado na indústria alimentícia para o desenvolvimento de alimentos funcionais, com o objetivo de aumentar o poder nutritivo dos mesmos através de núcleos como probióticos, antioxidantes, vitaminas e carotenoides (Rivas, Cabral e Rocha-Leão, 2021; Saqueti et al., 2021; Raddatz, 2022).

A determinação da técnica utilizada depende da finalidade e das características da cápsula desejada, desde tamanho da partícula até o custo do processo (Raddatz e Menezes, 2021). As técnicas utilizadas são classificadas de acordo com os processos realizados, as técnicas físicas são a evaporação, secagem por pulverização, o resfriamento por pulverização, cocristalização e extrusão por liofilização (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020; Ayyaril, 2023). As técnicas físico-químicas são a coacervação simples e complexa, evaporação do solvente e aprisionamento de lipossomas (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020; Ayyaril, 2023). Já os processos químicos são os meios de polimerização, inclusão molecular e policondensação (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020; Ayyaril, 2023).

2.4.1 Coacervação Complexa

O processo de coacervação é definido a partir da separação de fases de soluções coloidais (Janke et al., 2021; De Almeida et al., 2024). E podem ser classificados em coacervação simples ou complexa, a primeira é quando utiliza-se apenas 1 tipo de material de parede, já a complexa necessita de mais de um polímero para a construção do envoltório da cápsula (Janke et al., 2021).

Além disso, se diferenciam pela maneira de separação de fases, na simples são utilizados solventes ou alterações de temperatura ou pH, e na complexa utiliza-se polímeros com cargas opostas (Palacios et al., 2023).

As interações eletrostáticas e a força de atração dos cátions e ânions dos polímeros utilizados na coacervação complexa, bem como a temperatura, o pH da solução e a concentração dos polímeros influenciam na formação do encapsulamento, essas cargas se agregam e formam uma estrutura rica em polímeros que serão responsáveis por envolver o núcleo, geralmente materiais hidrofóbicos, como óleos (Da Costa et al., 2020; Lobato et al., 2021; Muneratto, Gallo e Nicoletti, 2021; Sousa et al., 2022). Os polímeros de cargas opostas mais utilizados na indústria alimentícia para a formação de cápsulas são polissacarídeos e proteínas, como goma arábica, gelatina, alginato, pectina, maltodextrina e quitosana (Lobato et al., 2021; Sousa et al., 2022).

Assim, a coacervação complexa tem sido bastante explorada pela indústria alimentícia para a encapsulação de fragrâncias, sabores e compostos nutritivos (Abd El-Kader e Abu Hashish, 2020). Essa técnica de encapsulamento conta com diversas vantagens, entre elas a simplicidade, o baixo custo, não ser necessário o uso de solventes, resistência ao calor dependendo do núcleo, alta capacidade de armazenamento e de liberação controlada do núcleo (Muneratto, Gallo E Nicoletti, 2021; Sousa et al., 2022).

2.5 Palma Forrageira

A palma forrageira, assim denominada por ser muito utilizada como alimento para os animais, pertence à família Cactaceae e tem como nome científico *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (Dos Santos Pessoa, 2022; Voltolini, 2022; Wang et al., 2023). Originária do México, é uma planta de suma importância para o semiárido brasileiro devido à resistência ao clima seco e quente, tendo ótima produtividade em épocas de estiagem (Voltolini, 2022; Rufino, De Oliveira e Sousa, 2023).

A estrutura tem altura média entre 3 e 5 metros de altura e conta principalmente com ramos de caule verdes com espinhos característicos, chamados de cladódios (Wang et al., 2023; Caminiti et al., 2024). Essas estruturas são fundamentais para a resistência do vegetal, visto que são recobertos de cera que evitam a perda de água, assim os cladódios são responsáveis pela fotossíntese e pela reserva de água e diversos nutrientes (Pereira et al., 2018; Caminiti et al., 2024).

Acredita-se que essa espécie foi muito difundida pelo mundo devido sua capacidade de abrigar o *Dactylopius coccus*, um inseto conhecido como cochonilha, que apesar de ser uma praga para a Palma tem importância comercial por produzir o corante natural vermelho (Giraldo-

Silva et al., 2023). Atualmente, a palma é considerada um dos cactos mais produzidos para alimentação, tanto para a alimentação animal quanto para a humana (Dos Santos Pessoa, 2022; Todhanakasem et al., 2022). Essa potencialidade na alimentação se deve por conta das características nutricionais da planta, que é rica em água, polissacarídeos, aminoácidos e proteínas, ácidos graxos, as vitaminas, principalmente A, C e do complexo B, minerais, fibras, antioxidantes, polifenóis e esteróis (Dos Santos, De Sousa, Da Silva Ferko, 2023; Wang et al., 2023; Caminiti et al., 2024).

Além disso, possuem diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e medicinais, devido aos metabólitos secundários produzidos pela palma forrageira (De Oliveira et al., 2021; Dos Santos Pessoa, 2022; Dos Santos, 2023). Entre os compostos bioativos presentes na palma estão os polifenóis, flavonoides, betalaínas e taninos (Wang et al., 2023; Caminiti et al., 2024; Ha et al., 2024). Na indústria de cosméticos a Palma Forrageira tem sido utilizada para a fabricação de hidratantes, loções adstringentes, sabonetes e shampoos, por exemplo (Calijuri, 2021; Rosa, 2021).

A *Opuntia ficus-indica* é uma PANC, Planta Alimentícia Não Convencional, que pode ser consumida de diversas formas, entre elas em saladas, doces, cozidos e sorvetes (BARROSO, 2021). Os principais benefícios à saúde advindos do consumo dos cladódios da Palma estão relacionados à prevenção de doenças crônicas, por conta de melhoras do estresse oxidativo, na glicemia e os efeitos anti-hiperlipidêmicos (Assunção et al., 2021). Outro potencial é a capacidade de destruir células malignas, por isso todas as partes de *Opuntia ficus-indica* tem sido estudada como anticancerígeno (Wang et al., 2023). Compostos como flavonoides, polifenóis e betalaínas estão relacionados com a capacidade antiproliferativa e de indução à apoptose de células tumorais (Ahmedah, 2023).

Roca et al. (2021), analisaram o extrato hidroalcoólico dos frutos de *Opuntia ficus-indica*, variações branca, amarela e roxa, e determinaram a atividade antioxidante através do método de sequestro de radicais livres 1,1 – difenil – picril – hidrazil (DPPH), do método de sequestro do cátion radical do ácido 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfônico (ABTS+) e pelo método do potencial antioxidante redutor do ferro (FRAP). Também analisaram a atividade anti-inflamatória in vitro por meio da estabilização da membrana dos glóbulos vermelhos. Com isso, concluíram que os frutos possuem ótimas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, sendo que pelo método DPPH e ABTS os melhores resultados foram do fruto laranja e roxo, respectivamente. Pelo método FRAP, não houveram diferenças significativas para as variações. E os resultados demonstraram que a variação laranja apresentou melhor atividade anti-

inflamatória. Esses resultados, provavelmente, estão relacionados com a presença de compostos fenólicos e flavonoides no fruto.

2.5.1 Mucilagem da Palma Forrageira

Os cladódios de *Opuntia ficus-indica* são especializados em armazenar água e mucilagem em células mucilaginosas presentes na sua estrutura de parênquima (Procacci et al., 2021; Mannai et al., 2023). A mucilagem dessa cactácea é um hidrocolóide formado por uma cadeia longa e ramificada de diversos carboidratos, por isso considerada um heteropolissacarídeo espesso e viscoso (Cruz-Rubio et al., 2020; Otálora, Wilches-Torres e Castaño, 2021; Soltani et al., 2023). Entre os principais açúcares de composição da mucilagem estão os açúcares neutros, como arabinose, xilose, galactose, ramnose, ácido urônico e ácido galacturônico (Cruz-Rubio et al., 2020; Mannai et al., 2023; Rodrigues et al., 2024).

Além de ser rico em carboidratos, a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* possui alto teor de fibras alimentares, ácidos graxos poliinsaturados, como α -linolênico e linoleico, vitaminas, proteínas, bem como compostos biologicamente ativos como os polifenóis (Todhanakasem et al., 2022; Rodrigues et al., 2024). É importante ressaltar que a composição da mucilagem e dos cladódios variam de acordo com as condições de desenvolvimento, clima, solo e idade do vegetal (Procacci et al., 2021; Caminiti et al., 2024).

A composição desta mucilagem tem sido muito explorada nos últimos anos, visto que os polissacarídeos presentes a transformam em um biopolímero muito importante para a indústria (Mannai et al., 2023; Mannai et al., 2023). Os biopolímeros têm diversas aplicações nas indústrias alimentícias, farmacológicas e medicinais, visto que são naturais e por isso tem ampla disponibilidade, são biodegradáveis, não geram resíduos e, além de não serem tóxicos, podem ter efeitos benéficos à saúde devido à presença de metabólitos secundários bioativos (Quintero-Garcia et al., 2021; Nascimento, 2022; De Castro et al., 2024). As características físico-químicas da mucilagem de *Opuntia ficus-indica*, como a viscosidade, sua carga negativa e a solubilidade em água, propiciam a utilização como espessante, gelificante, emulsificante e como material para filmes biodegradáveis para embalagens e encapsulamento (Otálora, Wilches-Torres e Castaño, 2021; Mannai et al., 2023).

O estudo de Soltani et al., (2023) avaliou a potencialidade de 3 extratos de mucilagem de *Opuntia ficus-indica* como emulsificante, o primeiro extrato foi a mucilagem bruta levemente purificada (Mofi), o segundo foi o extrato de polissacarídeo levemente purificado (Pofi) e o terceiro extrato foi obtido por filtração da pectina (FPofi). E demonstraram que a atividade emulsificante está relacionada com a quantidade de proteínas e arabinogalactano presentes nos

extratos, dessa forma o primeiro extrato na concentração de 1,5% apresentou ótima atividade emulsificante para água em óleo de girassol evitando sua mistura por cerca de 3 meses.

Van Rooyen et al., (2023) desenvolveram um filme de biopolímeros com a mucilagem do fruto de *Opuntia ficus-indica* liofilizada, com concentração maior que 5%, em concentrações menores não havia a formação do filme. Também fizeram a comparação do mesmo com filmes desenvolvidos a partir de alginato e pectina, com concentração 2,5%. Com isso, observaram que o filme de mucilagem apresentou ótima elasticidade, mas obteve menor resistência do que as de alginato e pectina. Apesar disso, é importante destacar a possibilidade de uso da mucilagem de palma como material para a produção de embalagens naturais.

Otálora, Wiches-Torres e Gómez Castaño (2022) estudou a utilização de mucilagem dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* e das folhas de aloe vera, como materiais de parede para a encapsulação de carotenoides da goiaba rosa através do método de secagem por pulverização. E como resultado analisaram a possibilidade do uso de ambas mucilagens para a elaboração de microcápsulas devido às suas capacidades emulsificantes. Houve diferenças no resultado final entre os dois materiais de parede, enquanto as microcápsulas de aloe vera apresentaram maior teor de carotenoides retidos e maior atividade antioxidante, as microcápsulas de *Opuntia ficus-indica* apresentaram maior teor de fibra alimentar e maior estabilidade térmica. Assim, é possível considerar esses polímeros naturais como promissores ingredientes biofuncionais para alimentos.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Materiais de Parede

Os materiais de parede utilizados foram a mucilagem dos cladódios da Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica*) colhidos na divisa entre as cidades Cristópolis-BA e Cotegipe-BA, região semi-árida do oeste baiano, localizada nas coordenadas 12°06'45.0"S 44°14'57.0"W e a gelatina incolor sem sabor adquirida no comércio local de Barreiras-BA.

3.1.2 Materiais de Núcleo

Os materiais de núcleo utilizados foram os óleos de buriti e pequi adquiridos na feira-livre de Barreiras-BA.

3.2 Métodos

3.2.1 Extração e Liofilização da Mucilagem da Palma Forrageira

A mucilagem da palma foi extraída por meio de uma adaptação da metodologia descrita por Farias et al. (2015). Inicialmente, os cladódios da palma forrageira foram pesados e desinfetados em solução clorada por 10 minutos. Em seguida, os cladódios foram cortados em pedaços de aproximadamente 2 cm, colocados e pesados em um béquer. Foi adicionada a mesma quantidade de água destilada na proporção 1:1 e a mistura foi deixada em repouso por 24 horas. Após esse período, a mucilagem foi extraída com o auxílio de uma peneira e voau. Os resíduos foram então retornados à água destilada na mesma proporção de 1:1, sendo deixados por mais 1 hora. A mucilagem foi transferida para recipientes e armazenada em congelador, após congelar as amostras foram liofilizadas 2 vezes, devido ao volume da amostra com o objetivo de garantir a secagem total, em liofilizador Freeze Dryer Linha LJJ da JJ Científica LTDA - ME por 24 horas.

3.2.2 Determinação do pH e Proporção dos Polímeros de Coacervação

Primeiramente, a gelatina foi dissolvida em água destilada no banho maria a 60°C, a mucilagem foi dissolvida em água destilada no agitador magnético com aquecimento a 60°C. Posteriormente foram realizados vários testes para observar se ocorreria formação de coacervados através da separação de fases na mistura. Utilizou-se a proporção de 1:1 (gelatina:mucilagem) sendo 10 ml de cada solução, com a variação de pH entre 3,0 a 5,5

utilizando ácido clorídrico (HCl) 0,01 mol/L, onde o precipitado foi observado no pH 4,0. Após a determinação do pH, foram realizados novos testes para determinação da melhor proporção de polímeros, entre eles 2:1, 3:1, 1:2 (gelatina:mucilagem). Também foram realizados testes em diferentes temperaturas além da temperatura ambiente, a 40, 50 e 60°C.

3.2.3 Determinação da Concentração do Núcleo

Para a determinação da concentração de núcleo levou-se em consideração a proporção das massas totais dos polímeros utilizados. Logo, foram testados núcleos de 25, 50 e 75%, e observando as características físicas e microscópicas das emulsões, determinou-se a concentração de núcleo em 50%. Foram utilizadas soluções de polímeros na concentração 1% em água devido à alta viscosidade da mucilagem, assim considerando que na solução com 10 ml de mucilagem e 10 ml de gelatina tem 0,2 g de polímeros, o núcleo de 50% tem 0,1 g de óleo.

3.2.4 Microencapsulação

Para a formação das microcápsulas foi utilizada a proporção de 2:1 gelatina:mucilagem com 50% do núcleo, óleo de buriti e óleo de pequi, em relação à massa total dos polímeros utilizados. Em 2 béckers foi colocado e pesado a massa de cada óleo, adicionou-se a gelatina diluída e no ultra turrax foi emulsionado a 8000 rpm até se obter uma mistura homogênea, após essa etapa, reduziu-se a velocidade para o mínimo e adicionou-se a mucilagem diluída. Posteriormente, o bécker com a emulsão foi levado para o agitador magnético e com o auxílio do pHmetro o pH da emulsão foi medido e ajustado para 4,0, à temperatura ambiente, utilizando HCl 0,01 mol/L. Para finalizar, o bécker com a emulsão foi levado para um banho de gelo e armazenado sob temperatura de refrigeração por 24 horas. Por fim, foram produzidas cápsulas com goma arábica e gelatina para a comparação utilizando o mesmo procedimento, porém o pH da emulsão foi ajustado à 40°C e utilizando HCl 0,08 mol/L.

3.2.5 Secagem das microcápsulas

Após a decantação do coacervado, a água foi dispensada e o material precipitado foi congelado e levado para a secagem no Liofilizador Freeze Dryer Linha LJJ JJ Científica - Me, onde foi armazenado por cerca de 24 horas até as amostras secarem completamente.

3.3 Caracterização das Microcápsulas

3.3.1 Quantificação dos Carotenoides Totais dos Óleos Livres

A quantificação dos carotenoides totais dos óleos livres e dos óleos encapsulados foram medidas por espectrofotometria, conforme metodologia de Comunian et al., 2020. Para isso foram coletadas massas pequenas dos óleos de pequi e de óleo de buriti que foram diluídas com volume conhecido de hexano e feita a leitura no espectrofotômetro em diferentes comprimentos de onda a fim de determinar o comprimento de absorbância máxima. O comprimento de onda utilizado para o óleo de buriti foi de 450 nm e para o de pequi foi de 430 nm.

3.3.2 Quantificação dos Carotenoides Totais dos Óleos Encapsulados

Para definir a quantidade de carotenoides totais dos encapsulados foi preciso realizar a ruptura das cápsulas, essa etapa foi baseada na metodologia adaptada de Comunian et al., 2020, onde as amostras de material encapsulado foram pesadas em tubo de ensaio e foram adicionados 5 ml de metanol, 5 ml de sulfato de sódio (Na_2SO_4) e 0,8 g de cloreto de potássio (KCl), após foram agitados no vortex. Acrescentou-se 4 ml de hexano e foram agitados novamente. Os tubos foram levados para a centrífuga a 4000 rpm por 10 minutos, depois as foram coletados 2 ml da fase hexânica (superfície), transferidos para uma cubeta de quartzo e levados para a leitura de absorbância no espectrofotômetro, sendo os valores de absorbância de 430 nm para as amostras de pequi e de 450 nm para os de buriti.

A partir da determinação das absorbâncias de cada amostra foi realizado o cálculo para determinação dos carotenoides totais das amostras através da fórmula: Carotenoides totais (mg/g) = $[\text{Abs} \times \text{V (ml)} \times 10^4] / \text{M (g)} \times 2500$, onde Abs é a absorbância, V é o volume de hexano utilizado, M é a massa da amostra e 2500 é o coeficiente de extinção molar de carotenoides em hexano.

3.3.3 Rendimento de Encapsulação

O rendimento de encapsulação indica a quantidade de carotenoides em todo o produto e foi determinado considerando o valor de carotenoides iniciais que foi deduzido pela quantidade de carotenoides presentes no óleo adicionado para a produção das cápsulas, através da fórmula:

$$\text{RE (\%)} = (\text{carotenoides totais (mg/g)} / \text{carotenoides iniciais (mg/g)}) \times 100.$$

Onde RE = rendimento de encapsulação; CT = carotenoides totais presentes na amostra após secagem e CI = carotenoides presentes na emulsão antes da liofilização.

3.3.4 Eficiência de Encapsulação

A eficiência de encapsulação, considera a concentração de carotenoides na cápsula descontando a da superfície após lavagem com água em comparação ao que foi adicionado inicialmente e determina a quantidade de carotenoides presentes no interior das cápsulas. Essa característica foi definida pela fórmula:

$$EE (\%) = ((CC \text{ (mg/g)} - CS \text{ (mg/g)})/CI \text{ (mg/g)}) \times 100.$$

Onde EE = eficiência de encapsulação; CC = concentração de carotenoides; CS = carotenoides totais na superfície.

3.3.5 Morfologia

A morfologia das microcápsulas foi avaliada por microscopia óptica das microcápsulas secas e ressuspensas em água, em lente de aumento de 100x, utilizando uma câmera acoplada ao microscópio, e analisada através do software ImageView.

3.3.6 Tamanho de Partícula

Para a análise tamanho de partícula foram tiradas fotos das amostras das cápsulas de buriti, e pequi, realizadas com núcleo de concentração de 50%, em um microscópio óptico em lente de aumento 40x e levadas para o software ImageJ. No programa foram realizadas correções das imagens, conforme metodologia de Marcomini e Souza (2011). Primeiramente, a iluminação foi corrigida através do comando “Subtract Background” (Figura 15), após utilizou-se o comando “Find Edges” para determinar os contornos das partículas e definir as bordas (Figura 16), com os comandos “Make Binary” (Figura 17), “Erode”, “Dilate” e “Fill Holes” (Figura 18). Para esses três últimos comandos foram repetidas quantas vezes necessárias para preencher os contornos. A imagem foi binarizada e as partículas preenchidas para finalmente ser obtido o diâmetro de Feret, que apresenta o tamanho da partícula. Por fim, foram realizadas as médias dos diâmetros encontrados para definir o tamanho médio característico de cada cápsula.

3.4 Análise Estatística

A fim de comparação entre os diferentes tratamentos para as análises do teor de carotenoides totais e tamanho médio das partículas, foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Tukey, ambos ao nível de 5% de significância. Foi utilizado o Software estatístico Sisvar versão 5.6 (Ferreira, 2019).

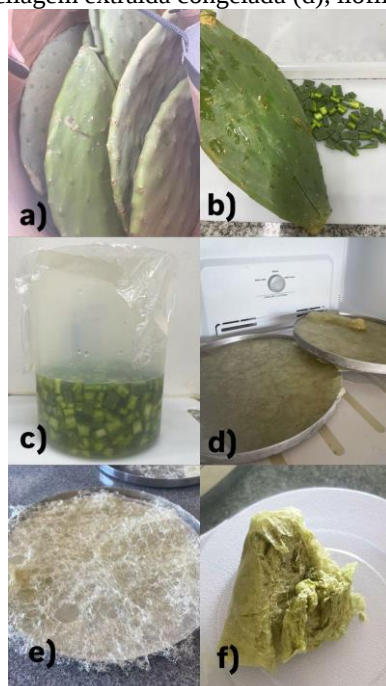
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Obtenção da Mucilagem da Palma Forrageira

O processo de obtenção e liofilização da mucilagem da Palma Forrageira são demonstrados na Figura 1. A extração foi realizada na proporção 1:1 (água:mucilagem), a primeira extração em 24 horas foi responsável pela retirada de 105 g do peso da palma utilizada. Porém, foi possível observar que a primeira extração não foi suficiente para retirar a maior parte do material, logo a realização da segunda extração com os resíduos foi fundamental, ao final foram adquiridos cerca de 3 litros de mucilagem total. Para a utilização da mucilagem durante o processo de experimentos, realizou-se o procedimento de secagem por liofilização da mucilagem adquirida objetivando a utilização das amostras secas e foram obtidos 4,92 g de mucilagem seca.

A mucilagem úmida apresentou aspecto altamente viscoso, cor translúcida esverdeada e cheiro leve, resultados alinhados com os dados obtidos por Quintero-Garcia (2021), que analisaram amostras de mucilagem de cladódios de *Opuntia ficus-indica* frescos e desidratados e indicaram alta viscosidade, provavelmente relacionada à presença de arabinose e a cor esverdeada clara. Já as amostras secas de mucilagem apresentaram características higroscópicas, mesmo secas não tinham aparência de pó, e cor esverdeada mais escura conforme item f da Figura 1.

Figura 1 - Extração da Mucilagem dos Cladódios da Palma Forrageira. Cladódios (a) cortados em pequenos pedaços (b) em água (c). Mucilagem extraída congelada (d), liofilizada (e) e pronta para uso (f).

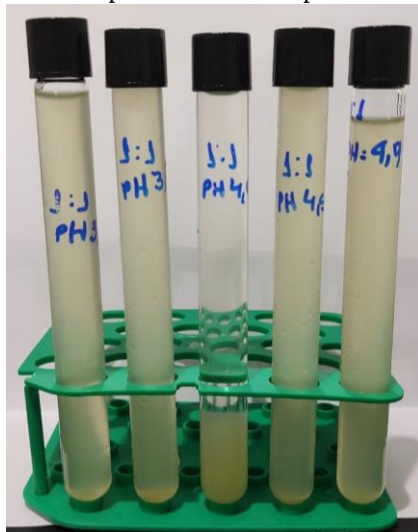


Fonte: autoral.

4.2 Teste para Determinação do pH e Proporção de Polímeros

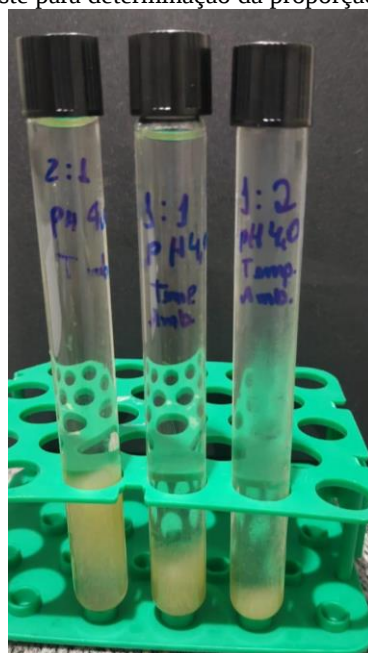
A Coacervação Complexa, técnica utilizada para produzir as microcápsulas contendo os óleos de pequi e de buriti, necessita que os polímeros de parede tenham cargas elétricas opostas (Napiórkowska e Kurek, 2022), dessa forma os polímeros escolhidos foram a gelatina e a mucilagem da *Opuntia ficus-indica*. Quintero-Garcia et al. (2021), analisaram o potencial zeta da mucilagem e encontraram como resultado $-21,73 \pm 2,38$ para as amostras frescas, logo, considerando que dados da literatura indicam que a mucilagem tem carga negativa, este material pode ser utilizado para formar coacervados com a gelatina que é um polímero catiônico. Além disso, características como pH e a proporção dos polímeros para a parede são determinantes para a formação das cápsulas (Napiórkowska e Kurek, 2022). Assim, foram testadas algumas taxas de pH e de proporção de polímeros para conferir a separação de fases da solução coloidal e a quantidade de precipitado do coacervado, esses resultados foram demonstrados na Figuras 2 e 3, respectivamente.

Figura 2 - Teste para determinar o pH de coacervação



Fonte: autoral

Figura 3 - Teste para determinação da proporção de polímeros.



Fonte: autoral

Dessa forma, o pH 4,0 e a proporção 2:1 (gelatina:mucilagem) apresentaram as melhores resultados para a separação de fases e precipitação. Esse valor de pH já foi utilizado para a formação de cápsulas por coacervação complexa de outros polímeros, como ovoalbumina e alginato de sódio, ovoalbumina e pectina, proteína do soro do leite e goma arábica e gelatina e goma arábica (Soares, Carvalho e Garcia-Rojas, 2021; Mariott, 2021; Farias, 2022; Bispo, 2023). Além disso, foi possível analisar que a concentração do ácido utilizado influencia no resultado final, uma vez que os resultados dos testes realizados com HCl 1 mol/L para a redução do pH até o 4,0 não foram positivos, as cápsulas foram formadas a partir da diminuição do pH utilizando HCl 0,08 mol/L.

4.3 Obtenção das Cápsulas

A partir da determinação do pH e da proporção de polímeros foram realizados testes para a formação das cápsulas. Para isso foram realizados testes para a determinação da concentração do núcleo das cápsulas em diferentes concentrações em relação à quantidade dos polímeros utilizados, foram feitos testes com 25%, 50% e 75% de núcleo, conforme Figura 4.

Figura 4 - Teste para determinação da concentração do núcleo da microcápsula

Fonte: autoral.

Percebeu-se maior quantidade de óleo na água do coacervado conforme aumentava a concentração do núcleo, isso indica que parte do material não foi encapsulado. Além disso, ao adicionar os óleos para formação das cápsulas com a mucilagem de palma, as partículas ficavam na superfície e não decantavam no fundo e por isso, todo o volume da solução foi liofilizado no processo de secagem. Com isso, foi analisada a separação de fases de acordo com a variação da concentração de núcleo, onde a concentração de 50% demonstrou melhor separação de fases, tanto para as cápsulas com óleo de pequi quanto para o de buriti.

Tabela 1 - Características para a formação das microcápsulas.

Polímeros	Proporção de Polímeros	pH de Coacervação	Concentração de Núcleo
Gelatina:Mucilagem	2:1	4	50%

Fonte: autoral.

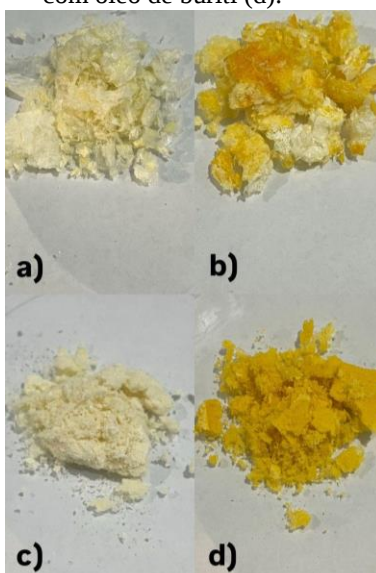
Após a determinação dos parâmetros para a encapsulação dos óleos de pequi e de buriti utilizando a gelatina e a mucilagem de Palma Forrageira, demonstrados na Tabela 1, as cápsulas foram produzidas em maior quantidade para serem liofilizadas, a caracterização das amostras das cápsulas de gelatina e mucilagem liofilizadas é demonstrada na Figura 6, itens a e b. Também foram produzidas e liofilizadas amostras de cápsulas utilizando gelatina e goma arábica na proporção 1:1, visto que é o par polimérico clássico para a coacervação complexa, conforme Figura 5 e os itens c e d da Figura 6 (Da Silva Mendes, 2020; Lemos, 2022). Percebe-se que as amostras feitas com goma arábica e gelatina possuem aspecto mais homogêneo em comparação com as amostras de mucilagem e gelatina.

Figura 5 - Produção de microcápsulas em maior quantidade



Fonte: autoral.

Figura 6 - Amostras das microcápsulas secas. Gelatina:mucilagem com óleo de pequi (a), gelatina:mucilagem com óleo de buriti (b), goma arábica:gelatina com óleo de pequi (c), goma arábica:gelatina com óleo de buriti (d).



Fonte: autoral.

4.4 Caracterização das cápsulas

4.4.1 Teor de Carotenoides Totais dos Óleos

Primeiramente, foi realizada a determinação de carotenoides totais nos óleos de buriti e pequi (Tabela 2). Vários estudos indicam que os óleos de buriti e pequi são ricos em carotenoides, sendo o β -caroteno o principal presente em ambos (Carneiro et al., 2023; Silva et al., 2023; Fuzetti e Nicoletti, 2024; Assis et al., 2025). Os resultados do presente estudo demonstraram que o óleo de buriti possui maior teor de carotenoides em comparação com o óleo de pequi. Esses resultados estão de acordo com a literatura, o estudo de Oliveira et al. (2020) onde foi analisado o potencial do óleo de buriti extraído de frutos maduros coletados no Maranhão como antioxidante e antidiabético demonstrou por espectrofotometria

ultravioleta/visível que o óleo de buriti possui cerca de 999 µg de carotenoides totais por grama de óleo, sendo que destes 30% são β-carotenos. Já Moreno, 2014 apud indicou que em 100g de óleo de pequi têm uma faixa de 6,1 a 16,11 mg de carotenoides totais.

Tabela 2 - Teor de carotenoides totais presentes nos óleos de buriti e pequi

Óleo	Carotenoides Totais (mg/g)
Buriti	712 ± 12,47
Pequi	33,6 ± 0,7

Fonte: autoral

4.4.2 Teor de Carotenoides Totais das Cápsulas

Para a determinar os carotenoides totais das cápsulas de mucilagem e gelatina e de goma arábica e gelatina, as análises foram realizadas em triplicatas da quantificação das amostras contendo óleo de buriti e de pequi por espectrofotometria sendo as absorbâncias de 450 nm e 430 nm para buriti e pequi, respectivamente. Ainda, foram determinados os teores de carotenoides nas cápsulas de goma arábica e gelatina para comparação dos resultados, conforme a Tabela 3. Os resultados indicam que a quantidade de carotenoides presentes nas cápsulas feitas com goma arábica e gelatina foram de 5,2 e 0,38 mg/g para os óleos de buriti e pequi, respectivamente. Já para as cápsulas feitas com mucilagem de palma e gelatina foram obtidos 2,62 e 0,222 mg/g de carotenoides de buriti e pequi respectivamente. Da Silva Melo (2024) produziu microcápsulas de oleossomos de buriti utilizando para material de parede maltodextrina e goma arábica através da técnica de Spray Dryer e obteve como teor de carotenoides totais dentro das cápsulas o valor de 13 mg/g de micropartículas.

4.4.3 Rendimento de Encapsulação

O rendimento indica que houve boa interação entre os materiais de parede para a formação de cápsulas e a quantidade de carotenoides totais no produto total (Justi, Sanjinez-Argandoña E Macedo, 2018). Logo os resultados do rendimento de encapsulação do óleo de buriti utilizando tanto a mucilagem com gelatina e goma arábica e gelatina foram positivos, 94% e 90%, respectivamente (Tabela 3). Os presentes resultados foram superiores ao rendimento encontrado por Parente et al. (2021) que encapsularam carotenoides presentes no suco de cenoura através da técnica de coacervação complexa utilizando goma-arábica e proteína isolada do leite como polímeros, e obtiveram o rendimento de 81,9%.

4.4.4 Eficiência de Encapsulação

Tabela 3 - Carotenoides Totais nas Cápsulas, Rendimento e Eficiência de Encapsulação do óleos de buriti e pequi utilizando os complexos mucilagem:gelatina e goma arábica:gelatina como materiais de parede.

	Amostra	Carotenoides Totais na Cápsula (mg/g)	Rendimento de Encapsulação (%)	Eficiência de Encapsulação (%)
Buriti	Mucilagem + Gelatina	$2,6 \pm 0,2^b$	94 ± 6^b	70 ± 6^b
	Goma Arábica + Gelatina	$5,2 \pm 0,3^a$	90 ± 6^b	89 ± 6^b
Pequi	Mucilagem + Gelatina	$0,22 \pm 0,05^a$	$171 \pm 39^*$	$118 \pm 39^*$
	Goma Arábica + Gelatina	$0,38 \pm 0,09^a$	$142 \pm 37^*$	$106 \pm 37^*$

*resultados inconclusivos

Letras diferentes significam que os resultados diferenciam estatisticamente de forma significativa entre si.
Fonte: autoral.

A eficiência de encapsulação diz respeito à quantidade de carotenoides que ficou armazenada dentro das cápsulas (Justi, Sanjinez-Argandoña e Macedo, 2018; Fuzetti e Nicoletti, 2024). Conforme Bakry et al. (2016), a coacervação complexa é uma das técnicas de encapsulamento que garantem melhor eficiência. Assim, pode-se afirmar que ambas combinações de polímeros foram eficientes para a encapsulação do óleo de buriti, visto que nas cápsulas de mucilagem e gelatina houve eficiência de 70% o que corrobora com o rendimento de 94,46% (Tabela 3).

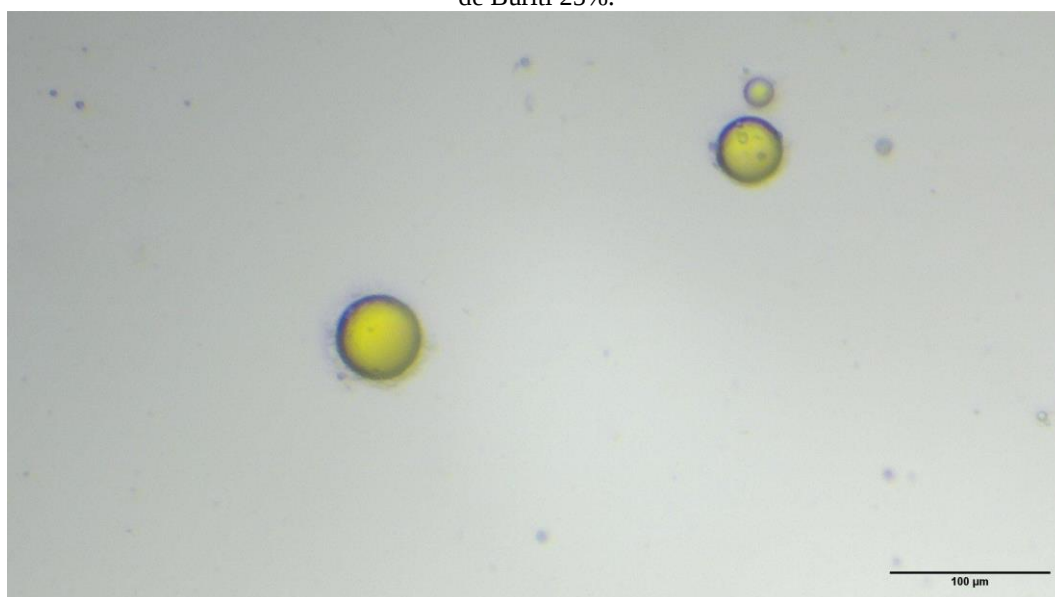
Justi, Sanjinez-Argandoña e Macedo (2018) analisaram as características de microcápsulas de óleo de pequi feitas com o complexo gelatina e goma-arábica por meio de coacervação complexa, e indicaram que o rendimento encontrado variou de 67,07 a 97%, enquanto a eficiência variou de 66,59 a 96,86%. Já Fuzetti e Nicoletti (2024), analisaram a eficiência de encapsulamento do β -caroteno contido no óleo de buriti pela mesma técnica com a combinação de maltodextrina e farinhas de feijão-azuki e feijão-lima e os resultados variaram entre 43,52 a 51,94%. Ainda, Da Silva Melo (2024) demonstrou que as microcápsulas feitas com maltodextrina e goma-arábica através da técnica de Spray Dryer obteve eficiência de encapsulação entre 75,55 e 96,20% para a emulsão dos oleosomos de buriti. O resultado encontrado no presente estudo de 70,65% de eficiência corrobora com o resultado encontrado por Parente et al. (2021), que obtiveram resultado de 79% de eficiência de encapsulação.

Apesar dos resultados do encapsulamento do óleo de buriti terem sido positivos, os resultados do rendimento e eficiência do encapsulamento do óleo de pequi ficaram em desacordo, acima de 100%. Foram realizados vários testes com as cápsulas secas, úmidas e utilizando a massa total de uma batelada de produção da cápsula para a quantificação de carotenoides, rendimento e eficiência do óleo de pequi, acredita-se que os resultados inconclusivos tenham ocorrido devido à heterogeneidade da amostra. Além disso, outra possível justificativa seja a interação e interferência dos materiais de parede com os solventes para a quebra da cápsula.

4.4.5 Morfologia das Cápsulas

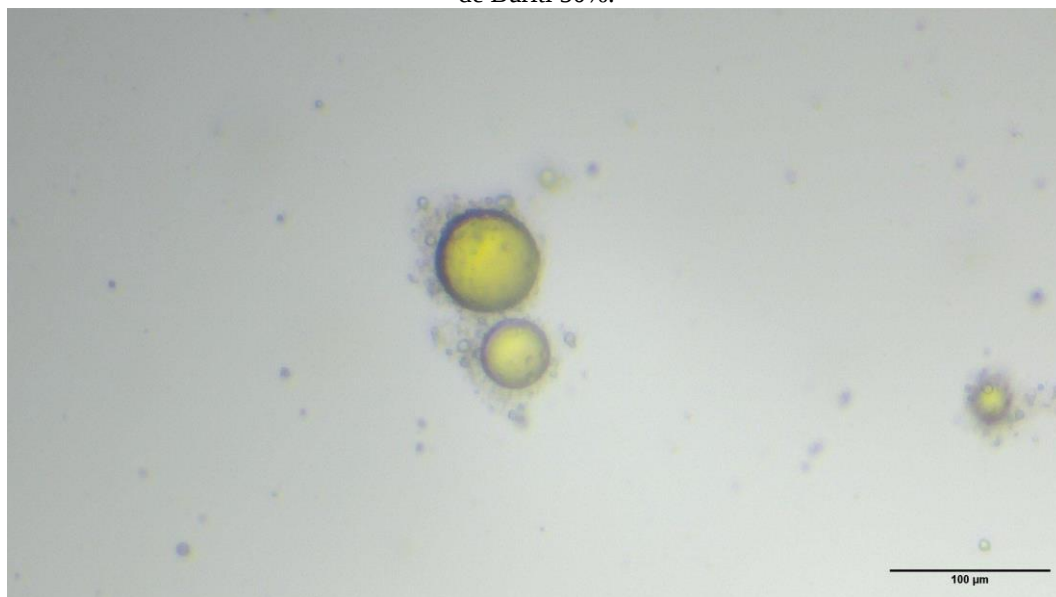
Foram realizadas as análises de morfologia das microcápsulas de mucilagem e gelatina com concentração de núcleo 25, 50 e 75%. É possível observar nas Figuras 7 a 10, que as microcápsulas de buriti e pequi com 25% de núcleo possuem estruturas arredondadas, regulares e mononucleadas, porém conforme aumenta essa concentração a estrutura fica menos uniforme e polinucleada. Além disso, nas soluções com 75% de núcleo observa-se gotículas de óleo não encapsulados. Já as cápsulas de goma-arábica e gelatina, apresentadas nas Figuras 13 e 14, com concentração de núcleo de 50%, apresentaram formato característico de cápsulas formadas com esse complexo, logo são maiores, arredondadas, possuem bordas irregulares, mais espessas e são polinucleadas, esses resultados corroboram com as informações de Ferreira, 2020.

Figura 7 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 25%.



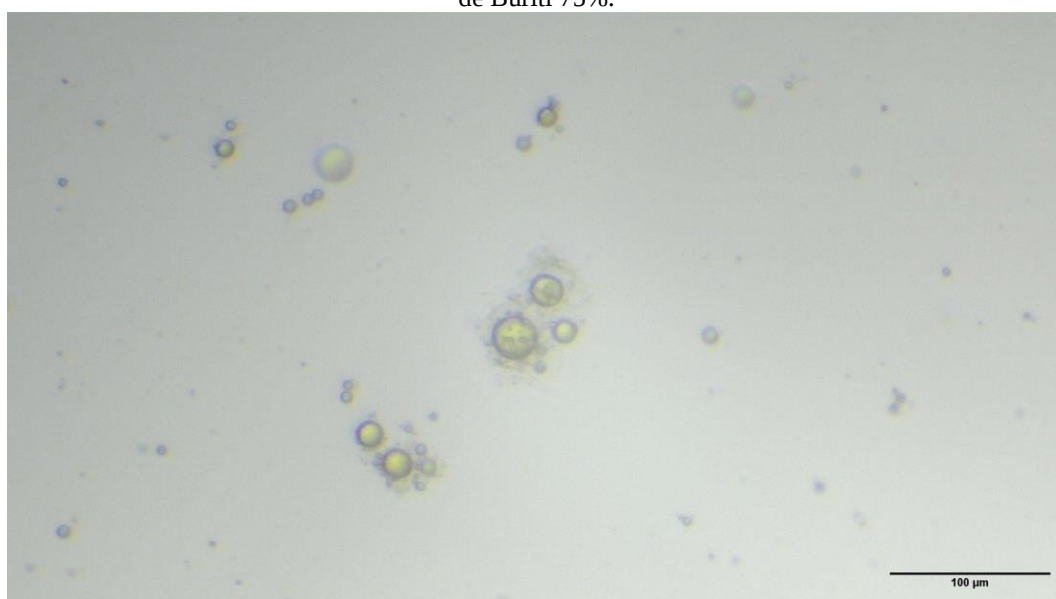
Fonte: autoral.

Figura 8 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 50%.



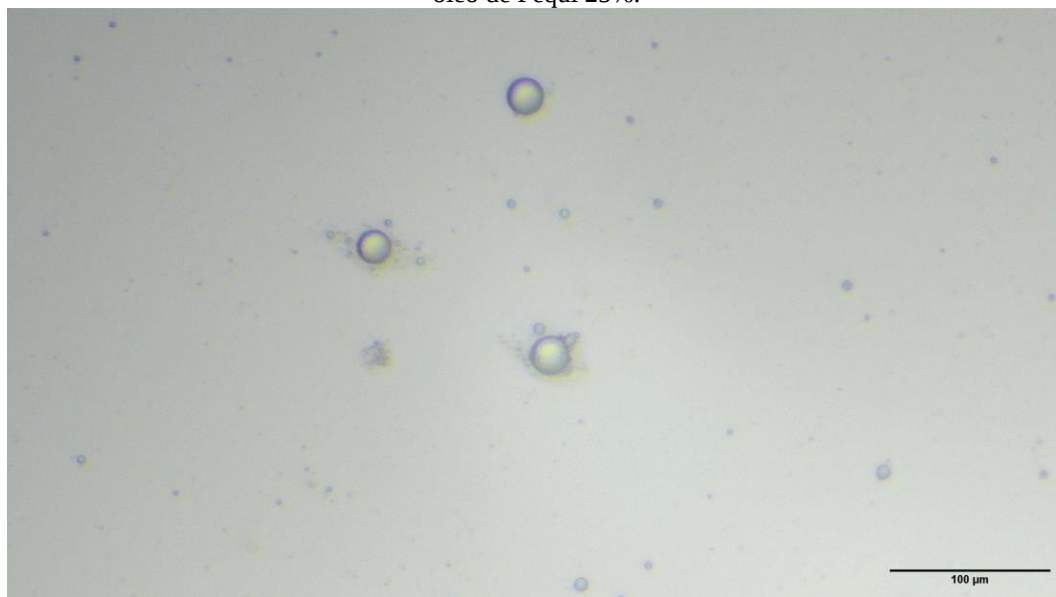
Fonte: autoral.

Figura 9 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 75%.



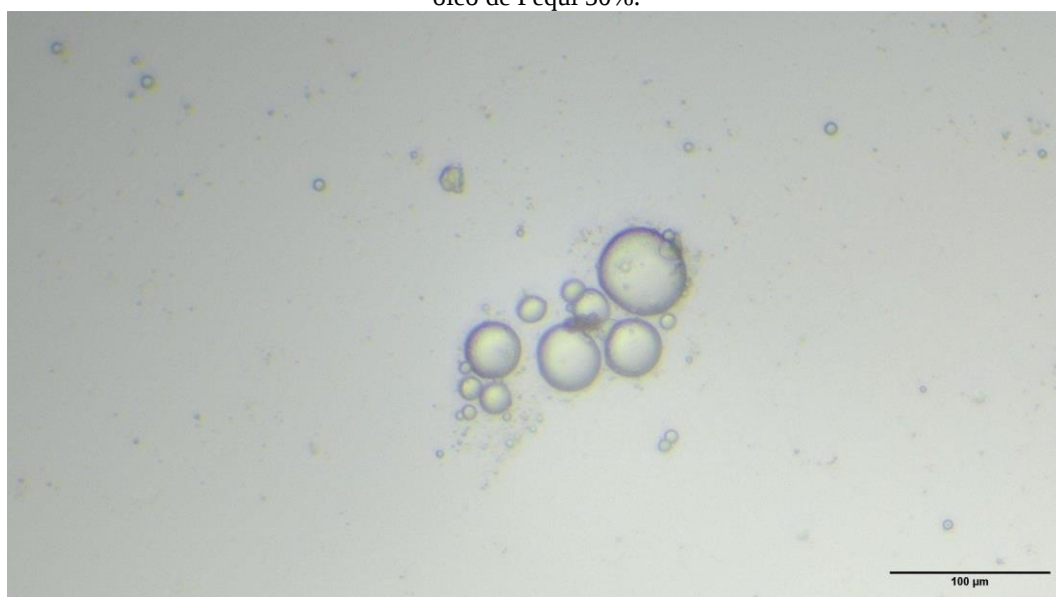
Fonte: autoral.

Figura 10 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 25%.



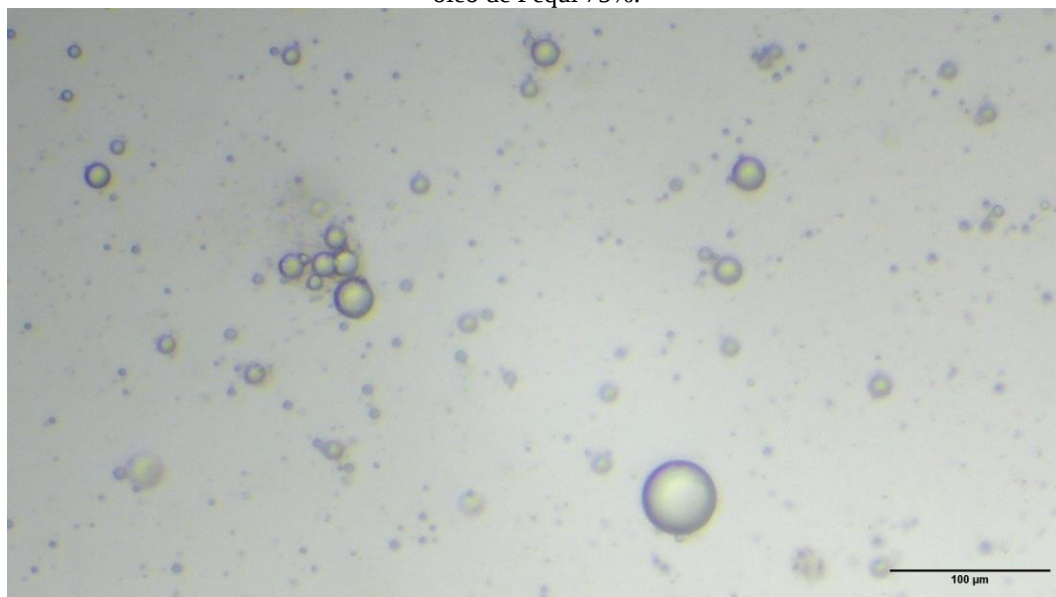
Fonte: autoral.

Figura 11 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 50%.



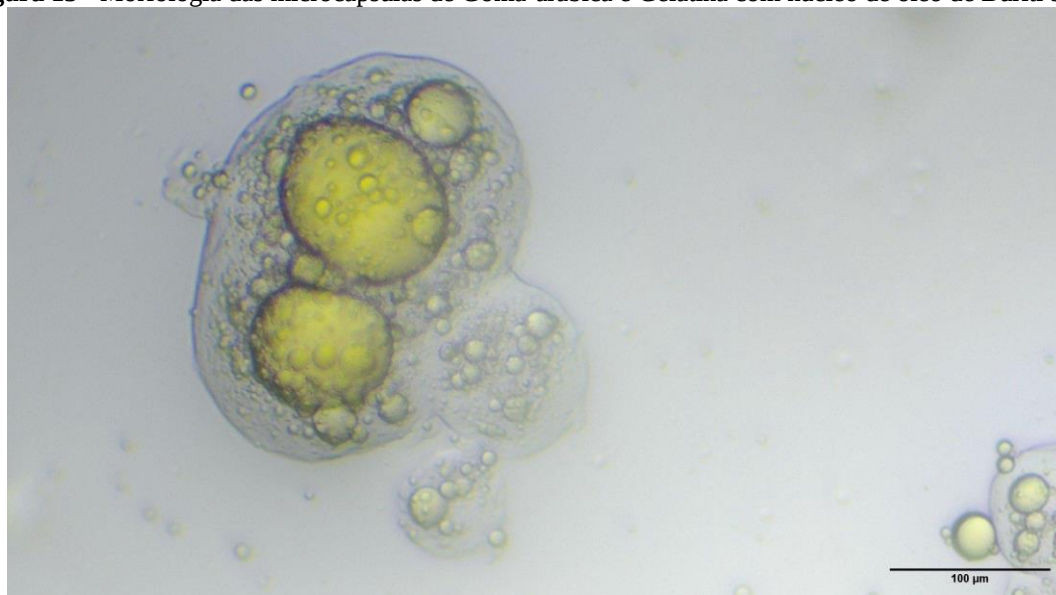
Fonte: autoral.

Figura 12 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Mucilagem e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 75%.



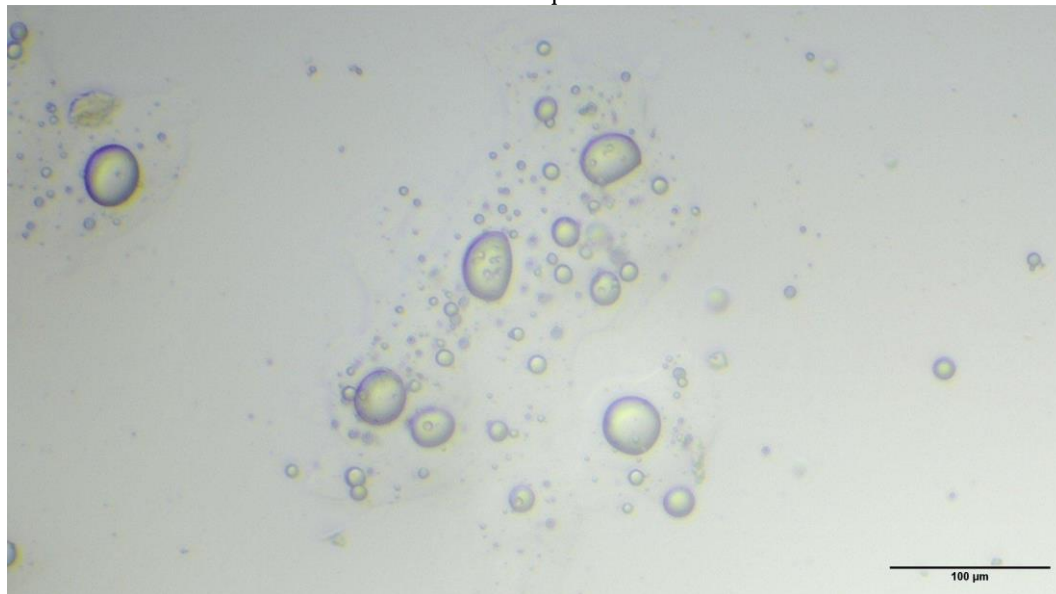
Fonte: autoral.

Figura 13 - Morfologia das microcápsulas de Goma-arábica e Gelatina com núcleo de óleo de Buriti 50%.



Fonte: autoral.

Figura 14 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de Goma-arábica e Gelatina com núcleo de óleo de Pequi 50%.

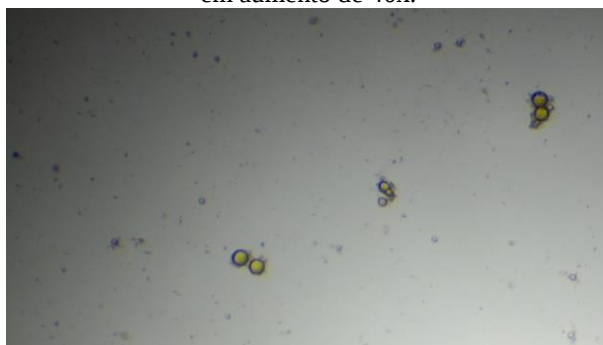


Fonte: autoral.

4.4.6 Tamanho das Partículas

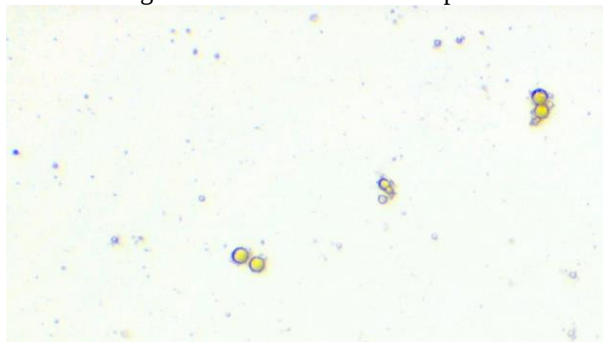
As Figuras 15 a 19 representam as etapas do tratamento para binarização da imagem decritas no item 3.3.6 da metodologia. Após a edição das imagens de microscopia óptica para a imagem binária, foi realizada a medida do diâmetro de Feret, que determina a distância entre dois pontos paralelos que contornam uma partícula (Carvalho et al., 2023).

Figura 15 - Imagem obtida por microscopia óptica de microcápsulas de gelatina e mucilagem com óleo de buriti em aumento de 40x.



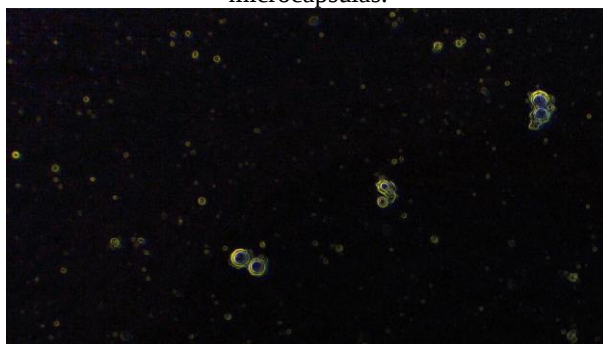
Fonte: autoral.

Figura 16 - Figura 15 após a aplicação do filtro “Subtract Background” no ImageJ para retirar o fundo da imagem e evidenciar as microcápsulas.



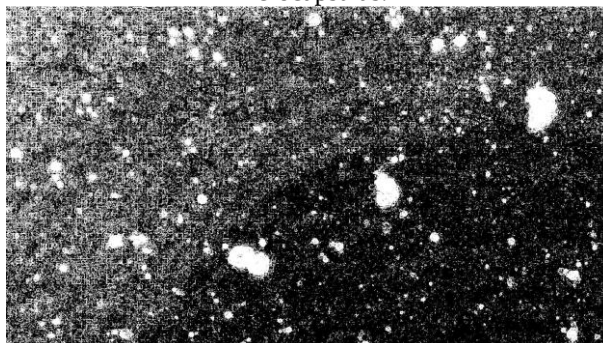
Fonte: autoral.

Figura 17 - Figura 16 após a aplicação do filtro “Find Edges” no ImageJ para definir as bordas das microcápsulas.



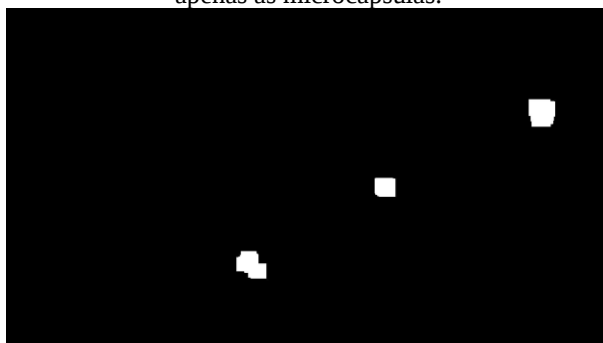
Fonte: autoral.

Figura 18 - Figura 17 após a aplicação do filtro “Make Binary” no ImageJ para enfatizar os contornos das microcápsulas.



Fonte: autoral.

Figura 19 - Figura 18 após a aplicação dos comandos “Erode”, “Dilate” e “Fill Holes” no ImageJ para evidenciar apenas as microcápsulas.



Fonte: autoral

As microcápsulas recheadas com óleo de buriti e pequi feitas com o complexo de mucilagem gelatina apresentaram tamanho médio de 105 e 80 μm , respectivamente. Já o tamanho médio das microcápsulas feitas com o complexo de goma arábica e gelatina foram de 189 e 311 μm . De Souza et al. (2018) encapsularam o extrato de canela por coacervação complexa utilizando vários pares poliméricos, entre eles goma arábica e gelatina, e indicaram 121 μm como tamanho médio das microcápsulas, a partir da análise dos diâmetros de Feret. Enquanto isso, Lemos (2022), produziram microcápsulas de óleo de buriti, utilizando os pares poliméricos de gelatina/goma arábica e gelatina/alginato de sódio e o tamanho médio das cápsulas variaram entre 36 a 186 μm . Esse estudo realizou a análise do tamanho das partículas através do software CellSens 1.11.

Tabela 4 - Tamanhos das microcápsulas com óleo de buriti

		Tamanho de Partícula (μm)
Amostra		
Buriti	Mucilagem + Gelatina	105 $\pm$ 75 ^{b,c}
	Goma Arábica + Gelatina	189 $\pm$ 64 ^b

Fonte: autoral

Letras diferentes significam que os resultados diferenciam estatisticamente de forma significativa entre si.

Tabela 5 - Tamanhos das microcápsulas com óleo de buriti

		Tamanho de Partícula (μm)
Amostra		
Pequi	Mucilagem + Gelatina	80 $\pm$ 48 ^b
	Goma Arábica + Gelatina	311 $\pm$ 89 ^a

Fonte: autoral

Letras diferentes significam que os resultados diferenciam estatisticamente de forma significativa entre si.

Assim, destaca-se o fato das microcápsulas de mucilagem e gelatina serem menores em comparação com as produzidas com goma arábica e gelatina, uma vez que essa característica é importante para a aplicação das partículas na indústria de alimentos. Partículas menores são interessantes, pois evitam texturas indesejáveis e incômodos sensoriais no momento do consumo do alimento onde as microcápsulas foram adicionadas (De Souza, 2018).

Pode-se observar nas Tabelas 4 e 5 que os valores de desvios padrão dos tamanhos médios das partículas foram altos, visto que nas amostras haviam partículas de tamanhos variados, algumas muito pequenas e outras maiores.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a mucilagem da palma forrageira é um biopolímero promissor na área de tecnologia de alimentos devido a viabilidade do seu uso como material de parede em técnicas de microencapsulamento de compostos bioativos juntamente com a gelatina, visto que, em comparação com o par polimérico usual de encapsulamento, goma-arábica e gelatina, obteve-se resultados satisfatórios de microcápsulas ricas em carotenoides, com rendimento de encapsulamento de 94,46% e eficiência de 70,65% para o óleo de buriti. Porém os resultados de encapsulamento do óleo de pequi foram inconclusivos, o que afirma a necessidade de mais estudos e testes de encapsulamento deste material. Além disso, as microcápsulas de mucilagem e gelatina possuem formato arredondado característico e tamanho menor do que as microcápsulas de goma arábica e gelatina.

Por fim, considerando que a mucilagem da palma forrageira pode ser utilizado como material para a produção de microcápsulas por coacervação complexa e que o encapsulamento dos carotenoides do óleo do buriti utilizando o par polimérico mucilagem e gelatina apresentou resultados positivos em relação à valorização do cerrado, rendimento, eficiência, morfologia e tamanho faz-se necessário testes futuros, como estabilidade dos carotenoides nos materiais e aplicação em matrizes alimentares, para a aplicação na indústria de alimentos, objetivando a melhora nutricional dos mesmos e a produção de alimentos funcionais.

REFERÊNCIAS

- ABD EL-KADER, Amal; ABU HASHISH, Hassan. Encapsulation techniques of food bioproduct. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 63, n. 5, p. 1881-1909, 2020.
- AHMEDAH, Hanadi Talal. Opuntia ficus-indica and its Potential Effects on Cancer. *Journal of Contemporary Medical Sciences*, v. 9, n. 5, 2023.
- ALENCAR, Denise Dantas de Oliveira. Microencapsulação de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) por spray drying .2020.39f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Sistemas Agroindustriais) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2020.
- AL-HAMAYDA, Asmaa et al. Advances in microencapsulation techniques using Arabic gum: A comprehensive review. **Industrial Crops and Products**, v. 205, p. 117556, 2023.
- Amengual J. Bioactive Properties of Carotenoids in Human Health. *Nutrients*. 2019; 11(10):2388. <https://doi.org/10.3390/nu11102388>
- ANTONINI, Luana Morais. COMPOSTOS BIOATIVOS EM ALIMENTOS FUNCIONAIS E SEUS BENEFÍCIOS À SAÚDE: UMA REVISÃO. **Publicações**, 2023.
- ARAÚJO, Yara Panta de et al. Caracterização físico-química e bioquímica de mucilagem de palma colhida em duas estações do ano no semiárido brasileiro. 2021.
- ASSIS, Renato Queiroz et al. Active films incorporated with pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) or buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil as strategy to protection of lipid oxidation and carotenoids photodegradation. **Food Chemistry**, p. 144085, 2025.
- ASSUNÇÃO, Dalila Oliveira Youssef Makhoul et al. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE SENSORIAL DE TORTA A PARTIR DE FARINHA DE PALMA (*Opuntia Ficus Indica* L. Miller). *Revista Brasileira de Agrotecnologia*. V.11, N°2, p. 627-633, 2021.
- ATENCIO, Sharmaine et al. Heat and light stability of pumpkin-based carotenoids in a photosensitive food: a carotenoid-coloured beverage. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 485, 2022.
- AYYARIL, Sefeera Sadik et al. Recent progress in micro and nano-encapsulation techniques for environmental applications: A review. **Results in Engineering**, v. 18, p. 101094, 2023.
- BAKRY, Amr M. et al. Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, n. 1, p. 143-182, 2016.
- BARBOZA, Natália L. et al. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.): An Amazonian fruit with potential health benefits. **Food Research International**, v. 159, p. 111654, 2022.
- BARROSO, Noádia Genuario et al. Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)—Uma revisão. **AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS-VOLUME 2**, v. 2, p. 336-344, 2020. Doi: 10.37885/201102210

BAS, Tomas Gabriel. Bioactivity and bioavailability of carotenoids applied in human health: Technological advances and innovation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 14, p. 7603, 2024.

BELFORT, Marcia Guelma Santos et al. Análise Microbiológica Em Formulação Cosmética De Um Sêrum A Base Do Óleo De Buriti (Mauritia Flexuosa) Para Uso Geriátrico. **Revista Foco**, v. 16, n. 3, p. e1232-e1232, 2023.

BEMFEITO, Carla Martino et al. Carotenoides em alimentos: fatores interferentes na biossíntese e estabilidade frente ao processamento. **Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos**, v. 1, p. 445-465, 2020.

BERGMANN, Amanda et al. Benefícios do consumo de carotenoides a partir de frutas nativas do Brasil: uma revisão de literatura. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 15, n. 97, p. 1158-1168, 2021.

BEZERRA, Rafaela Gomes. Avaliação pré-clínica do óleo de pequi (Caryocar coriaceum Wittm.) e emulsão a base deste para o tratamento da dermatite: formulação, caracterização e efeitos antimicrobiano e anti-inflamatório. 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55945>

CALDERÓN-OLIVER, Mariel; PONCE-ALQUICIRA, Edith. The role of microencapsulation in food application. **Molecules**, v. 27, n. 5, p. 1499, 2022.

CALIJURI, Maria Lúcia. Manual técnico de prática e manejo para palma forrageira. 2021.

CAMINITI, Rosamaria et al. Antioxidant Activity and Seasonal Variations in the Composition of Insoluble Fiber from the Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller: Development of New Extraction Procedures to Improve Fiber Yield. **Plants**, v. 13, n. 4, p. 544, 2024.

CARNEIRO, Camila Rodrigues et al. Potential challenges of the extraction of carotenoids and fatty acids from pequi (*Caryocar brasiliense*) oil. **Foods**, v. 12, n. 9, p. 1907, 2023.

CARVALHO, Marcela Merides et al. Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 2156-2179, 2023.

CARVALHO, Ronizy Soares; DOS SANTOS, Taides Tavares. PROPRIEDADES QUÍMICAS, MEDICINAIS E NUTRICIONAIS DO BURITI (*Mauritia flexuosa* L.) E DE SEUS DERIVADOS. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 56–70, 2020. DOI: 10.20873/uftv7-6691. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/6691>.

ÇELEKLI, Abuzer; ÖZBAL, Buket; BOZKURT, Hüseyin. Challenges in functional food products with the incorporation of some microalgae. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 725, 2024.

CHOUDHURY, Nitamani; MEGHWAL, Murlidhar; DAS, Kalyan. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, v. 2, n. 4, p. 426-442, 2021.

COMUNIAN, Talita Aline et al. Reducing carotenoid loss during storage by co-encapsulation of pequi and buriti oils in oil-in-water emulsions followed by freeze-drying: Use of heated and unheated whey protein isolates as emulsifiers. **Food research international**, v. 130, p. 108901, 2020.

COUTINHO, Carla Cristina Marinho et al. O PEQUI (Caryocar brasiliense) E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 11, n. 1, 2024.

COUTINHO, Robson Luiz Magalhães et al. INOVAÇÃO ESTRATÉGICA: IMPULSIONANDO A VANTAGEM COMPETITIVA E A PERENIDADE EMPRESARIAL. **Revista Tópicos**, v. 2, n. 13, p. 1-15, 2024.

CRUZ-RUBIO, José Manuel et al. The Effect of Cladode drying techniques on the prebiotic potential and molecular characteristics of the mucilage extracted from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia joconostle*. **Scientia Pharmaceutica**, v. 88, n. 4, p. 43, 2020.

DA COSTA, Joice Camila Martins et al. Development of andiroba oil microcaps (carapa guianensis) by complex cocervation in arabic goma/gelatine and alginate matrices. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93372-93382, 2020.

DA SILVA GOMES, Elienae et al. Alimentos funcionais integrados com prebióticos e probióticos: uma revisão. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINO AMERICANA**, v. 22, n. 5, p. e4911-e4911, 2024.

DA SILVA MELO, Fabiano. **Obtenção e secagem por spray drying de oleossomos de buriti (Mauritia flexuosa Lf) utilizando diferentes materiais de parede**. 2024. Tese de Doutorado. [sn].

DA SILVA MENDES, Samira. **Libertação Controlada de Salicilato de Metila Em Estruturas Têxteis: Desenvolvimento e Caracterização**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade do Minho (Portugal).

DE ALMEIDA, Tamiris et al. Complexos de polieletrólitos e coacervados. **MATERIAIS POLIMÉRICOS**, p. 81. 2024.

DE CASTRO, Symone Costa et al. BIOPOLÍMEROS DE ORIGEM ANIMAL: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E APLICAÇÕES. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 9, p. e5922-e5922, 2024.

DENGER, Ana Paula Ferreira Lima et al. Determinação da atividade antioxidante e de fenóis totais do pequi (Caryocar brasiliense Camb.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e2859119781-e2859119781, 2020.

DE SOUSA, Marcos André Arrais et al. Atividade Antimicrobiana do extrato bruto de Caryocar brasiliense, Morinda citrifolia, Annona muricata e Morus nigra sobre cepas de

bactérias de importância clínica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 9, pág. e2311931411-e2311931411, 2022.

DE SOUZA, Volnei Brito et al. Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. **Food Hydrocolloids**, p. 297-306, 2018.

DIAS, Sharlene Santana; SIMAS, Luisa; LIMA JUNIOR, Luiz Cezar. Alimentos funcionais na prevenção e tratamento de doenças crônicas não transmissíveis. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 4, n. 10, p. 54-61, 2020.

Do Nascimento, Francisca das Chagas Gonçalves, et al. "Avaliação de carotenoides e atividade antioxidante da polpa madura do abacate (*persea americana* mill)." *Research, Society and Development* 10.8 (2021): e45010817500-e45010817500.

DO NASCIMENTO SILVA, Nara Rúbia Rodrigues; CAVALCANTE, Rodrigo Barbosa Monteiro; DA SILVA, Flávio Alves. Nutritional properties of Buriti (*Mauritia flexuosa*) and health benefits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 117, p. 105092, 2023.

DOS SANTOS, Maria de Fátima Rufino; DE SOUSA, Rita de Cássia Pompeu; DA SILVA FERKO, Geórgia Patrícia. PROSPECÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA: PLANTA EXÓTICA RADICADA NO BRASIL. **Revista Eletrônica Casa de Makunaima**, v. 5, n. 2, p. 19-37, 2023.

DOS SANTOS PESSOA, Rosa Maria et al. Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e12111334257-e12111334257, 2022.

ENCISO ROCA, Edwin Carlos et al. Actividad antiinflamatoria y antioxidante de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* "Tuna". **Revista de la Sociedad Química del Perú**, v. 87, n. 3, p. 207-216, 2021.

FARIAS, Alan Marques et al. Microencapsulação de β -caroteno pela coacervação complexa empregando como material de parede ovalbumina e alginato de sódio. 2022.

FARIAS, Patrícia Marques. et al. Estudo e otimização do processo de extração da mucilagem de palma forrageira. *Higiene Alimentar*, vol. 29, p. 4774- 4778. 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, 37(4), 529-535, 2019.

FERREIRA, Sungil. Development of semi-continuous processes for production of ginger oil (*Zingiber officinale* Roscoe) microcapsules by complex coacervation: atomization and membrane emulsification. 2020.

FILHO, Fábio Fernandes Bruno et al. Therapeutic applications of *Caryocar brasiliense*: Systematic review. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 15, n. 9, p. 380-389, 2021. Doi: <https://doi.org/10.5897/JMPR2021.7136>

FREITAS, Walter Felipe Ribeiro. Palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm-Dyck. 2021.

FUZETTI, Caroline Gregoli; NICOLETTI, Vânia Regina. Stability of Buriti Oil Microencapsulated in Mixtures of Azuki and Lima Bean Flours with Maltodextrin. **Foods**, v. 13, n. 13, p. 1968, 2024.

GARCIA, Lucas Silveira et al. Pequi: Características biométricas e físico-químicas. In: **CIÊNCIAS AGRÁRIAS: O AVANÇO DA CIÊNCIA NO BRASIL-VOLUME 1**. Editora Científica Digital, 2021. p. 55-67.

GHOSH, Susmita et al. Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. **Lwt**, v. 153, p. 112527, 2022.

GIRALDO-SILVA, Luis et al. Opuntia ficus-indica fruit: A systematic review of its phytochemicals and pharmacological activities. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 543, 2023.

GOTTARDO, Franciele Maria et al. Microencapsulação de óleos essenciais de orégano e canela combinados com ação sobre *Listeria monocytogenes* em produto cárneo. 2021.

HA, Quynh TT et al. Opuntia ficus-indica (L.): An Overview of the Recent Application and Opportunities in Food. **Tropical Journal of Natural Product Research**, v. 8, n. 1, 2024.

HILACHUK, Daniele et al. Inovação e registro de patentes de alimentos funcionais no Brasil. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE define bioma predominante em cada município brasileiro para fins estatísticos. 2024.

JUSTI, Priscilla Narciso; SANJINEZ-ARGANDOÑA, Eliana Janet; MACEDO, Maria Lígia Rodrigues. Microencapsulation of Pequi pulp oil by complex coacervation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, p. e-874, 2018.

LEÃO, Karina Magna Macena et al. Physicochemical characterization and antimicrobial activity in novel systems containing buriti oil and structured lipids nanoemulsions. **Biotechnology Reports**. Volume 24. 2019.

LEMOS, Yuri Pessoa. Microencapsulação por coacervação complexa de óleo de buriti: explorando materiais, processos e aplicação. 2022.

LOBATO, Jucianne Martins et al. Nanoencapsulação de óleos vegetais por coacervação complexa. In: **AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS-VOLUME 4**. Editora Científica Digital, 2021. p. 389-402.

MANNAI, Faten et al. Biodegradable composite films based on mucilage from *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): Microstructural, functional and thermal properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 252, p. 126456, 2023.

MANNAI, Faten et al. Precipitation solvents effect on the extraction of mucilaginous polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): Structural, functional and rheological properties. **Industrial Crops and Products**, v. 202, p. 117072, 2023.

MAOKA, Takashi. Carotenoids as natural functional pigments. **Journal of natural medicines**, v. 74, n. 1, p. 1-16, 2020.

MARCOMINI, R. F.; SOUZA, D. M. P. Caracterização microestrutural de materiais cerâmicos utilizando o programa de processamento digital de imagens Image J. **Cerâmica**, v. 57, p. 100-105, 2011.

MARIOTT, Ana Cristina. **Microencapsulação do carvacrol na matriz de gelatina/goma arábica reticulada com transglutaminase via coacervação complexa**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MARTINS, Amanda Kryssia Rocha. **Os benefícios do buriti e sua qualidade nutricional para o consumo humano**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Acre. 2020.

MEHTA, Nitin et al. Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: A comprehensive review. **Applied sciences**, v. 12, n. 3, p. 1424, 2022.

MELO, Jean Carlos Silva de; ARAÚJO, Raquel Linhares Bello de; BRANDÃO, Maria das Graças Lins. BRAZILIAN CERRADO NATIVE FOOD PLANTS AS SOURCE OF POLYPHENOLIC COMPOUNDS FOR IMPROVED NUTRITION AND BETTER HUMAN HEALTH: A PRELIMINARY SCREENING. Anais Do Simpósio Latino Americano De Ciência Dos Alimentos. 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/slaca/slaca-2017/trabalhos/brazilian-cerrado-native-food-plants-as-source-of-polyphenolic-compounds-for-imp?lang=pt-br>

MORAIS, Neyna Santos. **Avaliação da citotoxicidade e do potencial bioativo do óleo de buriti (Mauritia flexuosa L. f.) nanoencapsulado em gelatina suína**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MORENO, L, G. Efeitos biológicos da associação da ingestão da polpa de pequi (Caryocar brasiliense) ao exercício físico aeróbico regular em ratos. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2014.

MUNERATTO, Vítor Mathias; GALLO, Thais Cristina Benatti; NICOLETTI, Vania Regina. Oregano essential oil encapsulation following the complex coacervation method: Influence of temperature, ionic strength, and pH on the release kinetics in aqueous medium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e003221, 2021.

NAPIÓRKOWSKA, Alicja; KUREK, Marcin. Coacervation as a novel method of microencapsulation of essential oils—A review. **Molecules**, v. 27, n. 16, p. 5142, 2022.

NARITA, Isabela Mendes Pacheco et al. Bioacessibilidade in vitro de carotenoides e compostos fenólicos e capacidade antioxidante de farinhas do fruto pequi (Caryocar brasiliense Camb.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. e2021068, 2022.

NASCIMENTO, Debora Ribeiro et al. Importância dos revestimentos comestíveis ativos como estratégia para proteção das oleaginosas contra processos de oxidação lipídica encontrados na literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p.

e21911629080-e21911629080, 2022.

NEVES, Mateus Tomaz et al. Uso da tecnologia de lipossomas no encapsulamento de compostos bioativos-Revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 4, p. 13295-01-20e, 2021.

OLIVEIRA, Regina Maria Mendes et al. Óleo de buriti: Índice de qualidade nutricional e efeito antioxidante e antidiabético. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 2-12, 2020.

ORGANEK, Ana Claudia. UTILIZAÇÃO DE AGENTES ENCAPSULANTES NATURAIS NA MICROENCAPSULAÇÃO DA PRÓPOLIS MARROM POR COACERVAÇÃO COMPLEXA. 68 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química - Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.. 2023.

OTÁLORA, María Carolina; WILCHES-TORRES, Andrea; CASTAÑO, Jovanny A. Gómez. Extraction and physicochemical characterization of dried powder mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes and *Aloe vera* leaves: a comparative study. **Polymers**, v. 13, n. 11, p. 1689, 2021.

OTÁLORA, María Carolina; WILCHES-TORRES, Andrea; GÓMEZ CASTAÑO, Jovanny A. Spray-drying microencapsulation of pink guava (*Psidium guajava*) carotenoids using mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes and *Aloe vera* leaves as encapsulating materials. **Polymers**, v. 14, n. 2, p. 310, 2022.

PAIS, Tatiana dos Santos. Avaliação da teratogenicidade e toxicidade em peixe-zebra (danio-rerio) do extrato bruto rico em carotenoides de melão cantaloupe (*cucumis melo* l.) e nanoencapsulado em gelatina. Orientadora: Dra. Ana Heloneida de Araújo Moraes. 2023. 70f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Biologia Molecular) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

PALACIOS, A. et al. A perspective on Phase Change Material encapsulation: Guidance for encapsulation design methodology from low to high-temperature thermal energy storage applications. **Journal of Energy Storage**, v. 72, p. 108597, 2023.

PARENTE, Gisleania Dourado Landim et al. Desenvolvimento de tapioca fortificada com carotenoides da cenoura e investigação das propriedades do amido de mandioca. 2021.

PEREIRA, Juliana de Souza. et al. Crescimento inicial de *Nopalea cochenillifera* em função do fracionamento do cladódio. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 39, n. 2, p. 120-128, 2018.

PINNA, Nicola et al. Protective Effects of Carotenoid-Loaded Nanostructured Lipid Carriers Against Ochratoxin-A-Induced Cytotoxicity. **Foods**, v. 13, n. 21, p. 3351, 2024.

PINTO, Sylmara Soares et al. CARACTERÍSTICAS E POTENCIALIDADES DO BURITI. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 3, n. 3, 2024.

POLYAKOV, Nikolay E. et al. The endless world of carotenoids—structural, chemical and biological aspects of some rare carotenoids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 12, p. 9885, 2023

PROCACCI, Silvia et al. Opuntia ficus-indica pruning waste recycling: Recovery and characterization of mucilage from cladodes. **Natural Resources**, v. 12, n. 04, p. 91, 2021.

QUINTERO-GARCÍA, Michelle et al. Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated Opuntia ficus indica cladodes. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2137, 2021.

RADDATZ, Greice Carine; MENEZES, Cristiano Ragagnin de. Microencapsulação e co-encapsulação de compostos bioativos para aplicação em alimentos: desafios e perspectivas. **Ciência Rural**, v. 51, p. e20200616, 2021.

RADDATZ, Greice Carine et al. **Microencapsulação de probióticos e extrato bioativo de casca de cebola roxa (Allium cepa L.) por gelificação iônica externa**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

RAMOS, Gabriela Rocha. **Atividade antioxidante do óleo de buriti (mauritia flexuosa)**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

REIS Amanda Figueiredo; SCHMIELE, Marcio. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, 22, e2017150. 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>

RIBEIRO, Charles Lima et al. Cerrado: De bolsão de biodiversidade a prisioneiro do desenvolvimento. **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE (PPG STMA)**, p. 19, 2022.

RIBEIRO, Bernardo Jeová Costa et al. Um estudo bibliográfico sobre o buriti (Mauritia flexuosa Lf): um contexto socioambiental no Alto Solimões, Brasil. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 16, n. 1 jan-jun, p. 181-199, 2023.

RIVAS, Jéssica Chaves; CABRAL, Lourdes Maria Correa; ROCHA-LEÃO, Maria Helena Miguez da. Microencapsulamento de polpa de goiaba com material de parede prebiótico. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. e2020213, 2021.

RODRIGUES, Pamela Dutra et al. Use of Mucilage from Opuntia ficus-indica in the Manufacture of Probiotic Cream Cheese. **Processes**, v. 12, n. 10, p. 2289, 2024.

RODRIGUES, Tatiana Teixeira; DE ABREU, Rusleyd Maria Magalhães; SILVA, Romeu Paulo Martins. O buriti (Mauritia flexuosa) como planta medicinal para um melhor envelhecimento. **Revista Científica da Saúde**, v. 3, n. 1, p. 23-46, 2021.

SANTOS, Ariadne Matos dos. Microcápsulas de pimenta-de-cheiro (Capsicum chinense Jacquin): quantificação dos compostos bioativos e aromáticos. 2020.

SHILPA, Shivaprasad et al. Factors affecting bioaccessibility and bio-efficacy of carotenoids. In: **Carotenoids: Properties, processing and applications**. Academic Press, 2020. p. 41-73.

ROSA, Rosangela Dias de Aragão. Licor à base de palma forrageira (Opuntia fícus indica) e gengibre (Zingiber officinale): análise da cor e sólidos solúveis totais. 2021.

SAQUETI, Bruno Henrique Figueiredo et al. Viabilidade da obtenção de polpa de acerola (malpighia spp) microencapsulada e liofilizada: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e30410212536-e30410212536, 2021.

SELMÍ, GLAUCIA AGUIAR ROCHA. Desenvolvimento de microcápsulas de edulcorantes produzidas por dupla emulsão seguida de coacervação complexa e estudo de sua funcionalidade em gomas de mascar. 2014.

SILVA, Mirian Santos da. Otimização da produção de ésteres etílicos e metílicos a partir do óleo de buriti (Mauritia flexuosa) e suas caracterizações. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI <https://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2351>

SILVA, Vitória RP et al. Anti-Inflammatory Activity of Pequi Oil (Caryocar brasiliense): A Systematic Review. **Pharmaceuticals**, v. 17, n. 1, p. 11, 2023.

DA SILVA SOARES, Barbara; DE CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler; GARCIA-ROJAS, Edwin Elard. Microencapsulation of sachai oil by complex coacervates using ovalbumin-tannic acid and pectin as wall materials. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, p. 817-830, 2021.

SOARES, José Fábio et al. Caracterização do óleo de buriti produzido no Norte de Minas Gerais: parâmetros de qualidade, perfil de ácidos graxos e conteúdo de carotenoides. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e58010313734-e58010313734, 2021.

SOLTANI, Mona et al. Emulsifying properties of biopolymer extracts from Opuntia ficus indica cladodes. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 683, p. 133005, 2024.

SOUSA, Vânia Isabel. Microencapsulação de óleos essenciais: uma revisão. Centro de Física das Universidades do Minho e do Porto (CF-UM-PT). Guimarães, Portugal. **Polímeros** 2022, 14 (9), 1730. 2022.

SOUSA, Vânia Isabel et al. Microencapsulation of essential oils: A review. **Polymers**, v. 14, n. 9, p. 1730, 2022.

SOUSA, Wallace Carlos de. Compreendendo a composição química da casca do buriti (mauritia flexuosa) para a elaboração de produtos alimentícios. 2024.

SRIDHAR, Kandi; INBARAJ, Baskaran Stephen; CHEN, Bing-Huei. Recent advances on nanoparticle based strategies for improving carotenoid stability and biological activity. **Antioxidants**, v. 10, n. 5, p. 713, 2021.

SUN, Tianhu et al. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. **Molecular Horticulture**, v. 2, n. 1, p. 3, 2022.

SUZIN, Mônica Araujo. Microencapsulação de óleo de macadâmia para aplicação em misturas para bolo. 2020.

TEODORO, Anderson Junger. BURITI (MAURITIA FLEXUOSA LF). **Frutas Nativas e Exóticas do Brasil Nutrição e Biodiversidade**, p. 13, 2024.

TERAO, Junji. Revisitando carotenoides como antioxidantes dietéticos para a saúde humana e prevenção de doenças. **Food & Function**, v. 14, n. 17, p. 7799-7824, 2023.

TODHANAKASEM, Tatsaporn et al. Development of bioactive Opuntia ficus-indica edible films containing probiotics as a coating for fresh-cut fruit. **Polymers**, v. 14, n. 22, p. 5018, 2022.

VAN ROOYEN, Brandon et al. Effect of pH on the mechanical properties of single-biopolymer mucilage (Opuntia ficus-indica), pectin and alginate films: development and mechanical characterisation. **Polymers**, v. 15, n. 24, p. 4640, 2023.

VIANA, Bruna Teles Oliveira; ADORNO, Daiany Alves; SANTOS, Jânio Sousa. Os benefícios do caratenoides para a saúde. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. e452111638250-e452111638250, 2022.

VOLTOLINI, T. V. Sistema de produção de palma-forrageira para o Estado da Paraíba. 2022.

WANG, Jiao et al. Opuntia ficus-indica (L.) Mill.-anticancer properties and phytochemicals: current trends and future perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1236123, 2023.

WEICHERT, Reginaldo Ferreira. **CERRADO EM DESTAQUE: O PAPEL VITAL DO CERRADO NA BIODIVERSIDADE DO PLANETA**. 2024. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São João del-Rei.

YAN, Cuie; KIM, Sang-Ryoung. Microencapsulation for pharmaceutical applications: a review. **ACS applied bio materials**, v. 7, n. 2, p. 692-710, 2024.

YÜKSEL, Nergiz; ISTEK, Merve Muti; BULCA, Selda. THE USE OF WHEY PROTEINS AS COATING MATERIAL IN NANOENCAPSULATION AND MICROENCAPSULATION APPLICATIONS. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 78, n. 3, 2023.