

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Jocilane Pereira de Oliveira

**INCORPORAÇÃO DE MICROPARTÍCULAS LIOFILIZADAS DE ÓLEO DE
BURITI COMO FONTE DE β -CAROTENO EM IOGURTE**

Diamantina

2019

Jocilane Pereira de Oliveira

**INCORPORAÇÃO DE MICROPARTÍCULAS LIOFILIZADAS DE ÓLEO DE
BURITI COMO FONTE DE β -CAROTENO EM IOGURTE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Joyce Maria Gomes da Costa
Coorientadora: Prof.^a Dra. Larissa de Oliveira
Ferreira Rocha

Diamantina

2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

O48i

Oliveira, Jocilane Pereira de
Incorporação de micropartículas liofilizadas de óleo de buriti como fonte de β -caroteno em iogurte / Jocilane Pereira de Oliveira, 2019.
81p.: il.

Orientadora: Joyce Maria Gomes da Costa
Coorientadora: Larissa de Oliveira Ferreira Rocha

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

1. Mauritia flexuosa. 2. Inulina. 3. Goma Arábica. 4. Composto ativo. 5. Produto lácteo. I. Costa, Joyce Maria Gomes da. II. Rocha, Larissa de Oliveira Ferreira I II. Título. IV. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 664

JOCILANE PEREIRA DE OLIVEIRA

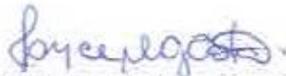
Incorporação de micropartículas liofilizadas de óleo de buriti como fonte de β -caroteno em iogurte

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, nível
de MESTRADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
MESTRA EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Orientador (a): Profa. Dra. Joyce Maria
Gomes da Costa

Co-orientador (a): Profa. Dra. Larissa de
Oliveira Ferreira Rocha

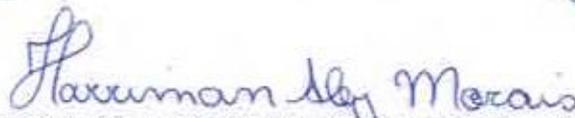
Data da aprovação: 03/09/2019



PROFA. DRA. JOYCE MARIA GOMES DA COSTA – UFVJM



PROF. DR. ÁLVARO DUTRA DE CARVALHO JUNIOR – UFVJM



PROF. DR. HARRIMAN ALEY MORAIS – UFVJM

DIAMANTINA

*A minha mãe por todo esforço, carinho
e dedicação, por acreditar
em mim e na realização dos meus sonhos!*

AGRADECIMENTOS

Dois anos de mestrado foram marcados de desafios, construção e amadurecimento. Albert Einstein afirmou que “entre as dificuldades se esconde a oportunidade”. Sendo assim, nenhuma vitória é conquistada de forma fácil e sem esforço. Por esse motivo, agradeço primeiramente a Deus por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir em frente.

À minha família, especialmente meus pais (Laurita e José Antonio), tenho todos os motivos do mundo para agradecer a vocês. Obrigada por terem me dado a VIDA e por todas lições, ensinamentos, por não medirem esforços para me ajudar e, principalmente, por estarem sempre ao meu lado em todas as decisões da minha vida, apoiando em todos os momentos e por terem orgulho de mim, acima de tudo. Às minhas queridas irmãs, Jocileia e Leiliane, que sempre me encorajaram, aconselharam e apoiaram em todas as horas. AMO muito vocês!

À Washington por todo amor, carinho, paciência, por estar presente em minha vida nos momentos de alegria e de incertezas me dando forças para superar os desafios.

À Fabiane por todo companheirismo durante essa jornada, você esteve comigo em todos os momentos. Obrigada por compartilharmos juntas, alegrias e tristezas. Pelo apoio nas horas difíceis, por me ouvir quando eu mais precisava desabafar. Por sempre me lembrar que momentos bons e ruins também PASSAM. Espero que você esteja sempre comigo apesar da distância. À Thaís pelo tempo de convivência e momentos compartilhados. A todos os amigos que fiz durante esse tempo, vocês fizeram parte da minha trajetória e irei lembrá-los sempre.

À minha orientadora Joyce, pelos conselhos, incentivos, compreensão, por me lembrar que a minha dissertação era prioridade e também por entender as minhas limitações. As suas críticas construtivas, as discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo o percurso, mesmo no período de afastamento continuou dando todo apoio. Serei sempre grata por toda assistência e conhecimento compartilhado. À minha coorientadora Larissa, por toda dedicação, paciência e incentivo, por me ajudar no momento mais difícil do mestrado; era trabalho, experimento e as dificuldades da vida para superar. Obrigada por todas as vezes que você me fez lembrar que eu iria conseguir. “Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.” (Cora Carolina)

Agradeço a parceria dos professores Pedro, Guilherme e Cíntia, nomes pelos quais ficaram conhecidos neste trabalho. Agradeço também a todos os colaboradores da análise sensorial pela disponibilidade.

A UFVJM- Campus Diamantina pelo apoio tecnológico.

“A experiência humana não seria tão rica e gratificante se não existissem obstáculos a superar. O cume ensolarado de uma montanha não seria tão maravilhoso se não existissem valores sombrios a atravessar.” (Helen Kelle)

RESUMO

O óleo extraído da polpa do buriti é composto principalmente por β -caroteno, tocoferóis e antioxidantes; no entanto, estes compostos estão susceptíveis a degradações e a microencapsulação pode favorecer a proteção de compostos bioativos e ainda aumentar a aplicação em diversos produtos, tais como a aplicação de micropartículas em alimentos. Este trabalho objetivou caracterizar micropartículas de óleo de buriti liofilizadas, adicioná-las ao iogurte e avaliar a aceitação sensorial. Os encapsulantes inulina (IN) e goma arábica (GA) foram utilizados nas combinações de 25%; 50% e 75% nos respectivos tratamentos: GA25IN75; GA50IN50; GA75IN25. As micropartículas foram caracterizadas quanto a umidade, atividade de água, tamanho, distribuição de tamanho, potencial zeta, solubilidade, molhabilidade, difração de raios X, espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, cor e morfologia. Os iogurtes foram caracterizados através das análises de pH, acidez, sinérese, cor, microbiológica, textura e sensorial. O aumento da adição de inulina aumentou significativamente ($p \leq 0,05$) os valores da A_w e do teor de umidade das micropartículas. Para todos os tratamentos observou-se potencial zeta negativo próximo de -30 mV com indicação de estabilidade. O índice de polidispersão variou de 0,14 a 0,37. As micrografias mostraram micropartículas com formato irregular, amorfas com superfície dentada e tamanhos variáveis, características comuns de micropartículas obtidas pelo processo de liofilização. O valor da molhabilidade variou de 59 a 71s considerados ótimos para alimentos em pó e quantidades equiparais de material de parede apresentaram maior valor na solubilidade. Os difratogramas mostraram que a incorporação do óleo de buriti nas micropartículas não alterou o caráter amorfo observado nos materiais isolados. A formulação do iogurte com GA25IN75 exibiu menores valores de pH e maiores valores de acidez titulável do que as demais formulações. Os valores de acidez para todas as formulações de iogurte encontraram-se em conformidade com a legislação brasileira, a Resolução n° 46. A adição de micropartículas nas formulações de iogurte não alterou a sinérese. A coloração do iogurte padrão diferiu dos iogurtes com micropartículas devido ao teor de carotenoides presentes. A adição de micropartículas contribuiu para um aumento da firmeza e adesividade do iogurte e não obteve diferença significativa ($p \geq 0,05$) nos valores de coesividade das formulações com micropartículas. O iogurte com GA50IN50 obteve maior aceitabilidade em todos os parâmetros avaliados pelos provadores com nota 8 na escala hedônica (gostei muito), diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) de todas as outras amostras de iogurte. As características apresentadas pela amostra GA50IN50 pelo teste CATA foram cor creme, sabor de iogurte, pontos laranja e textura consistente. Finalmente, a incorporação de micropartículas liofilizadas de óleo de buriti em proporções equiparais de IN e GA como fonte de β -caroteno é uma alternativa como ingrediente para aplicação em iogurte como fonte de vitamina A.

Palavras chave: *Mauritia flexuosa*. Inulina. Goma arábica. Composto ativo. Produto lácteo

ABSTRACT

Oil extracted from buriti pulp is composed mainly of β -carotene, tocopherols and antioxidant; however, it is susceptible to degradation and microencapsulation can be employed to protect bioactive compounds and increase application in products, such as in the application of microparticles in food. This work aimed to characterize lyophilized buriti oil microparticles, add them to yogurt and evaluate sensory acceptance. The inulin (IN) and gum arabic (GA) encapsulants were used in the 25% combinations; 50% and 75% in the respective treatments: GA25IN75; GA50IN50; GA75IN25. The microparticles were characterized for moisture, water activity, size, size distribution, zeta potential, solubility, wettability, X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, color and morphology. Yoghurts were characterized by pH, acidity, syneresis, color, microbiological, texture and sensory analyzes. Increasing inulin addition significantly increased ($p \leq 0.05$) Aw values and microparticle moisture content. For all treatments, negative zeta potential close to -30 mV was observed, indicating stability. The polydispersion index ranged from 0.14 to 0.37. The micrographs showed irregular shaped, amorphous microparticles with toothed surface and variable sizes, common characteristics of microparticles obtained by the lyophilization process. The value of wettability ranged from 59 to 71s considered optimal for powdered foods and equivalent amounts of wall material showed higher value in solubility. The diffractograms showed that the incorporation of buriti oil in the microparticles did not alter the amorphous character observed in the isolated materials. The GA25IN75 yogurt formulation exhibited lower pH values and higher titratable acidity values than the other formulations. The acidity values for all yogurt formulations were in accordance with Brazilian law, Resolution n° 46. The addition of microparticles in yogurt formulations did not alter the syneresis. Standard yogurt coloration differed from microparticulate yogurt due to the carotenoid content present. The addition of microparticles contributed to an increase in yogurt firmness and adhesiveness and did not obtain significant difference ($p \geq 0.05$) in the cohesiveness values of microparticle formulations. GA50IN50 yogurt obtained greater acceptability in all parameters evaluated by tasters with grade 8 on the hedonic scale (I liked it very much), differing significantly ($p \leq 0.05$) from all other yogurt samples. The characteristics presented by the GA50IN50 sample by CATA test were cream color, yogurt flavor, orange dots and consistent texture. It can be concluded that the combination in equivalent proportions of IN and GA buriti oil lyophilized microparticle is an alternative as an ingredient for application in yogurt as a source of vitamin A.

Keywords: *Mauritia flexuosa*. Inulin. Gum Arabic. Active compound. Dairy Fermented.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	21
Figura 2 - Exemplos de carotenoides à direita e xantofilas à esquerda	24
Figura 3 - Molécula de β -caroteno.	25
Figura 4 - Diferentes estruturas morfológicas das micropartículas	27
Figura 5 - Estrutura molecular da goma arábica.....	32
Figura 6 - Estrutura molecular da inulina.....	33
Figura 7 - Fluxograma do processamento do iogurte.....	41
Figura 8 -Micrografias eletrônicas de varredura das micropartículas de óleo de buriti produzidas por liofilização A: GA75IN25; B: GA50IN50 e C: GA25IN75. Ampliações de 1000 vezes	47
Figura 9 - Espectros de absorção por ATR-FTIR dos componentes isolados.....	50
Figura 10 - Espectros de absorção no ATR-FTIR das micropartículas de óleo de buriti liofilizadas.	51
Figura 11 - Difratoograma dos materiais sólidos de parede e das micropartículas de óleo de buriti após liofilização.	52
Figura 12 - Representação das amostras e dos termos na primeira e segunda dimensão da Análise de Correspondência da tabela de frequência do questionário CATA.	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Proporção (%) de ácidos graxos no óleo de buriti e oliva.....	23
Tabela 2 – Exemplo de microencapsulação de compostos por liofilização.	29
Tabela 3 - Materiais de parede utilizados na microencapsulação de ingredientes alimentícios.	30
Tabela 5 - Caracterização das micropartículas de óleo de buriti em diferentes composições..	44
Tabela 6 - Propriedades de reconstituição de micropartículas de óleo de buriti obtidas pelo processo de liofilização.	49
Tabela 7 - Cor instrumental das micropartículas de óleo de buriti obtidas por liofilização.....	53
Tabela 8 – Valores de pH, acidez titulável e sinérese das formulações de iogurte a 4 °C.....	54
Tabela 9 - Cor instrumental das formulações de iogurte com micropartículas de óleo de buriti.	56
Tabela 10 – Textura instrumental das formulações de iogurte.....	57
Tabela 11 - Contagem de micro-organismos (UFC/mL) nas amostras de iogurtes.	58
Tabela 12 - Médias das notas atribuídas pelos provadores para os atributos cor, textura, sabor e impressão global dos iogurtes com micropartículas de óleo de buriti em diferentes formulações de GA e IN.....	58
Tabela 13 - Frequência de escolha de cada atributo por amostra e resultado do teste Q de Cochran para o questionário CATA.	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Buriti	20
2.2 Óleo de buriti	22
2.3 Carotenoides	23
2.3.1 <i>β-caroteno</i>	25
2.4 Microencapsulação	26
2.4.1 <i>Microencapsulação através da secagem por liofilização</i>	28
2.5 Materiais encapsulantes	30
2.5.1 <i>Goma arábica</i>	31
2.5.2 <i>Inulina</i>	33
2.6 Iogurte	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 Materiais	36
3.2 Local do estudo	36
3.3 Métodos	36
3.3.1 <i>Preparo da emulsão</i>	36
3.3.2 <i>Microencapsulação por secagem por liofilização</i>	37
3.3.2.1 <i>Eficiência de encapsulação (EE) e retenção de β-caroteno (RT)</i>	37
3.3.2.2 <i>Tamanho das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta</i>	38
3.3.2.3 <i>Morfologia das micropartículas</i>	38
3.3.2.4 <i>Atividade de água</i>	39
3.3.2.5 <i>Umidade</i>	39
3.3.2.6 <i>Molhabilidade e solubilidade</i>	39
3.3.2.7 <i>Espectroscopia de absorção molecular na região do infravermelho com transformada de Fourier</i>	39
3.3.2.8 <i>Difração de raios X</i>	40
3.3.2.9 <i>Cor</i>	40
3.3.3 <i>Produção do iogurte</i>	40
3.3.4 <i>Caracterização dos iogurtes</i>	41
3.3.4.1 <i>pH e acidez</i>	41

3.3.4.2 Sinérese	42
3.3.4.3 Cor	42
3.3.4.4 Textura	42
3.3.5 Análise microbiológica	42
3.3.6 Análise sensorial	43
3.4 Análise estatística	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1.1 Caracterização das micropartículas de óleo de buriti	44
4.1.1.1 Eficiência de encapsulação (EE) e retenção de β -caroteno (RT).....	44
4.1.1.2 Tamanho das partículas, índice de polidispersão, potencial zeta	45
4.1.1.3 Morfologia das micropartículas	46
4.1.1.4 Atividade de água e umidade	47
4.1.1.5 Solubilidade e molhabilidade.....	48
4.1.1.6 ATR-FTIR.....	50
4.1.1.7 DRX.....	52
4.1.1.8 Cor	52
4.1.2 Caracterização dos iogurtes	54
4.1.2.1 pH, acidez e sinérese.....	54
4.1.2.2 Cor	55
4.1.2.3 Textura	56
4.1.2.4 Análise microbiológica	57
4.1.2.5 Análise sensorial	58
5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
ANEXO A – Teor de β-caroteno.....	77

1 INTRODUÇÃO

O setor alimentício é um campo amplo e a cada dia surgem novas tecnologias que visam trazer para a mesa dos consumidores produtos diferenciados com um forte apelo nutricional e sensorial. Esta tendência fornece grande incentivo para os pesquisadores do setor de alimentos funcionais e de compostos bioativos.

O óleo de buriti é composto por tocoferóis, ácidos graxos com predominância do oleico e palmítico, antioxidantes e carotenoides (principalmente β -caroteno), e apresenta-se como uma das principais fontes de provitamina A encontrada na biodiversidade brasileira.

No entanto, este óleo possui alta perecibilidade e sua composição pode ser alterada como resultado de oxidação, interações químicas ou volatilização, o que resulta em grandes perdas.

Apesar de possuir poucos estudos utilizando a técnica de microencapsulação por liofilização em óleo, essa técnica representa uma possibilidade de ampliar a aplicação do óleo de buriti como fonte de vitamina A em produtos alimentícios e aumentar a vida de prateleira. Pois em comparação com a técnica de secagem por *spray drying* a microencapsulação por liofilização protege compostos sensíveis como o β -caroteno à temperatura elevada, mantém melhor as estruturas e formas dos alimentos processados, preserva melhor a cor, aroma, sabor e nutrientes, e possui uma rápida reidratação.

No processo de microencapsulação de óleos é necessário que o material encapsulante apresente propriedades estabilizantes e emulsificantes. Por ser um bom emulsionante, a goma arábica pode ser utilizada como material encapsulante juntamente com a inulina. A inulina é uma fibra vegetal que possui um efeito prebiótico no organismo humano, vem sendo utilizada em diversas formulações de alimentos para mascarar sabores indesejados, substituir a gordura, para dar corpo e paladar aos alimentos e melhorar a textura, é utilizada também como estabilizante de emulsões e de espumas.

Portanto, a produção de micropartículas de óleo de buriti elaboradas com goma arábica e inulina e sua aplicação em iogurte é uma forma de desenvolver um novo produto através do aproveitamento do produto do fruto do cerrado e proporcionar maior valor nutricional ao produto formulado devido aos compostos bioativos presentes no óleo.

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo produzir micropartículas de óleo de buriti através da liofilização utilizando inulina e goma arábica como materiais de parede; caracterizar as micropartículas através de análises físicas e químicas; incorporar as

micropartículas em iogurte; caracterizar os iogurtes através de análises físicas, químicas, microbiológicas e avaliar a aceitação sensorial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a produção deste referencial foram utilizadas as bases de dados do Scientific Eletronic Library Online (SCIELO), e da National Library of Medicine (PUBMED), assim como o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Science Direct, da editora Elsevier.

Foram consultados também livros da biblioteca da UFVJM ou do acervo pessoal da autora), teses e dissertações (sítios de repositórios institucionais), anais de eventos (disponíveis online) e sítios de órgão governamentais nacionais, sendo que nestes últimos buscou-se identificar as legislações vigentes que abrange a produção de iogurte e de alimentos fonte de vitamina A.

Em virtude da escassez da literatura disponível sobre o assunto abordado, optou-se pela não restrição de período de tempo para a busca de artigos.

2.1 Buriti

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) é uma palmeira da família Arecaceae, também conhecida como miriti, muriti e palmeira-do-brejo (Brasil), moriche (Venezuela), caranguche e oriche (Colômbia), ideui, palma-real e kikyura (Bolívia), boche, awuara e aete (Guianas), morete (Equador), aguaje (Perú) (NASCIMENTO et al., 2009).

No Brasil ocorre com ampla distribuição por toda região Amazônica, sendo encontrado nos estados do Pará, Bahia, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Ceará. (CANUTO et al., 2010; FREIRE et al., 2016). No Cerrado essas palmeiras são encontradas nas veredas (Figura 1.A), onde o solo é encharcado e úmido mesmo durante as secas.

É uma das plantas símbolo do Cerrado e sua diversidade de uso, tornou-o conhecido como a “Árvore da Vida”. Além de fornecer matéria prima para remédios, alimento, artesanato, o buriti desempenha um papel importante para a manutenção de nascentes e cursos d’água no Cerrado, sendo assim, fundamental para o ecossistema e para as populações que nele vivem (VIEIRA; FACÓ; CECY, 2011).

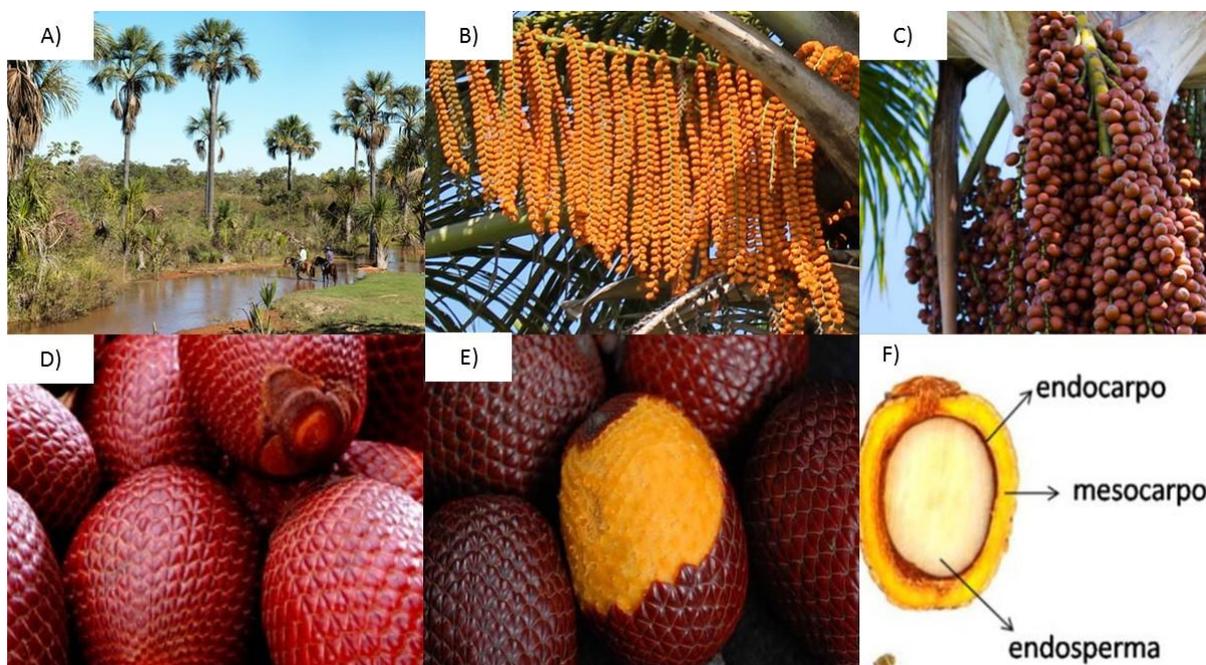
O buriti é uma palmeira que pode alcançar 35 metros de altura (Figura 1.A), possui de 08 (oito) a 20 (vinte) folhas, que podem chegar a medir 03 (três) metros de comprimento e é uma planta dioica (Figura 1.B e 1.C) (DONADIO et al., 2002). A época de floração varia

entre regiões, na Amazônia ocorre de abril a junho e no Cerrado geralmente do mês de novembro até abril. No entanto, possui uma particularidade relacionada a safra com grande produtividade, que normalmente ocorre a cada quatro anos (FREIRE *et al.*, 2016).

A fruta do buriti tem um formato alongado globular, medindo de quatro a sete centímetros comprimento, e três a cinco centímetros de diâmetro com peso que varia de 25 a 40 g (Figura 1.D). Composto de três partes principais, o epicarpo que possui formação escamada com coloração vermelha brilhante (Figura 1.E), o mesocarpo (polpa) que é a parte comestível do fruto com coloração laranja (Figura 2.F) e por fim, o endocarpo (Figura 1.F), que é a parte fibrosa, dura, envolve a semente, é esponjoso, com a cor variando de branco a amarelo e apresenta altos níveis de celulose (TAVARES *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2011; BECKER *et al.*, 2014).

A polpa é a parte mais nobre do fruto, sendo utilizada em diversos processos, como a produção de diferentes alimentos (doces, sorvetes, sucos, picolés, polpas congeladas), e também da polpa é extraído o óleo que é vastamente utilizado e cada vez mais demandando por empresas que produzem cosméticos e alimentos (TAVARES *et al.*, 2003; FREIRE *et al.*, 2016).

Figura 1 – Buriti (*Mauritia flexuosa*)



(A). Palmeira do fruto buriti (B) flores femininas de palmeira. (C) cachos do fruto de *M. flexuosa*. (D) fruto do buriti. (E) epicarpo da fruta. (F) mesocarpo e endocarpo do buriti.

Fonte: adaptado (FREIRE *et al.*, 2016).

O seu fruto tem sido considerado um alimento com alto valor nutricional. Possuem um elevado teor de compostos bioativos como carotenoides, tocoferóis, compostos fenólicos, ácido ascórbico, fibra, fitoesteróis e ácidos graxos mono e poli-insaturados (CORDEIRO; ALMEIDA; IACOMINI, 2015; FREIRE *et al.*, 2016).

2.2 Óleo de buriti

O óleo obtido da polpa desidratada do buriti é uma fonte vegetal, que possui elevados teores de vitamina E (tocoferóis), carotenoides, pigmentos naturais com reconhecido valor biológico, possui ácidos graxos insaturados como oleicos, linoleico, e linolênico, (JANG *et al.*, 2015; ORSAVOVA *et al.*, 2015; SPERANZA *et al.*, 2016; MILANEZ *et al.*, 2016; SERRA *et al.*, 2019). Esses compostos atuam como antioxidantes, anti-inflamatório, hipoglicemiante, antimicrobiano e antitumoral (AQUINO *et al.*, 2012a, 2012b; IGBAL 2014; AQUINO *et al.*, 2015; FREIRE *et al.*, 2016).

De acordo Freire *et al.*, (2016), o óleo de buriti é fonte de carotenoides. Possui maior concentração de β -caroteno em relação a gama de alimentos brasileiros analisados, diante disso ele é considerado uma das principais fontes de provitamina A descoberta na biodiversidade brasileira (MARIATH *et al.*, 1989).

Estudos realizados por Oliveira (2011) determinaram que um grama de óleo de buriti compreende a 1.181 μg de β -caroteno, Albuquerque *et al.* (2005), encontraram um valor de 932,36 μg , Silva *et al.* (2009), encontraram valores de carotenoides variando de 252 a 1.890 μg de β -caroteno/g de óleo de buriti. FERREIRA *et al.* (2011), ao estudarem as propriedades dos óleos de frutos amazônicos, obtiveram o valor de β -caroteno de 692,9 $\mu\text{g/g}$ para o óleo buriti. É importante destacar que a composição dos óleos pode variar de acordo com as condições climáticas, safra, período de colheita, método de extração e pela forma de acondicionamento (SILVA *et al.*, 2009).

Com base nos resultados encontrados na literatura, pode-se considerar o óleo de buriti uma fonte rica de β -caroteno, que possui 100% da atividade provitamina A, pois os níveis de β -caroteno encontrados nos estudos foram superiores aos encontrados em cenouras (54 μg de β -caroteno/g), que é uma fonte reconhecida dessa substância desde 1831 por Weckenroder (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMUR; AMAYA, 2008).

Além do β -caroteno, o óleo de buriti possui quantidades de outros carotenoides substanciais como o α -caroteno (3,78%), γ -caroteno (0,76%), e a zeaxantina (5,74%) (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005).

Em termos de ácidos graxos, o óleo de buriti contém um teor de 72,7% de ácido oleico, 2,63% de ácido linoleico, e 2% linolênico (AQUINO *et al.*, 2012), sendo semelhantes ao encontrado no azeite de oliva (Tabela 1) (ORSAVOVA *et al.*, 2015; SPERANZA *et al.*, 2016).

Tabela 1 - Proporção (%) de ácidos graxos no óleo de buriti e oliva.

Ácidos graxos	Buriti	Oliva
Palmítico (C16:0)	19,2	16,5
Esteárico (C18:0)	1,3	2,3
Palmitoleico (C16:1)	-	1,8
Oleico (C18:1)	72,7	66,4
Linoleico (C18:2)	2,63	16,4
Linolênico (C18:3)	2	1,6

Fonte: (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005; AQUINO *et al.*, 2012; ORSAVOVA *et al.*, 2015).

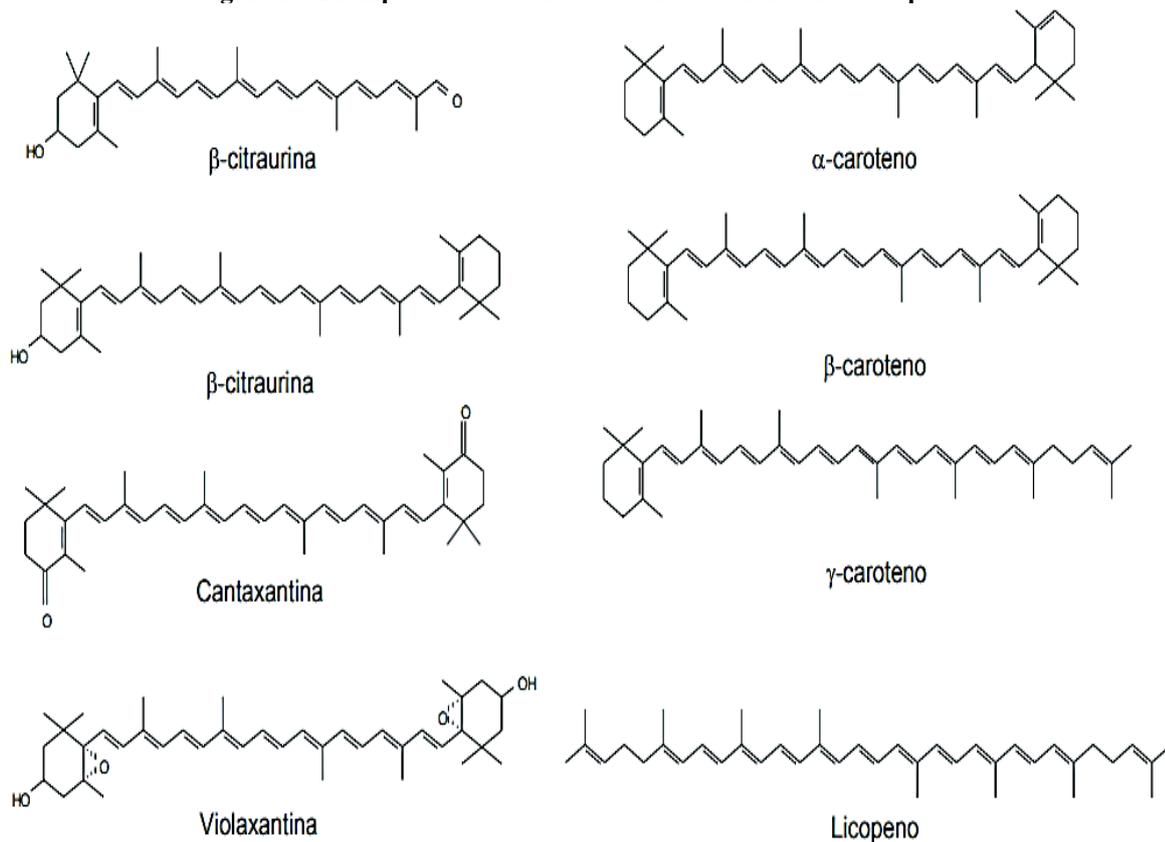
2.3 Carotenoides

Os carotenoides são corantes de origem natural, lipofílicos, com coloração variando do amarelo, laranja ao vermelho, com exceção dos carotenoides fitoflueno e fitoeno que são incolores (SIES, 2004). Na natureza estão distribuídos em plantas, algas, peixes, crustáceos, aves e micro-organismos. Algumas espécies de fungos, bactérias, algas e plantas superiores são capazes de produzir estes pigmentos, enquanto os animais necessitam de ingestão para sua obtenção por serem incapazes de biossintetizar os carotenoides FONTANA *et al.*, 2000).

Quimicamente são definidos como tetraterpenos (C40) ou seja, formados pela união de oito unidades de isopreno, contendo cinco átomos de carbono (RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN; BORONAT, 2002; GHARIBZAHEDI; RAZAVI; MOUSAVI, 2013).

Os carotenoides possuem duas classes, os carotenos e as xantofilas (Figura 2). Os carotenos são caracterizados pela presença de carbono e hidrogênio. Enquanto as xantofilas são derivadas oxigenados dos carotenos (JIN *et al.*, 2003).

Figura 2 - Exemplos de carotenoides à direita e xantofilas à esquerda.



Fonte: RODRIGUEZ-AMAYA; KIMUR; AMAYA, (2008) Adaptado.

Com vasta distribuição na natureza, os carotenoides são compostos de extrema importância para a alimentação humana, o que se deve aos seus efeitos benéficos à saúde, atuando com redução de risco de doenças cardiovasculares, degeneração macular, catarata, diminuição do risco de doenças degenerativas e fortalecimento do sistema imunológico. Alguns carotenoides também exibem atividade pró-vitáminica A (β -caroteno, γ -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina e α -criptoxantina) (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMUR; AMAYA, 2008).

Para apresentar a atividade de pró vitamina A, é necessário que a molécula de carotenoide tenha, no mínimo, 11 carbonos, pelo menos um anel β não substituído e duas ligações conjugadas. Assim, o β -caroteno destaca-se por ser o único capaz de gerar duas moléculas de retinol quando ingerido (MESQUITA; TEIXEIRA; SERVULO, 2017).

Os carotenoides podem ser aplicados em inúmeras indústrias, não somente com a finalidade de colorir, como também para enriquecer alimentos e até mesmo compor rações, cosméticos, fármacos e suplementos alimentares (MESQUITA; TEIXEIRA; SERVULO, 2017).

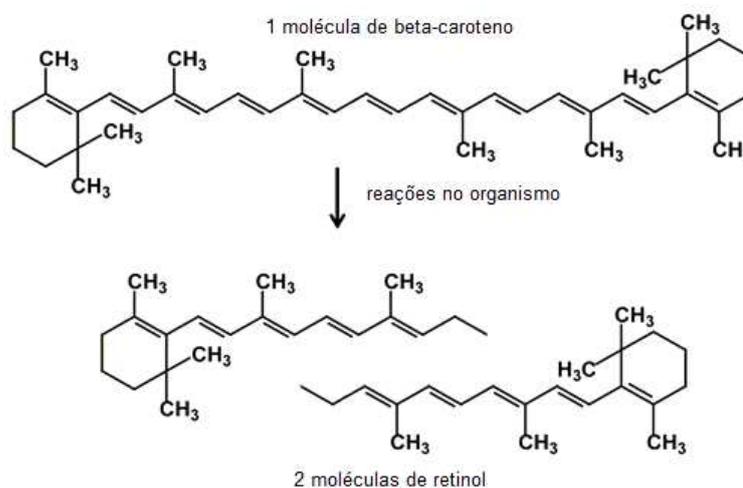
2.3.1 β -caroteno

O β -caroteno um dos carotenoides mais comumente disponíveis na natureza, é um pigmento natural amplamente utilizado pela indústria farmacêutica, cosmética e de alimentos (HEJRI *et al.*, 2013; HENTSCHEL *et al.*, 2008). Além de seu uso como corante, o β -caroteno proporciona alta atividade provitamina A, propriedades antioxidantes, exibe efeitos preventivos e terapêuticos como câncer, problema ocular, doença cardiovascular, eritema induzido por luz e outras doenças relacionadas à idade (LACATUSU *et al.*, 2014; CUI *et al.*, 2019; GUO *et al.*, 2019; PEZESHKI *et al.*, 2019).

Possui uma estrutura molecular básica composta por oito unidades de isopreno, que contém 40 átomos, e dois anéis no final do seu duplo conjugado. A longa cadeia conjugada é responsável por a cor laranja do β -caroteno. Quando consumido é convertido em duas moléculas de retinol (Figura 3) através da clivagem enzimática, que possui atividade provitamina A (RIBEIRO *et al.*, 2008).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a deficiência de vitamina A de pré-escolares em países em desenvolvimento chega mais de 250 milhões. No Brasil, essa deficiência é considerada uma das principais na área de Saúde Pública (RAMALHO; FLORES; SAUNDERS, 2002; AMBRÓSIO; SIQUEIRA CAMPOS; FARO, 2006). Revisões de literatura brasileira mostram, uma prevalência mediana de 32% de deficiência de vitamina A em crianças menores de cinco anos, principalmente nas regiões dos Vales do Jequitinhonha e do Mucuri, no Estado de Minas Gerais, e do Ribeira, no Estado de São Paulo (LIMA; DAMIANI; FUJIMORI, 2018).

Figura 3 - Molécula de β -caroteno.



Fonte: adaptado (RIBEIRO *et al.*, 2008).

A vitamina A age na manutenção da visão, auxiliando a púrpura visual, que tem por finalidade a visão na luz fraca. Também age no metabolismo das gorduras, auxilia na proteção da pele e de mucosas. No momento em que o β -caroteno entra no metabolismo humano, uma parte é transformada em vitamina A e o restante fica retido para futuras necessidades (TRÊS *et al.*, 2007).

A existência de ligações duplas conjugadas faz com que os carotenoides sejam propensos à oxidação e isomerização, devido a presença de luz, oxigênio e calor, o que leva a degradação da cor, oxidação e redução da atividade vitamínica. Uma das principais causas de perdas de carotenoides é oxidação, que forma compostos epóxidos e apocarotenoides de menor massa molecular (TRÊS *et al.*, 2007).

Desse modo, o uso do β -caroteno é limitado pela baixa biodisponibilidade na forma cristalina, alta reatividade e instabilidade ao calor, luz e oxigênio, as etapas de obtenção, manuseio e embalagem dos mesmos requerem cuidado especial visando reduzir a oxidação (BRITO-OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os carotenoides utilizados comercialmente são obtidos principalmente por rota sintética ou por extração a partir de plantas e algas. Atualmente houve um aumento da procura por compostos com conotação natural, tendo como à produção de carotenoides por via fermentativa em processos biotecnológicos (MARASCO; SCHMIDT-DANNERT, 2003; FRASER.; BRAMLEY, 2004; RIBEIRO *et al.*, 2008). Porém, é importante ressaltar que, a exemplo dos processos extrativos, no processo fermentativo também utiliza solventes orgânicos para a extração e posterior recuperação do soluto (TRÊS *et al.*, 2007).

Neste cenário, tecnologias de encapsulamento como micropartículas, nanopartículas poliméricas, sistemas vesiculares como lipossomas, fitossomos e nanodispersões como nanoemulsões, nanotransportadores lipídicos sólidos (NLS), nanotransportadores lipídicos (NLC) podem superar as limitações do uso do β -caroteno e proporcionar boa solubilização e estabilização desse material bioativo lipofílico (McCLEMENTS *et al.*, 2009).

2.4 Microencapsulação

A encapsulação é uma operação unitária que se baseia no aprisionamento de um ingrediente ativo no estado sólido, líquido ou gasoso, revestido por uma membrana polimérica (COSTA *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2015; HIJO *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2015). Esse processo age como uma barreira física entre o meio externo e os materiais do núcleo,

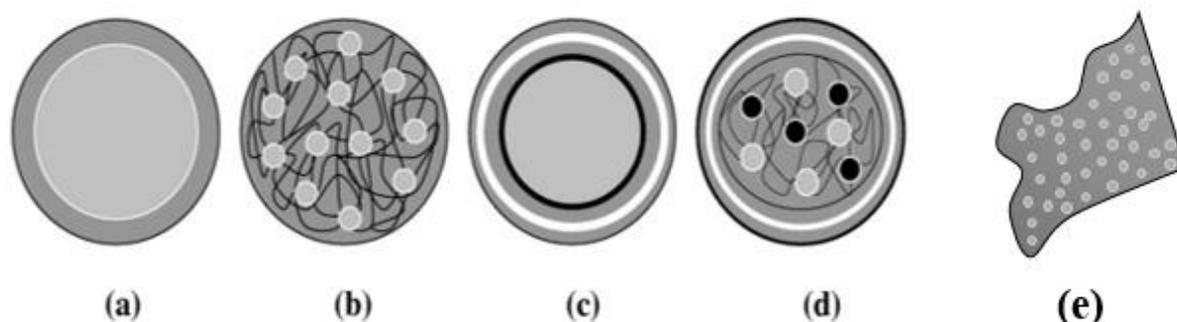
protegendo esses compostos de fatores externos como a luz, umidade, oxigênio e altas temperaturas (HIJO *et al.*, 2015).

Por meio da encapsulação a substância de interesse é transformada em partículas que é classificada conforme o tamanho e morfologia, (ESTEVINHO *et al.*, 2013; BAKRY *et al.*, 2015; NUNES *et al.*, 2015).

Em relação ao tamanho, as partículas são classificadas como nanopartículas ($\leq 0,2 \mu\text{m}$), micropartículas ($0,1$ a $1000 \mu\text{m}$) e macropartículas ($\geq 1000 \mu\text{m}$) (SILVA *et al.*, 2014).

Quanto a morfologia, as partículas são classificadas em microcápsulas quando o material ativo tem um único núcleo rodeado por uma camada de material de parede; microesferas com o núcleo disperso em uma rede de matriz contínua e estruturas mais complexas, como microcápsulas multicamadas ou microesferas multicelulares (Figura 4) (NESTERENKO *et al.*, 2013).

Figura 4 - Diferentes estruturas morfológicas das micropartículas



(a) microcápsula, (b) microesfera, (c) microcápsula multiparede e (d) microesfera multinuclear e multiparede, (e) irregular.

Fonte: GIBBS; KERMASHA, AL (1999); NESTERENKO *et al.*, (2013). Adaptado.

Na abordagem atual, essa tecnologia tem diferentes aplicações nos setores alimentícios, farmacêuticos, indústrias cosméticas e biomédicas (DUBEY *et al.*, 2009). Na indústria de alimentos é utilizada principalmente para encapsular compostos bioativos, aromas, enzimas, ácidos graxos, vitaminas, minerais, licopeno, fitoesteróis, antioxidantes, probióticos, óleos vegetais, óleos essenciais e outros ingredientes sensíveis (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018), e tem como objetivo proteger as substâncias sensíveis do ambiente, atenuar aromas indesejáveis, reduzir a volatilidade aos componentes alimentícios, mascarar sabores, liberar o material ativo de forma controlada e transformar compostos líquidos em

sólidos, além de aumentar a vida de prateleira. (SAENZ, 2009; TOLVE *et al.*, 2018; CASTEL; RUBIOLO; CARRARA, 2018).

Existem diferentes métodos para a produção das micropartículas, cuja escolha depende da aplicação, da liberação da substância a ser encapsulada e do tipo de encapsulante (BARRETO *et al.*, 2015). Esses métodos são classificados como físicos (*spray drying*, *spray cooling*, liofilização (*freeze drying*), pulverização em banho térmico, extrusão centrífuga com múltiplos orifícios, leito fluidizado, co-cristalização e outros), sendo métodos químicos a inclusão molecular e polimerização, e os métodos físico-químicos englobam a coacervação simples e complexa, evaporações de solvente e inclusão molecular (BARRETO *et al.*, 2015).

2.4.1 Microencapsulação através da secagem por liofilização

A técnica de secagem por liofilização ou *freezer drying*, baseia-se na desidratação por sublimação a partir de um produto previamente congelado. (LAOKULDILOK; KANHA, 2015; WILKOWSKA *et al.*, 2016; YAMASHITA *et al.*, 2017).

O processo de liofilização acontece em três etapas: congelamento, secagem primária, secagem secundária. A primeira etapa consiste em um congelamento rápido do produto a uma temperatura de até -40°C , após congelamento, a água do produto é removida por sublimação (secagem primária), em seguida, a água que não congelou (água adsorvida ou ligada) é removida por dessorção através do abaixamento da pressão (FELLOWS, 2006).

É um dos processos mais úteis para a secagem de substâncias termossensíveis que são instáveis em soluções aquosas. Neste processo, após a cristalização, a solução não congelada é viscosa e a difusão dos sabores é retardada (MADENE, *et al.*, 2006).

Além da utilização para processos de secagens, a liofilização é usada para o processo de microencapsulação de materiais ativos, principalmente para a secagem de pigmentos sensíveis ao calor (YAMASHITA *et al.*, 2017). A vantagem da liofilização é que os produtos liofilizados apresentam estrutura uniforme, rápida reidratação devido a porosidade fina, além de manter as características nutritivas e sensoriais do produto final. Como desvantagem este método apresenta alto custo comparado aos demais métodos físicos e encontra-se restrito à elaboração de produtos com alto valor agregado (RATTI, 2001).

Atualmente há diversos estudos que mostram a aplicação da microencapsulação por liofilização na preservação de ingredientes bioativos (Tabela 2).

Tabela 2 – Exemplo de microencapsulação de compostos por liofilização.

PRODUTO	TITULO DO ARTIGO	AUTOR E ANO
Enzima transglutaminase	Thermal inactivation kinetics of microencapsulated microbial transglutaminase by ultrasonic spray-freeze drying.	ISLEROGLU; TURKER, (2019)
Polpa de acerola	Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (<i>Malpighia emarginata DC</i>) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization.	REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, (2018)
Extrato dos subprodutos de limão	Encapsulation of Citrus By-Product Extracts by Spray-Drying and Freeze-Drying Using Combinations of Maltodextrin with Soybean Protein and ι -Carrageenan.	PAPOUTSIS <i>et al.</i> , (2018)
Extrato da borra de café	Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials.	BALLESTEROS <i>et al.</i> , (2017)
Suco de mirtilo (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Microencapsulation by Spray-Drying and Freeze-Drying Technique on the Antioxidant Properties of Blueberry (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Juice Polyphenolic Compounds.	WILKOWSKA <i>et al.</i> , (2016)
Antocianinas de pétala de açafreão	Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. Carbohydrate Polymers.	JAFARI; MAHDAVI-KHAZAEI; HEMMATI-KAKHKI, (2016).
Microrganismo (<i>Lactobacillus plantarum</i>)	Spray freeze drying method for microencapsulation of <i>Lactobacillus plantarum</i> .	RAJAM; ANANDHARAMAKRISHNAN, (2015)
Açafreão-da-terra	Freeze-drying for microencapsulation of turmeric oleoresin using modified starch and gelatin.	MALACRIDA <i>et al.</i> , (2015)
Microrganismo (<i>Lactobacilli Vaginal</i>)	Microencapsulation of Bovine <i>Vaginal Lactobacilli</i> in Alginate Using Emulsion-gelation: Freeze-drying, Storage and Antimicrobial Activity.	ALE CE <i>et al.</i> , (2015)
Óleo da semente de agrião-da-índia (<i>Lepidium sativum</i>)	Freeze drying for microencapsulation of α -linolenic acid rich oil: A functional ingredient from <i>Lepidium sativum</i> seeds.	NAIK; MEDA; LELE, (2014)
óleo de peixe, ésteres de fitosterol e limoneno	Properties and stability of spray-dried and freeze-dried microcapsules co-encapsulated with fish oil, phytosterol esters, and limonene.	CHEN <i>et al.</i> , (2013)
Extrato de Garcinia	Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality.	EZHILARASI <i>et al.</i> , (2013)
Norbixinato de Potássio e Curcumina	Microencapsulation by Freeze-Drying of Potassium Norbixinate and Curcumin with Maltodextrin: Stability, Solubility, and Food Application.	SOUSDALEFF <i>et al.</i> , (2013)
Ácido docosahexaenóico	Microencapsulation of Docosahexaenoic Acid by Spray-Freeze-Drying Method and Comparison of its Stability with Spray-Drying and Freeze-Drying Methods.	KARTHIK; ANANDHARAMAKRISHNAN, (2013).
Óleo de linhaça	Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying.	QUISPE-CONDORI; SALDAÑA, TEMELLI (2011).
Microrganismo (<i>Lactobacillus paracasei</i>)	Microencapsulation of <i>Lactobacillus paracasei</i> by spray freeze drying.	SEMYONOV <i>et al.</i> , (2010)
Óleo de peixe	Microencapsulation of fish oil by freeze-drying techniques and influence of process parameters on oxidative stability during storage.	HEINZELMANN <i>et al.</i> , (2000)

Fonte: do Autor.

2.5 Materiais encapsulantes

Os materiais encapsulantes, também denominados de materiais de parede são substâncias que formam uma película protetora em torno do agente ativo (SOBRINHO; FARIAS, 2012). Diversos materiais são utilizados como encapsulantes, incluindo carboidratos, celulose, gomas, lipídios e proteínas (Tabela 3). Estes podem ser utilizados sozinhos ou combinados, porém a combinação é bastante utilizada a fim de obter uma maior eficiência e rendimento na microencapsulação (PEREIRA *et al.*, 2018).

Tabela 3 - Materiais de parede utilizados na microencapsulação de ingredientes alimentícios.

Categoria	Principais materiais
Carboidratos	Amido, maltodextrina, quitosana, dextrina, ciclodextrina, amido modificado
Celulose	Carboximetilcelulose, metilcelulose
Gomas	Goma arábica, goma guar, ágar, carragena, alginato de sódio
Lipídios	Cera, parafina, cera de abelha, diacilglicerol, óleos, gorduras
Proteínas	Glúten, gelatina, albumina, caseína, peptídeos

Fonte: PEREIRA *et al.* (2018).

A escolha destes materiais é considerada um fator de extrema importância no processo de microencapsulação, porque causa impacto direto na eficiência da microencapsulação, na estabilidade e na adequação da micropartícula (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2015; CAMPELO *et al.*, 2017a).

O material de parede empregado deve possuir algumas características importantes, que consistem em: não reagir com o agente ativo; possuir habilidade de selar e segurar o agente ativo dentro da estrutura da cápsula; liberar completamente o solvente ou outros materiais utilizados durante o processo de encapsulação; apresentar baixa viscosidade em concentrações elevadas e fácil manipulação durante o processo; ter baixa higroscopicidade, para facilitar a manipulação e evitar aglomeração; proporcionar máxima proteção ao agente ativo contra condições adversas como pH, luz, oxigênio e ingredientes reativos; ter solubilidade em solventes comumente utilizados; possuir propriedades desejadas de liberação do agente ativo;

não apresentar sabor desagradável quando sua aplicação for de uso oral e ser econômico (SANTOS; FERREIRA; GROSSO, 2001; SHAHIDI; HAN, 1993).

A escolha deve ser minuciosa considerando-se uma série de fatores como: propriedades química e física do material do núcleo e do material de parede, solubilidade, porosidade, viscosidade, transição vítrea, capacidade de formação de filme, propriedades mecânicas, compatibilidade do material do núcleo com o da parede da partícula, o material de parede deve ser insolúvel e não reagir com o núcleo, também deve-se ter considerações relacionadas a fatores econômicos (BURNSIDE, 2014; COSTA *et al.*, 2015).

Ainda, para aplicação em alimentos, os materiais de parede devem ser biodegradáveis e de grau alimentar capazes de formar uma barreira entre o agente ativo e o meio (ZHANG *et al.*, 2015). No processo de microencapsulação de óleos é necessário que o material encapsulante apresente propriedades estabilizante e emulsificante (TELIS, 2012).

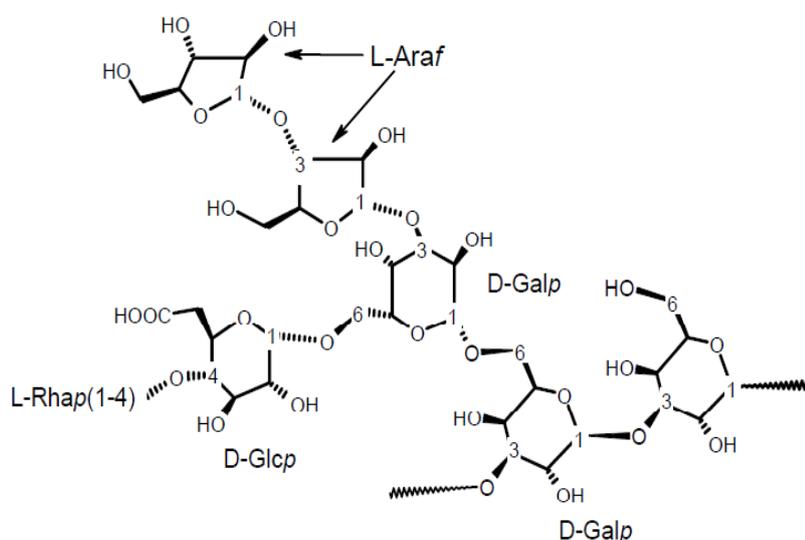
Nos últimos anos houve um aumento da demanda por produtos mais saudáveis e esta procura causou um aumento nos estudos da substituição de ingredientes tradicionais por ingredientes funcionais (SILVA, AZEVEDO, *et al.*, 2016). Assim, polímeros naturais como a inulina e a oligofrutose vem sendo empregados e avaliados como material encapsulante no processo de microencapsulação devido suas propriedades de superfície, boa capacidade de estabilização, emulsificação da emulsão e também por ser prebiótico (SILVA, ZABOT, *et al.*, 2016; CAMPELO *et al.*, 2017).

2.5.1 Goma arábica

A goma arábica (GA), também conhecida como goma acácia é obtida a partir do exsudado extraído de árvores de Acácia, quando estas são submetidas a algum tipo de estresse, como lesões físicas ou ataque microbiano, a árvore é típica das regiões subdesérticas do Sudão e da África (TELIS, 2012; SUBTIL *et al.*, 2014).

A goma arábica é um polissacarídeo (Figura 5) e sua cadeia principal é formada por unidades de D-galactose, unidas por ligações glicosídicas em β -1,3, e apresenta estruturas ramificadas como D-galactose, L-ramnose, L-arabinose e ácido D-glucurônico, que estão ligadas por ligações β -1,6 (MCNAMEE; O'RIORDAN; O'SULLIVAN, 1998; SUKHOTU *et al.*, 2016).

Figura 5 - Estrutura molecular da goma arábica.



Fonte: RUTZ, 2013.

A goma arábica é muito utilizada principalmente em indústrias de alimentos (bolos, doces, biscoitos, bebidas e produtos secos embalados), farmacêuticas e indústrias cosméticas (cremes e loções), por apresentar característica estabilizante, emulsificante, baixa toxicidade, capacidade de formação de filme e sabor suave (ISLAM *et al.*, 1997; IDRIS; WILLIAMS; PHILLIPS, 1998; MOTLAGH *et al.*, 2006; AL-ASSAFA *et al.*, 2007; KATTUMURI *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2011;).

A goma arábica é preferida sob os outros materiais de parede no processo de microencapsulação por possuir alta solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e elevada estabilidade oxidativa. Suas propriedades emulsificantes garantem uma boa capacidade de proteção e conservação de muitos compostos voláteis durante o processo de secagem, mantendo sabores mais suaves produz emulsões estáveis com a maioria dos óleos numa larga gama de pH, forma uma película visível na interface do óleo, evita a perda de compostos voláteis quando em contato com a atmosfera, (MADENE *et al.*, 2006; GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2015).

Entretanto, a goma arábica apresenta algumas limitações que dificultam a sua utilização como ingrediente alimentício, sendo custo elevado, variação na qualidade das gomas e a oferta limitada (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007), visto que é produzida em regiões sujeitas a variações climáticas e conflitos políticos (VASILE *et al.*, 2016). Muitos pesquisadores têm buscado substituir a goma arábica total ou parcialmente por outros materiais de parede com objetivo de suprir essa limitação e produzir partículas com diferentes propriedades físico-químicas (AZEREDO, 2005; PISHUT, 2012).

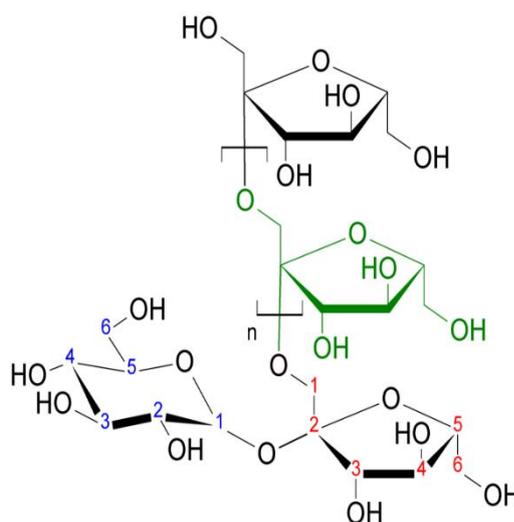
Várias pesquisas apresentaram a goma arábica como um dos materiais de parede bastante utilizado para microencapsulação de compostos lipossolúveis, tais como, microencapsulação de óleo de laranja (ASCHEI; MARQUEZ; MARTUCCI, 2003), óleo de pimenta (SHAIKH; BHOSALE; SINGHAL, 2006) azeite de oliva (CALVO *et al.*, 2010), óleo de café (NOSARI *et al.*, 2015) e óleo de semente de uva (BÖGER; GEORGETTI; KUROZAWA, 2018).

2.5.2 Inulina

A inulina é um importante subproduto agrícola derivado da raiz da chicória e encontrada também em muitos alimentos, tais como o aspargo, alcachofra, cebola, alho poró, trigo e yacon, é um polímero linear composto de unidades de frutose acompanhadas por um resíduo de glicose na extremidade redutora (ZHU *et al.*, 2018).

Estruturalmente a inulina é um polissacarídeo de frutose, com ligações β -(2-1) D-fructosil-frutose (Figura 6) (ZHU *et al.*, 2018).

Figura 6 - Estrutura molecular da inulina.



Fonte: SHOAIIB *et al.*, 2016.

Devido a presença da configuração β do carbono anomérico a inulina é indigerível no intestino delgado humano; no entanto, pode ser fermentado no intestino grosso pela microflora intestinal (APOLINARIO *et al.*, 2014). Desta forma no cólon, ela funciona como um prebiótico, pois é seletivamente fermentada pela microflora benéfica, aumenta seu crescimento e fortalece sua ação contra micro-organismos patogênicos (VAN LOO, 2004).

A inulina possui um sabor suave sem sabor residual, é levemente adocicada (10% de doçura em comparação com o açúcar). Combina com outros ingredientes sem modificar

sabores delicados. É moderadamente solúvel em água (máximo 10% à temperatura ambiente) e traz uma viscosidade bastante baixa (menos de 2 mPa.s para uma solução a 5% p / p em água). Quando completamente misturado com água ou outro líquido aquoso, forma uma rede de gel de partículas resultando em uma estrutura cremosa branca com uma textura curta e esparramada, que pode ser facilmente incorporada aos alimentos para substituir a gordura em até 100% (FRANCK, 2002).

A inulina é um ingrediente natural utilizado na indústria alimentícia por suas propriedades tecnológicas e funcionais muito interessantes e diversificadas. Este composto é uma fibra dietética solúvel, se comporta como prebiótico, o que significa que não é digerível pelo organismo humano sendo apenas degradado por certas bactérias do cólon (probióticos) como bifidobactérias (GIBSON & KOLIDA, 2007; BEIRÃO-DA-COSTA *et al.*, 2013). A inulina tem sido aplicada em diversas formulações de alimentos para mascarar sabores indesejados, substituir a gordura, para dar corpo e paladar aos alimentos e melhorar a textura, é utilizada também como estabilizante de emulsões e de espumas, trabalha em sinergia com agentes de gelificação pode funcionar como substituto de açúcar e de gorduras, intensificador de sabor e melhorador de textura (FRANCK, 2002; SOUZA *et al.*, 2015; SHOAIIB *et al.*, 2016).

Pode ser encontrada na forma altamente ramificada ou linear de acordo com a fonte. Os polímeros de inulina altamente ramificados têm mais solubilidade e na presença de água eles são capazes de desenvolver um gel particulado, alterando assim a textura do produto e proporciona sensação na boca como uma gordura (TUNGLAND; MEYER, 2002); por outro lado moléculas de cadeia curta aumentam o sabor, doçura e são usados para substituir parcialmente a sacarose (CASTRO *et al.*, 2009).

Segundo Fernandes; Borges; Botrel, 2014, a microencapsulação de compostos fenólicos utilizando inulina como material encapsulante mostraram boa estabilidade e retenção destes compostos durante o período de armazenamento em diferentes condições de secagem por *spray drying*.

Observa-se que a utilização de inulina em estudos de microencapsulação tem aumentado, pois esse biopolímeros oferecem boas propriedades tecnológicas e funcionais para uso como material encapsulante (CAMPELO, *et al.*, 2017b).

2.6 Iogurte

Os leites fermentados são considerados uns dos alimentos mais populares do mundo (VITAL *et al.*, 2015).

Os iogurtes são produtos obtidos da fermentação láctica, pela coagulação das proteínas devido ao abaixamento do pH do leite, cuja fermentação acontece com cultivos protosimbóticos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, podendo ser acompanhado de outras bactérias ácido-lácticas de forma complementar, desde que sua atividade contribua para a determinação das características do produto final (BARBOSA *et al.*, 2012). Os micro-organismos utilizados devem ser viáveis e ativos e estar em concentração igual ou superior a 10^7 UFC/g de produto final, e durante seu prazo de validade, a acidez deve estar entre 0,6 e 1,5 g de ácido láctico/100g (BRASIL, 2007).

Os iogurtes apresentam uma grande diversidade, podendo ser classificados em relação ao sabor como: natural, saborizado, adoçado, com frutas, sucos e outros produtos naturais; com relação à textura e consistência em: firme, líquido, batido e cremoso (LUIS *et al.*, 2015). Com relação aos iogurtes batidos, são encontrados no mercado uma abundante variedade com diferenças em relação à textura, aroma, tipos de frutas e também diferentes teores de açúcar e gordura (MESUROLLE *et al.*, 2013).

Segundo Rocha *et al.* (2008), o iogurte é um produto rico em cálcio, proteínas, fósforo, fonte de minerais como magnésio e zinco. Caracterizado como um gel viscoso, possui sabor característico sendo o leite fermentado mais conhecido devido suas características sensoriais e nutricionais. o consumo traz diversos benefícios ao organismo humano, pois facilita a ação das proteínas e enzimas digestivas, melhora a absorção do cálcio, ferro e fósforo, é fonte de galactose, importante na síntese de tecidos nervosos cerebrosídeos em crianças (FERREIRA *et al.*, 2001). Além disso, o consumo se destaca por ser considerado de fácil digestão (THAMER; PENNA, 2006).

O iogurte faz parte da dieta alimentar humana desde os tempos remotos, quando a fermentação do leite era feita como forma de preservação. Considerando a crescente importância que o iogurte vem assumindo no mercado nacional, inúmeras pesquisas têm sido executadas para melhoria da qualidade (RAMOS *et al.*, 2009).

O mercado brasileiro de iogurtes apresentou um aumento em 1970 e atualmente está em ascensão devido a incorporação de novos ingredientes nas formulações (QUINTINO, 2012). Diante desse cenário é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias de elaboração e processamento buscando não apenas atender aos quesitos de segurança alimentar, mas também a avaliação sensorial criteriosa desses produtos antes de serem lançados no mercado, a fim de promover o ajuste de características fundamentais deste alimento e de maneira que atenda às expectativas dos consumidores (BOLINI; MORAES, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O óleo do Buriti foi fornecido pela Cooperativa dos Agricultores Familiares e Agroextrativistas Grande Sertão Ltda® (Montes Claros – BR).

Os materiais encapsulantes utilizados foram goma arábica cedida pela Ingredion® e inulina pela Metachem®.

3.2 Local do estudo

Este estudo foi desenvolvido nos laboratórios do curso de Engenharia de Alimentos, Instituto de Ciência e Tecnologia; laboratório Multiusuário do curso de Farmácia e Laboratório Multiusuário de Microscopia (LMMA) do Programa de Pós-Graduação em Química, ambos localizados na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

A cromatografia foi realizada no Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A microencapsulação foi realizada no Laboratório de Processamento de Produtos de Origem Vegetal, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

3.3 Métodos

A relação de óleo de buriti (composto bioativo) e biopolímeros empregados como materiais de parte na etapa de microencapsulação está disposta na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação de óleo de buriti (composto bioativo) e biopolímeros empregados como matérias de parede para microencapsulação.

	Materiais de Parede (g/100g de solução)		Composto ativo (g/100g de solução)
	GA	IN	Óleo de buriti
GA/IN	75	25	10
GA/IN	50	50	10
GA/IN	25	75	10

GA- Goma arábica; IN- Inulina (93,8% de pureza).

3.3.1 Preparo da emulsão

Inicialmente, fez-se uma mistura de goma arábica e inulina conforme apresentado na Tabela 4, que foi hidratada em água deionizada por 24 horas sob temperatura de 20°C em estufa. Em seguida, os materiais de parede foram dissolvidos em 100 mL de água deionizada

usando o homogeneizador Turrtec (Tecnal, TE 102) na velocidade de 10.000 rpm por 5 minutos.

Após a dispersão completa dos materiais de parede, adicionou o óleo de buriti e homogeneizou-se usando o homogeneizador Turrtec (Tecnal, TE 102) na velocidade de 10.000 rpm por mais 5 minutos.

3.3.2 Microencapsulação por secagem por liofilização

A emulsão foi colocada em placas inox com diâmetro de 10cm e submetida a congelamento -40°C mantidas no ultrafreezer durante 24 horas. Em seguida, as amostras foram levadas ao liofilizador da marca TERRONI modelo LS3000B (São Paulo, Brasil), para secagem por um período de 24 horas. A temperatura de saída das amostras foram de 25°C em uma pressão de 77µmHg.

3.3.2.1 Eficiência de encapsulação (EE) e retenção de β-caroteno (RT).

A eficiência de encapsulação (EE) e a retenção de β-caroteno (RT) foram obtidas pela quantidade de β-caroteno presentes na superfície da micropartícula e totais presentes nas micropartículas do óleo (MARFIL, VASCONCELOS, PONTIERI, & TELIS, 2016).

A quantidade de β-caroteno presente no óleo de buriti foi determinada por Cromatografia Líquida de Alta Performance HPLC/UV. Os saponificáveis e insaponificáveis foram extraídos pelo método Folch. O resíduo de evaporação foi tratado com 100 µL de uma solução alcoólica de NaOH de 1 mol L⁻¹. Posteriormente, foi conduzido para aquecimento em micro-ondas Eletrolux modelo MTO30 por 2 minutos à potência 40. Esse ciclo de aquecimento foi repetido por 4 vezes. Em seguida, realizou-se a extração com 600 µL de acetato de etila e 400 µL de água. O resíduo de evaporação foi injetado no Cromatógrafo a Líquido Shimadzu acoplado com detector UV-Vis modelo SPD-20A, autoamostrador modelo SIL-10AF e duas bombas modelo LC-20AT. A eluição se deu em uma coluna Vp ODS Shimadzu (150 mm x 4,6 mm, 5 µm). Empregou-se eluição isocrática com fluxo de 1,5 mL min⁻¹ com uma fase contendo 90:10:0,5 de acetonitrila, clorofórmio e trietilamina. O volume de injeção foi de 30 µL e o comprimento de onda usado foi de 455 nm (ZAKARIA, 1979).

Para determinar o teor de β-caroteno presentes nas superfícies das micropartículas de Buriti, 50 mg de amostra foram adicionados em 5 mL de clorofórmio em um tubo de ensaio com tampa e centrifugada a 2600 rpm por 1 min (centrifuga Thermo Scientific, modelo 37.520, Alemanha). Após centrifugação, a fase orgânica foi transferida para um balão volumétrico de 10 mL e, em seguida, adicionada mais 3 mL de clorofórmio ao tubo de ensaio, entrifugando-se

novamente por 1 minuto. A fase orgânica foi transferida para o balão volumétrico e o volume completado com clorofórmio. Posteriormente, a determinação de β -caroteno foi realizada pelo método HPLC/UV.

Para determinação do teor de β -caroteno total, 50 mg de micropartículas do óleo de buriti foram dispersas em 15 mL de tampão fosfato 0,05 M (pH 7,4) e agitada por 12 horas. Em seguida, foram adicionados 50 mL de clorofórmio e a mistura foi ultrasonificada por 20 minutos, formando um sistema bifásico. Ambas as fases, aquosa e orgânica, foram separadas por centrifugação (centrifuga Thermo Scientific, modelo 37.520, Alemanha) em 1800 rpm durante 10 minutos, e a fase contendo clorofórmio e o β -caroteno foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL. Em seguida, a determinação de β -caroteno foi realizada pelo método HPLC/UV.

A eficiência da micropartícula (EE) e a retenção de β -caroteno (RT), em porcentagem, foi determinada pelas equações (1) e (2).

$$EE = ((CT - CS) / (CT)) * 100 \quad (1)$$

$$RT = (CT / CI) * 100 \quad (2)$$

Onde CT é a concentração total β -caroteno nas micropartículas, CS é a concentração superficial de β -caroteno nas micropartículas e CI é a concentração inicial de β -caroteno no óleo de buriti.

3.3.2.2 *Tamanho das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta*

O diâmetro médio e o índice de polidispersão (IP) foram determinados pela técnica de espalhamento dinâmico da luz (DLS, do inglês Dynamic Light Scattering), a 25 °C, ângulo de incidência do laser de 173°, através do contador de partículas com raio laser monocromático Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments; Worcestershire, Inglaterra). As formulações liofilizadas foram diluídas 100 vezes em água destilada previamente à leitura (TAMNAK *et al.*, 2016).

3.3.2.3 *Morfologia das micropartículas*

A morfologia das micropartículas foi avaliada pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde as amostras foram fixadas sobre uma fita adesiva dupla-face, pré-fixada a um suporte (stub), com um diâmetro de 1 cm e uma altura de 1 cm, sendo retirado o excesso após a deposição. Posteriormente, foram revestidas com ouro em um metalizador

(Quorum, modelo Q150 ES) e examinadas no microscópio eletrônico de varredura TESCAN (modelo VEGA LMH). O microscópio foi operado a 30 kV com ampliações de 1.000 vezes.

3.3.2.4 *Atividade de água*

A medição da atividade de água foi realizada através da leitura direta da amostra no equipamento Aqualab (modelo 4TE, USA).

3.3.2.5 *Umidade*

O teor de umidade das micropartículas foi determinado pelo método gravimétrico, à temperatura de 105 °C em estufa convencional (AOAC, 2005).

3.3.2.6 *Molhabilidade e solubilidade*

A determinação da solubilidade foi realizada conforme metodologia proposta por Cano-Chauca *et al.* (2005) com algumas modificações. Foi adicionada 20 mL de água deionizada no béquer, em seguida, adicionou-se 0,5 g de micropartículas e a solução foi transferida para um tubo e centrifugada (centrifuga Thermo Scientific, modelo 37.520, Alemanha) a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de petri previamente pesada e submetida a secagem em estufa a 105 °C por 12 horas. O percentual de solubilidade foi calculado pela diferença de massa entre o sobrenadante seco em relação a quantidade de pó adicionado inicialmente.

A molhabilidade das micropartículas foi determinada de acordo metodologia proposta por Fuchs *et al.* (2006). 1 g de pó foi espalhado em um Becker sobre 100 mL de água deionizada a 20 °C, sem agitação. Foi medido o tempo que as micropartículas levaram para sedimentarem, ou seja, o tempo em que as mesmas levaram para desaparecerem da superfície da água.

3.3.2.7 *Espectroscopia de absorção molecular na região do infravermelho com transformada de Fourier*

Foram realizados espectros de absorção na região do infravermelho para os componentes isolados e também para micropartículas liofilizadas formadas por óleo de buriti, inulina e goma arábica nas diferentes proporções. A análise foi feita por um espectrofotômetro FTIR (do inglês Fourier Transform Infrared Spectroscopy) modelo 640-IR (Varian; Califórnia, EUA), equipado com modo de reflectância total atenuada (ATR, Pike Technologies, modelo GladiATR), na região de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução 4 cm^{-1} e 32 acumulações

3.3.2.8 Difração de raios X

A difração de raios X (DRX) foi realizada utilizando o difratômetro RXD-6000 (Shimadzu; Quioto, Japão). Amostras dos materiais sólidos de parede (GA e IN) e das micropartículas de óleo de buriti liofilizadas foram submetidos à análise direta no equipamento. Empregou-se a radiação Cu K α , ($\lambda = 1,540560 \text{ \AA}$) e 2θ variando de 10 a 50°, com velocidade de varredura de $0,06^\circ 2\theta \cdot s^{-1}$.

3.3.2.9 Cor

A análise de determinação da cor foi feita utilizando-se o colorímetro da marca Konica Minolta, modelo CM-5, com iluminante D65, observador a 10°, reflectância especular incluída (RSEX) e o sistema de cor CIELAB (RAMOS; GOMIDE, 2009).

3.3.3 Produção do iogurte

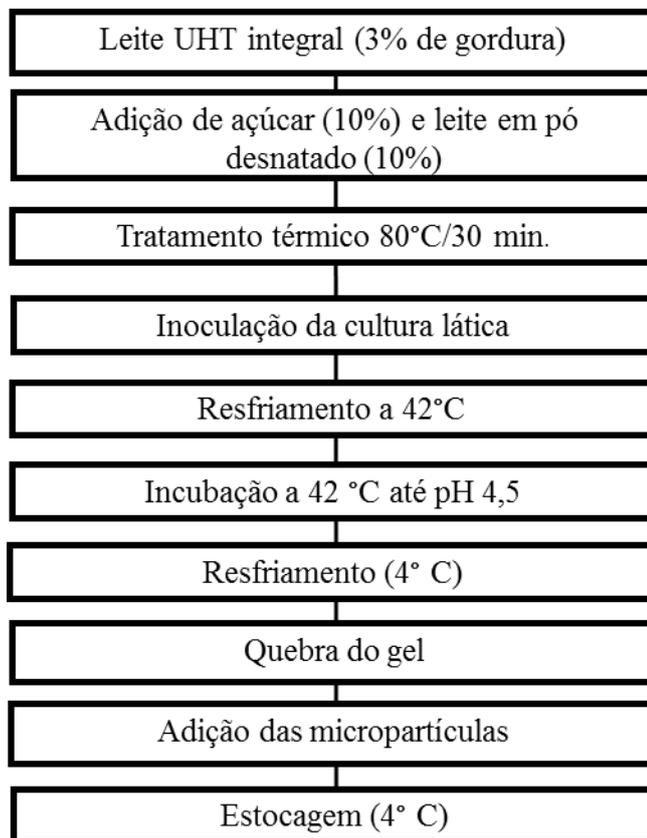
Foram desenvolvidas quatro formulações de iogurte sendo um iogurte padrão sem a adição de micropartícula e três formulações contendo micropartículas (GA25IN75, GA50IN50 e GA75IN25).

A elaboração dos iogurtes foi feita de acordo SILVA *et al.* (2017) (Figura 7), com algumas modificações para inclusão das micropartículas. Para a produção do iogurte, 112 g de leite em pó desnatado e 200 g de sacarose foram adicionados a 2000 mL de leite UHT integral. A mistura foi tratada termicamente à 80 °C por 30 minutos. Após o tratamento, realizou-se o resfriamento à 42°C e a inoculação da cultura láctica (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*). As amostras foram incubadas em estufa à 42 °C até pH 4,5. Posteriormente, as amostras foram resfriadas à 4°C e realizou-se a incorporação das micropartículas (22,55 mg GA25IN75, 17 mg de GA50IN50 e 20,88 mg de GA75IN25). Após a incorporação das micropartículas, as amostras foram mantidas sob refrigeração à 4°C para realização das análises.

A incorporação das micropartículas obedeceu aos requisitos preconizados pela legislação para alegação de alto teor de vitaminas. Segundo a legislação para que o produto tenha alegação de alto conteúdo de vitaminas, o produto deve apresentar uma quantidade mínima de 30% de vitamina da Ingestão Diária Recomendada (IDR) por porção (BRASIL, 2012). Também levou em consideração o teor de β -caroteno da IDR para Adultos (BRASIL, 2005). De acordo com a Resolução nº 269 (BRASIL, 2005), a recomendação diária de ingestão de vitamina A é de 600 μg para adultos, onde cada 1 μg de β -caroteno é equivalente a 0,167 μg

de retinol (BRASIL, 2005). Com base nesta recomendação e na quantidade de β -caroteno encapsulado, 200 g de iogurte terão cerca de 30% do teor de carotenoides necessário para satisfazer a exigência de vitamina A.

Figura 7 - Fluxograma do processamento do iogurte.



Fonte: SILVA *et al.*, (2017). Adaptado.

3.3.4 Caracterização dos iogurtes

3.3.4.1 pH e acidez

A acidez total titulável foi determinada por titulometria com solução padrão de NaOH 0,1 M, (indicador: fenolftaleína a 1,0%) e os resultados expressos em porcentagem de ácido láctico (BRASIL, 2006).

A determinação do pH foi realizada por meio do método eletrométrico, utilizando-se um pHmetro digital (Instituto Adolfo Lutz – IAL, 2008).

3.3.4.2 *Sinérese*

A suscetibilidade do iogurte à sinérese foi determinada usando um método de drenagem, no qual 100 mL do iogurte foi transferido para um funil equipado com filtro Whatmann nº 1. O teste foi realizado a 6 °C. O volume do soro coletado por 2 h foi medido em um cilindro graduado de 100 mL (HASSAN *et al.*, 2010).

3.3.4.3 *Cor*

A determinação da cor dos iogurtes foi realizada utilizando-se o colorímetro da marca Konica Minolta, modelo CM-5, com iluminante D65, observador a 10°, reflectância especular incluída (RSEX) e o sistema de cor CIELAB (RAMOS; GOMIDE, 2009).

3.3.4.4 *Textura*

A análise do perfil de textura, texture perfil analysis (TPA), foi realizada utilizando-se o texturômetro *Stable Micro Systems*, modelo TAX-XT Plus. Foram obtidos os valores dos seguintes parâmetros, descritos por Szczesniak (1963): firmeza: força necessária para produzir uma deformação na amostra; coesividade: extensão a que um material pode ser deformado antes da ruptura; elasticidade: velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada, depois de removida a força; adesividade: energia necessária para superar as forças atrativas entre superfície do alimento e a de outros materiais com as quais o alimento está em contato e gomosidade: energia requerida para desintegrar um alimento até estar pronto para a deglutição. As amostras foram avaliadas em triplicatas, no próprio pote dos iogurtes, que mantiveram mesmo padrão de altura (10 cm). Para os testes foram adotados os parâmetros utilizados por Ramos *et al.* (2009): velocidade pré-teste: 2,0 mm/s; velocidade teste: 2,0 mm/s; velocidade pós teste: 2,0 mm/s; distância: 5 mm; tempo de contato: 5 s; força de contato: 100 g; probe: cilindro metálico de 20,0 mm.

3.3.5 *Análise microbiológica*

As amostras de iogurte foram avaliadas quanto à contagem de coliformes a 30°C/g, coliformes a 45°C/g e Bolores e leveduras/g de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados (BRASIL, 2007). As análises foram realizadas de acordo com a Instrução Normativa nº 62 de 26 de agosto de 2003 (BRASIL, 2003).

3.3.6 Análise sensorial

O projeto de pesquisa foi inscrito na Plataforma Brasil e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri sob o número CAAE: 93577118.1.0000.5108.

Foi empregado um teste de aceitação sensorial com escala hedônica estruturada de nove pontos, cujos extremos correspondem a desgostei extremamente (1) e gostei extremamente (9), conforme Minim (2006) para a avaliação dos atributos aparência, cor, aroma, sabor, textura e impressão global.

O teste descritivo também foi aplicado uma vez que possibilita determinar as características sensoriais perceptíveis e mais importantes para o produto desenvolvido, permitindo assim, descrever o perfil sensorial. Para a descrição dos produtos foi realizado o teste Check-All-That-Apply (CATA), segundo Minim e Silva (2017). Os termos usados no questionário CATA foram retirados de um estudo envolvendo o perfil sensorial de iogurtes comerciais disponíveis no Brasil (Moraes; Bollini, 2010), com algumas adaptações. Foram utilizados os seguintes atributos: aparência (cor branca, cor creme, pontos de cor laranja, aparência viscosa), aroma (aroma de iogurte, aroma ácido, aroma doce), sabor (gosto ácido, doçura, sabor de iogurte) e textura (consistente, homogêneo).

A cada provador foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido autorizando a sua participação voluntária na pesquisa (TCLE). Após a assinatura do TCLE, foram servidos 10g do produto aos provadores em copos descartáveis de 50 mL, codificados com números aleatórios de 3 dígitos, acompanhadas de um copo com água para a limpeza do palato. A apresentação das amostras foi realizada de forma monádica e em blocos completos balanceados (WALKELING; MACFIE, 1995) em cabines individuais.

Os testes foram realizados com 100 provadores não treinados, recrutados dentre discentes e servidores da UFVJM, indivíduos com idade superior a 18 anos.

3.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida de teste de médias (Tukey, $p \leq 0,05$), com auxílio do Programa SAS (SAS *University Edition*).

Para o estudo *check-all-that-apply* (CATA), as frequências de menção de cada palavra foram determinadas pela contagem do número de consumidores que usaram essa palavra para descrever cada iogurte. O teste Q de Cochran foi utilizado para cada um dos termos

para identificar se houve diferença significativa entre as amostras ao nível de significância de 5%. Os termos significativos foram tratados pela Análise de Correspondência (AC). A AC foi realizada a fim de obter uma representação bidimensional das amostras e a relação entre as amostras e termos. Esta análise foi realizada sobre a tabela de frequência (Tabela 13). As análises foram realizadas pelo *software* XLSTAT.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.1 Caracterização das micropartículas de óleo de buriti

Os resultados obtidos na análise de umidade, atividade de água, tamanho, IP e potencial zeta dos tratamentos na produção de micropartículas de óleo de buriti obtidas por liofilização estão dispostos na Tabela 5. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para todas as respostas avaliadas.

Tabela 4 - Caracterização das micropartículas de óleo de buriti em diferentes composições.

Parâmetros	Formulação		
	GA25IN75	GA50IN50	GA75IN25
EE (%)	65,27 ^b ± 1,21	93,32 ^c ± 0,65	75,12 ^a ± 0,39
RT (%)	53,94 ^b ± 0,52	91,65 ^c ± 0,39	68,15 ^a ± 0,27
Tamanho (µm)	6,66 ^a ± 0,19	7,35 ^a ± 0,21	10,57 ^b ± 0,76
IP	0,37 ^b ± 0,11	0,14 ^a ± 0,03	0,18 ^a ± 0,03
Potencial Zeta (mV)	-31,00 ^a ± 2,60	-30,00 ^b ± 1,80	-31,00 ^a ± 5,00
Umidade (%)	4,14 ^a ± 0,04	3,47 ^b ± 0,11	2,21 ^c ± 0,20
Atividade de água (Aw)	0,38 ^c ± 0,16	0,33 ^b ± 0,01	0,27 ^a ± 0,12

Letras diferentes em uma mesma linha significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GA- Goma arábica; IN- Inulina.

4.1.1.1 Eficiência de encapsulação (EE) e retenção de β -caroteno (RT)

Previamente, determinou-se a quantidade de β -caroteno presente no óleo de buriti que foi de 1170 µg de β -caroteno/g de óleo. De acordo Freire *et al.* (2016), o óleo de buriti é uma fonte riquíssima de carotenoides, e estudos realizados por Silva *et al.* (2009), apresentaram valores de carotenoides de 252 a 1890 µg de β -caroteno/g de óleo de buriti. O valor encontrado nesse estudo está de acordo com os dados daquela literatura.

Diante do que foi exposto, pode-se considerar o óleo de buriti uma fonte rica de β -caroteno, uma das principais fontes de provitamina A descoberta na biodiversidade brasileira, pois os níveis de β -caroteno encontrados nos estudos foram superiores aos encontrados em cenouras (54 µg de β -caroteno/g), que é uma fonte reconhecida dessa substância desde 1831 por Weckenroder (MARIATH, LIMA, & SANTOS, 1989).

Observa-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para respostas da eficiência (EE) e retenção (RT) do óleo encapsulado (Tabela 5). O tratamento GA50IN50 apresentou maior valor de eficiência e de retenção. Estes resultados mostram também que a eficiência e retenção do β -caroteno diminuiu com o aumento da quantidade de inulina quando foi adicionada à composição do material da parede, provavelmente devido à sua baixa capacidade de emulsificação. Este resultado é satisfatório, uma vez o emprego de combinações pode ser uma alternativa para diminuir o custo do produto final. O óleo de buriti encapsulado representa uma possibilidade para ampliar o consumo da provitamina A.

4.1.1.2 Tamanho das partículas, índice de polidispersão, potencial zeta

Observou-se que as micropartículas de óleo de buriti GA25IN75 apresentaram tamanho na faixa micrométrica reduzida com diâmetro médio de 6,6 μm em relação as outras formulações e, observou-se que o aumento da quantidade de goma arábica promoveu um aumento significativo no tamanho das partículas comparado com os demais tratamentos.

Fernandes, Borges e Botrel (2014), aos quais produziram micropartículas por *spray drying* com goma arábica e obtiveram tamanhos de 13,5 μm . No mesmo trabalho observaram que a adição de inulina nas formulações resultou em micropartículas de tamanho menor com valor médio igual a 12,1 μm .

A redução da proporção de inulina na formulação resultou na redução do IP. As micropartículas dos tratamentos GA25IN75 e GA50IN50 podem ser consideradas como monodispersas, pois o índice de polidispersão foi baixo ($< 0,3$) (NEMEM, LEMOS-SENNÁ, 2011).

Para todos os tratamentos observou-se potencial zeta negativo próximo de -30 mV, o que está associado à maior repulsão entre as partículas. A goma arábica, tem muitos grupos de ácidos carboxílicos em seu monômero principal (p-D-galactopiranosose de 3,6 posição 6 por cadeias laterais de α -L-arabinofuranose de 3 ligações) que tem um pKa próximo de 3,5 com isso ocorre o desenvolvimento de cargas negativas em todas as faixas de pH (GONÇALVES *et al.*, 2018). Por isso, o potencial zeta de todas as combinações estudadas analisadas neste trabalho foi negativo. O potencial zeta é uma grandeza de carga elétrica na superfície da partícula em meio aquoso, valores entre ± 30 mV que se aproximam de 0 mV indicam instabilidade devido a ausência de cargas (CARNEIRO-DA-CUNHA *et al.*, 2011). Quando os valores do potencial zeta são maiores do que 30 mV ou menores que -30 mV indicam sistemas com menor tendência de aglomeração pois nessa faixa as cargas da superfície do material estudado se repelem e

favorecem a estabilização coloidal (KASPAR, JAKUBEC, STEPANEK, 2013; ESTEVINHO *et al.*, 2014, HOYOS-LEYVA *et al.*, 2018).

Hoyos-Leyva *et al.* (2018) encontraram valor baixo do potencial zeta para o amido de taro mais ácido L-ascórbico (17,85 mV), relatando que uma possível flocculação pode acontecer na dispersão de alimento. Chen *et al.* (2017) microencapsularam β -caroteno pelo processo de liofilização, adicionaram 1% de caseína como emulsificante e maltodextrina como material encapsulante e os autores encontraram potencial zeta igual a -54,5 mV. Os autores associaram o resultado obtido ao emulsificante utilizado e às condições de homogeneização. Assim, acredita-se que as composições empregadas neste estudo apresentaram potencial para que não houvesse agregação das micropartículas, resultando maior estabilidade física e tempo de prateleira.

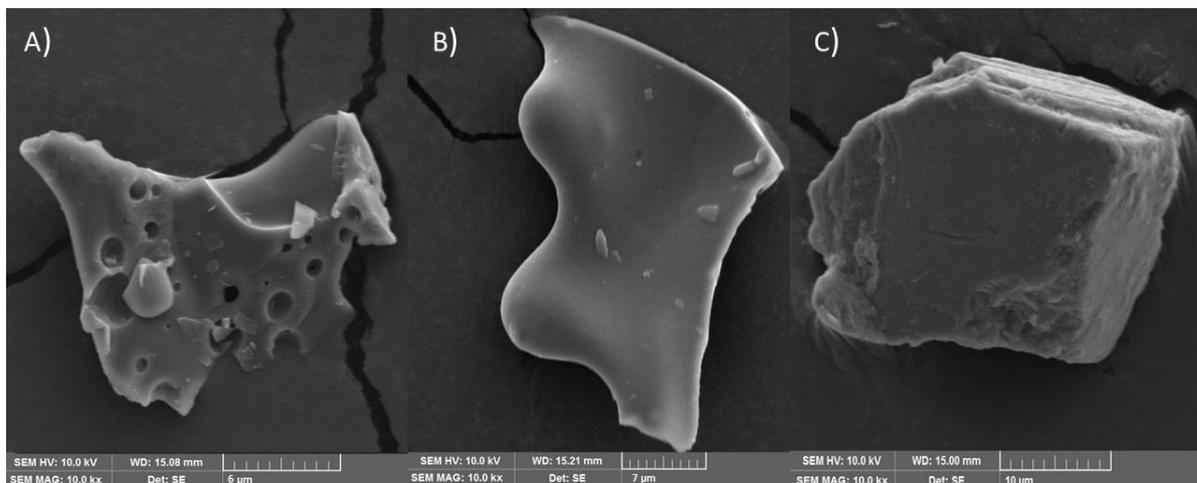
4.1.1.3 Morfologia das micropartículas

As micropartículas liofilizadas de óleo de buriti contendo diferentes proporções de inulina e goma arábica apresentaram formato irregular, sendo amorfas com superfície dentada e tamanhos variáveis, o que pode ser visualizado nas Figuras 8.

Yamashita *et al.* (2017) ao estudar as características morfológicas de micropartículas liofilizadas extrato de subproduto de amora-preta rica em antocianina encontraram características morfológicas parecidas com as estruturas encontradas neste estudo e relataram que essas morfologias se assemelham a uma estrutura de vidro quebrada de tamanhos variáveis, característica comum de micropartículas obtidas pelo processo de liofilização.

Características morfológicas como estruturas irregulares também foram observadas por Che Man; Irwandi; Abdullah (1999), para micropartículas de durião obtidas pelo processo de liofilização, cujo aspecto foi possivelmente justificado pelas condições de operação do processo, visto que, emprega-se vácuo e baixas temperaturas; a elevada pressão sobre as partículas produz formatos indefinidos e de maior tamanho em relação a secagem por atomização.

Figura 8 -Micrografias eletrônicas de varredura das micropartículas de óleo de buriti produzidas por liofilização A: GA75IN25; B: GA50IN50 e C: GA25IN75. Ampliações de 1000 vezes



Fonte: do Autor.

A Figura 8.A apresenta a fotomicrografia de micropartículas de óleo de buriti liofilizadas (GA25IN75) com superfície lisa e algumas fissuras, provavelmente provocada pela proporção dos materiais de parede utilizados associado ao método de microencapsulação empregado. Através da Figura 8.B, foi possível observar que a proporção equivalente de inulina e goma arábica resultou em superfície lisa com poucas fissuras. Fioramonti, Rubiolo e Santiago (2017), caracterizaram microcápsulas de óleo de linhaça liofilizadas obtidas por emulsões multicamadas e observaram que as micropartículas exibiram alta proporção de superfície lisa com algumas fissuras, provavelmente causada pela desestabilização da emulsão durante a etapa de congelamento. O mesmo resultado também foi observado por Rezende, Nogueira e Narain (2018) que estudaram a morfologia de micropartículas liofilizadas de extratos de compostos bioativos obtidos a partir de polpa de acerola.

No entanto, o aumento da quantidade de inulina resultou em superfície rugosa com poucas fissuras (Figura 8.C).

4.1.1.4 Atividade de água e umidade

As micropartículas de óleo de buriti apresentaram valores de atividade de água (A_w) entre 0,27 e 0,38, portanto, todos os tratamentos puderam ser considerados relativamente estáveis contra reações hidrolíticas e enzimáticas e contra o crescimento microbiano, dado que 0,6 é considerado estável para crescimento microbiano (QUEK, CHOK, SWEDLUND, 2007). Os valores de A_w apresentados na Tabela 5 foram menores comparados a estudos que utilizaram a liofilização no processo de microencapsulação; Caliskan e Dirim (2016)

encontraram 0,41 para o extrato liofilizado de sumagre; Rocha-Parra *et al.* (2016) no estudo de vinho tinto encapsulado liofilizado obtiveram A_w igual a 0,58; Yamashita *et al.* (2017) microencapsularam extrato de amora por liofilização e encontraram valores médios de A_w próximos de 0,51 e 0,53.

Observou-se que apenas o tratamento GA75IN25 obteve um valor considerado ótimo de atividade de água, uma vez que valores de atividade de água menores que 0,3 é ideal para alimentos secos, pois garantem a inibição microbiana, diminuição da taxa relativa de reações oxidativas conferindo ao alimento uma vida útil prolongada (BOTREL *et al.*, 2012; QUIRINO LACERDA *et al.*, 2016).

Os valores de umidade encontrados neste estudo variaram de 2, 21 a 4,14 %. A qualidade sensorial e a vida de prateleira de um produto dependem do seu conteúdo de umidade. Altos teores de umidade favorecem adesão e possível oxidação das partículas (SANCHEZ-REINOSO, OSORIO, HERRERA, 2017). Hijo *et al.* (2015) salienta que pós secos usados na indústria de alimentos possuem faixa ideal de 3 a 4 % onde a deterioração por micro-organismos é reduzida.

Castel, Rubiolo e Carrara (2018) encontraram teores de umidade entre 1,16 e 4,37 % em micropartículas de óleo de milho com emprego dos mesmos materiais encapsulantes, corroborando com os resultados obtidos.

O aumento da adição de inulina aumentou significativamente ($p \leq 0,05$) o conteúdo de A_w e o teor de umidade das micropartículas (Tabela 7). Segundo de Barros Fernandez *et al.* (2014), a inulina forma rapidamente uma crosta durante o processo de secagem e esta crosta dificulta a difusão e a evaporação da água.

Os resultados corroboraram com Castel, Rubiolo, Carrara (2018) que estudaram o efeito da adição de inulina e goma arábica como materiais de parede na microencapsulação de óleo de milho por spray drying, e observaram que o aumento da concentração de inulina gerou um aumento da A_w e umidade das micropartículas.

4.1.1.5 Solubilidade e molhabilidade

A solubilidade de produtos em pó é uma característica importante pois, está relacionada com a capacidade dos pós se manterem em solução homogênea com água, sendo um fator importante durante a escolha do encapsulante de produtos microencapsulados (COSTA *et al.*, 2013; CAMPELO *et al.*, 2017a).

Tabela 5 - Propriedades de reconstituição de micropartículas de óleo de buriti obtidas pelo processo de liofilização.

Tratamento	Molhabilidade (s)	Solubilidade (%)
GA75IN25	59 ^a ± 0,02	65,95 ^b ± 0,27
GA50IN50	52 ^b ± 0,02	71,71 ^a ± 0,11
GA25IN75	48 ^c ± 0,01	55,44 ^c ± 0,17

Letras diferentes em uma mesma coluna significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que houve diferença estatística ($p \leq 0,05$) para todos os tratamentos analisados (Tabela 6).

O tratamento GA50IN50 (Tabela 6) apresentou maior valor de solubilidade (71,71%) comparado aos demais tratamentos. Este resultado é satisfatório, uma vez que a goma é um bom encapsulante para retenção de compostos bioativos, mas que apresenta custo inferior ao da inulina, portanto, o emprego da combinação equivalente pode ser uma alternativa para diminuir o custo do produto final.

Costa *et al.* (2013) avaliaram a solubilidade de micropartículas de óleo essencial de orégano, usando goma arábica, maltodextrina e amido como materiais de parede, e os autores obtiveram um valor de solubilidade na faixa de 74,2 a 77,2 %, valores que foram considerados altos e justificados devido aos materiais de parede empregados. Cano-Chauca *et al.* (2005) recomendaram o uso de carboidratos nos processos de microencapsulação, principalmente a goma arábica, quando o objetivo for obter micropartículas com alta capacidade de solubilizar em água.

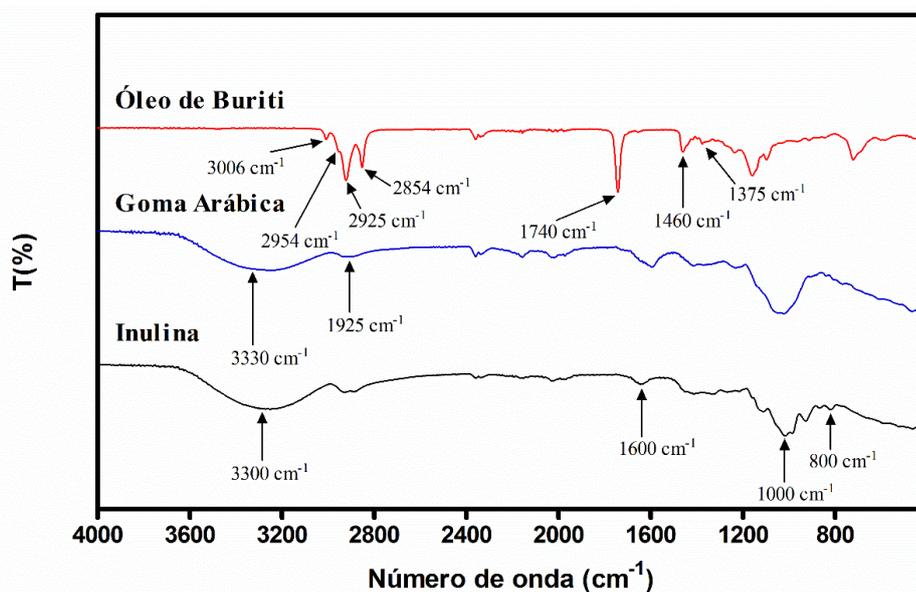
Tonon *et al.* (2013) estudaram a solubilidade de microcápsulas de açaí com goma arábica como material de parede e os autores obtiveram solubilidade de 94,78 %. O açaí possui elevado teor de carboidratos em sua composição, devido a isso o mesmo tende a ser mais solúvel em água em comparação à natureza hidrofóbica do óleo de buriti que dificulta a solubilidade em água.

A molhabilidade das micropartículas de óleo de buriti variou de 48 a 59 segundos, como apresentado na Tabela 6. Os valores encontrados podem ser considerados ótimos para tempo de reconstituição, visto que CHEN; MUJUMDAR, (2008) relatam que os valores ótimos para parâmetros físico-químicos de molhabilidade de alimentos em pó, considerando as exigências da indústria e mercado consumidor, está entre 10 a 60 segundos.

4.1.1.6 ATR-FTIR

Os espectros de absorção em ATR-FTIR de todos os materiais isolados estão dispostos conforme apresentado na Figura 9. Foi observado no óleo de buriti a presença de vários estiramentos de alcanos saturados, presentes na estrutura do óleo: C-H próximo a 2925 cm^{-1} ; a vibração em 3006 cm^{-1} é atribuída como o estiramento do C-H relacionado com a ligação =C-H; estiramento assimétrico de um grupo C-H3 em 2954 cm^{-1} ; estiramento simétrico de CH₂, na banda intensa em 2854 cm^{-1} . Observa-se também a presença do estiramento C=O na região próxima a 1740 cm^{-1} , característico da presença de carbonila do grupamento éster de ácidos graxos. Os picos com sinais moderados e leves em aproximadamente 1460 e 1375 cm^{-1} , indicam fortemente a possível ocorrência de cadeias longas de hidrocarbonetos, características de deformações angulares em forma de tesoura para o grupo C-H₂ que compõem grande parte da estrutura dos ácidos graxos (ALBUQUERQUE, GUEDES, ALCANTARA, & MOREIRA, 2003).

Figura 9 - Espectros de absorção por ATR-FTIR dos componentes isolados.



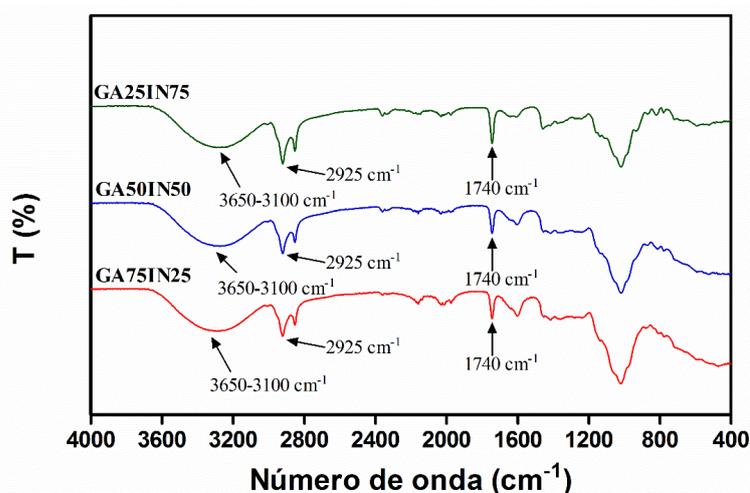
Fonte: do Autor.

Para a goma arábica, observou-se uma banda larga próximo a 3330 cm^{-1} , indicando a presença de grupos amino. Os picos que aparecem com baixa intensidade em aproximadamente 2925 cm^{-1} são característicos de grupos referentes às carboxilas livres carregadas negativamente (SHADDEL *et al.*, 2018). Apesar da semelhança entre os espectros da goma arábica e inulina é possível observar banda em aproximadamente 3300 cm^{-1} no

espectro da inulina, que neste caso se relaciona com grupamentos $-OH$ presentes na estrutura da molécula do polissacarídeo (FERNANDES *et al.*, 2016). Em 1600 cm^{-1} a inulina exibe um estiramento que indica presença de grupo carbonila, o que demonstra que a o polissacarídeo pode estar na sua forma de cadeia aberta (HAUSER-KAWAGUCHI, MILNE, LI, LEE, & LUYT, 2019). A inulina apresenta ainda picos na região entre 800 e 1000 cm^{-1} , característicos de estiramentos C-H (POURFARZAD, AHMADIAN, & HABIBI-NAJAFI, 2018).

Na Figura 10, são apresentados os espectros de absorção por ATR-FTIR das amostras de micropartículas de óleo de buriti liofilizadas, em diferentes proporções dos componentes de parede, mantendo-se a proporção de óleo fixa em 10%. Em todas as amostras, foi observada a banda larga entre $3650-3100\text{ cm}^{-1}$, provavelmente a sobreposição entre o estiramento dos grupos hidroxilas da IN (3300 cm^{-1}) e dos grupamentos amino da GA (também em 3330 cm^{-1}).

Figura 10 - Espectros de absorção no ATR-FTIR das micropartículas de óleo de buriti liofilizadas.



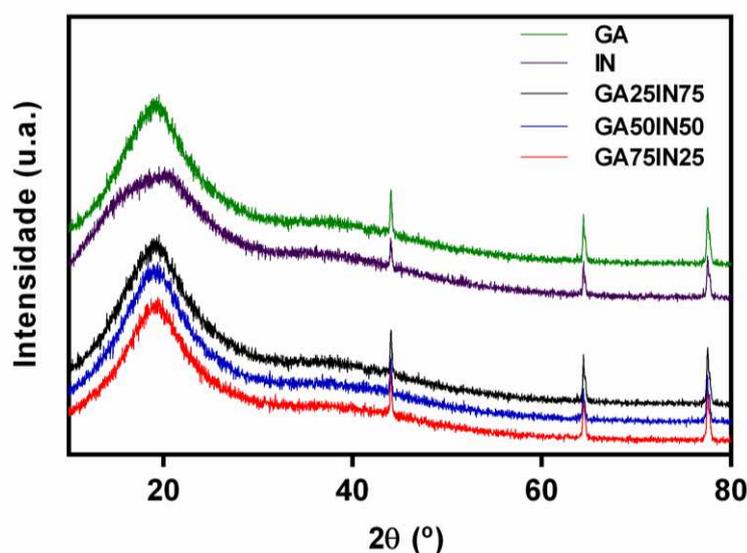
Fonte: do Autor.

Também foram observados os sinais característicos do óleo de buriti, caracterizando a sua incorporação em toda a estrutura da micropartícula. Desta forma, os sinais observados foram de estiramento de alcanos saturados próximo a 2925 cm^{-1} , de carbonilas próximo a 1740 cm^{-1} , confirmando, portanto, a presença dos ácidos graxos do óleo de buriti. Desta forma, pode-se inferir a incorporação do óleo nas micropartículas, dada a sua presença confirmada pelos picos característicos do óleo no espectro de absorção das micropartículas.

4.1.1.7 DRX

Nos difratogramas (Figura 11) obtidos para os materiais de parede isolados (GA e IN), observou-se um perfil amorfo para ambos materiais, caráter não cristalino, com apenas um sinal característico próximo a 20°, previamente relatado, e outros em 44°, 64° e 77° (EISSENS, BOLHUIS, HINRICHS, & FRIJLINK, 2002; XU *et al.*, 2019). Além disso, observou-se o mesmo sinal característico nas micropartículas, também de característica amorfa. Assim, evidencia-se que a incorporação do óleo de buriti nas micropartículas não altera significativamente o caráter amorfo já observado nos materiais isolados.

Figura 11 - Difratograma dos materiais sólidos de parede e das micropartículas de óleo de buriti após liofilização.



Fonte: do Autor.

4.1.1.8 Cor

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c , h) para as três amostras de micropartículas de óleo de buriti analisadas, e os resultados foram avaliados de acordo com a Comissão Internacional de Iluminantes, sistema CIELAB de cores. Observou-se que para o parâmetro L^* não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$ %) entre os tratamentos, indicando que as amostras têm luminosidade clara e que a proporção dos materiais de parede não teve influência neste parâmetro.

Tabela 6 - Cor instrumental das micropartículas de óleo de buriti obtidas por liofilização.

Parâmetros	Formulação		
	GA25IN75	GA50IN50	GA75IN25
L*	80,05 ^a ± 0,12	80,92 ^a ± 0,21	81,94 ^a ± 0,34
a*	12,34 ^a ± 0,42	11,11 ^{ab} ± 0,01	9,90 ^b ± 0,11
b*	54,43 ^a ± 0,19	51,70 ^{ab} ± 0,21	49,32 ^b ± 0,19
C	55,83 ^a ± 0,01	52,88 ^{ab} ± 0,09	50,31 ^b ± 0,23
H	77,32 ^b ± 0,25	77,88 ^{ab} ± 0,81	78,65 ^a ± 0,0

Luminosidade (L*); coordenada a* (conteúdo do vermelho ao verde); coordenada b* (conteúdo do amarelo ao azul); h (tonalidade); c (saturação). Letras diferentes em uma mesma linha significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para a coordenada a* demonstra que todas as micropartículas produzidas tenderam a coloração vermelha, sendo que a amostra com maior teor de inulina obteve maior coloração vermelha que os demais tratamentos. O resultado obtido para a coordenada b* demonstrou que as amostras tenderam a coloração amarela, sendo que os valores diminuíram à medida que se elevou a proporção de goma arábica.

As amostras apresentaram uma tonalidade em torno do ângulo de 77° que corresponde a faixa que compreende a cor amarelo-alaranjado (RAMOS; GOMIDE, 2009). Os valores de h* e c* revelam que o tratamento GA25IN75 apresentou tonalidade mais escura em relação as demais amostras.

A coloração das micropartículas do óleo de buriti para todos os tratamentos pode ser atribuída ao conteúdo de carotenoides presentes, sendo estes pigmentos classificados como natural e de coloração intensa que varia do amarelo ao vermelho (SCHLEMMER *et al.*, 2009). A cor também está relacionada com a proporção do material de parede utilizado, e o tratamento GA50IN50 apresentou coloração igual aos demais tratamentos. Este resultado é satisfatório, uma vez que a goma tem um custo inferior ao da inulina, e o emprego de combinações pode ser uma alternativa para diminuir o custo do produto final.

4.1.2 Caracterização dos iogurtes

4.1.2.1 pH, acidez e sinérese

Na Tabela 8 estão expostos os resultados das análises de pH, acidez titulável e sinérese dos iogurtes com micropartículas de óleo de buriti em diferentes formulações de GA e IN, a 4° C.

Tabela 7 – Valores de pH, acidez titulável e sinérese das formulações de iogurte a 4 °C.

Parâmetros	Tempo de Estocagem (dias)	FORMULAÇÃO			
		Padrão	GA75IN25	GA50IN50	GA25IN75
pH	1	4,60 ^{aA} ± 0,01	4,60 ^{aA} ± 0,01	4,60 ^{aA} ± 0,02	4,58 ^{bA} ± 0,02
	7	4,50 ^{aB} ± 0,02	4,54 ^{aB} ± 0,02	4,53 ^{aB} ± 0,01	4,38 ^{bB} ± 0,02
	14	4,45 ^{aC} ± 0,02	4,44 ^{aC} ± 0,01	4,44 ^{aC} ± 0,03	4,14 ^{bC} ± 0,01
Acidez Titulável (% de ácido láctico)	1	1,11 ^{bB} ± 0,02	1,12 ^{bB} ± 0,03	1,12 ^{bB} ± 0,03	1,21 ^{aB} ± 0,03
	7	1,13 ^{bA} ± 0,02	1,14 ^{bB} ± 0,01	1,13 ^{bB} ± 0,01	1,26 ^{aA} ± 0,02
	14	1,17 ^{bA} ± 0,03	1,18 ^{bA} ± 0,03	1,18 ^{bA} ± 0,02	1,28 ^{aA} ± 0,02
Sinérese (mL 100g produto ⁻¹)	1	24,25 ^{aC} ± 1,63	22,91 ^{aC} ± 0,61	25,17 ^{aC} ± 1,75	22,98 ^{aC} ± 2,55
	7	27,47 ^{aB} ± 0,10	26,99 ^{aB} ± 1,12	27,20 ^{aB} ± 1,24	27,00 ^{aB} ± 1,29
	14	33,48 ^{aA} ± 2,55	35,94 ^{aA} ± 0,42	35,59 ^{aA} ± 1,14	34,87 ^{aA} ± 0,45

*Médias ± desvio padrão. Médias na mesma linha acompanhadas de letras minúsculas distintas indicam diferenças a $p \leq 0,05$ entre as formulações de iogurte para o mesmo dia de estocagem. Médias na mesma coluna acompanhadas de letras maiúsculas distintas indicam diferenças a $p \leq 0,05$ para cada formulação pelo tempo de armazenamento. GA- Goma arábica; IN- Inulina.

A formulação do iogurte adicionado de micropartículas de óleo de buriti com GA25IN75 exibiu menores valores de pH e maiores valores de acidez titulável ($p \leq 0,05$) do que as demais formulações (Padrão, GA75IN25, GA50IN50), as quais não diferiram estatisticamente entre si ($p \geq 0,05$). Observou-se que o aumento do teor de goma arábica na composição da micropartícula não influenciou o pH e a acidez dos iogurtes, no entanto a formulação contendo 75% de inulina na composição da micropartícula aumentou o teor de acidez e pH do iogurte.

Portanto, o tratamento GA25IN75 do presente estudo apresentou maior valor de pH e acidez. Os valores de acidez para as formulações de iogurte variaram de 1,11 a 1,28. Estes valores encontram em conformidade com os padrões estabelecidos pela Instrução normativa N° 46 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007), na

qual estabele uma acidez para iogurte na faixa de 0,6 g de ácido láctico/100 g de produto a 1,5 g de ácido láctico/100 g de produto.

Durante o período de armazenamento, para todas as formulações de iogurte analisadas houve aumento da acidez (apresentando maiores valores de acidez titulável e menores valores de pH) independentemente da formulação do iogurte. No entanto, a composição das micropartículas não teve efeito significativo durante o período de estocagem ($p \geq 0,05$). Pinto *et al.* (2019) obteve resultado similar para a produção de iogurte ao estilo grego sem lactose com micropartículas produzidas com goma arábica e inulina.

O aumento da acidez de iogurte durante o armazenamento é o resultado da pós-acidificação dos produtos que ocorre devido a continuidade do processo fermentativo pelas bactérias ácido-láticas, que produz ácido láctico e continuam a crescer em pH entre 4,0 e 4,4 (APORTELA-PALACIOS; SOSA-MORALES; VÉLEZ-RUIZ, 2005).

A adição de micropartículas nas formulações de iogurte não alterou a sinérese, uma vez que não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p \geq 0,05$). A sinérese é um dos principais defeitos encontrados em iogurtes, que representa um importante parâmetro de qualidade e aceitabilidade pelos consumidores (PIMENTEL, 2012). Resultados semelhantes foram encontrados por Mazloomi *et al.* (2011) no estudo do efeito da adição de inulina nas propriedades microbianas e físico-químicas do iogurte probiótico com baixo teor de gordura. Ocorreu um aumento do teor de sinérese ($p \leq 0,05$) durante o período de armazenamento dos iogurtes formulados, podendo estar relacionado a diminuição do pH durante o período de estocagem (PIMENTEL, 2012), na qual provoca a contração da matriz micelar de caseína, e aumenta a expulsão do soro (ACHANTA; ARYANA; BOENECKE, 2007). Para Aportela-Palacios, Sosa-Morales e Vélez-Ruiz (2005), os valores de sinérese considerados como satisfatórios encontram-se abaixo de 39%, e de acordo com os valores médios obtidos neste estudo (22,91 a 35,59%).

4.1.2.2 Cor

Os resultados obtidos dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c , h) para as amostras de iogurte estão dispostos na Tabela 9.

Observou-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para todos os parâmetros entre o iogurte padrão com os iogurtes que foram adicionados de micropartículas. Para todos os parâmetros analisados a proporção de material de parede não influenciou a coloração do iogurte. A diferença de coloração em relação ao iogurte padrão é devido ao teor de carotenoides

presente, como o teor de carotenoide adicionado nas formulações de iogurte foram iguais, não houve diferença em relação a coloração.

Em relação ao parâmetro luminosidade (L^*), o iogurte padrão apresentou-se mais claro que as demais formulações.

O resultado obtido para a coordenada b^* demonstrou que as amostras apresentaram maior reflexão associada à cor amarela, os iogurtes com micropartículas apresentaram maior valor para esse parâmetro.

Tabela 8 - Cor instrumental das formulações de iogurte com micropartículas de óleo de buriti.

Parâmetros	FORMULAÇÃO			
	Padrão	GA25IN75	GA50IN50	GA75IN25
L^*	91,00 ^a ± 0,13	86,72 ^b ± 0,21	86,63 ^b ± 0,11	87,06 ^b ± 0,16
a^*	-0,48 ^b ± 0,12	3,71 ^a ± 0,02	3,28 ^a ± 0,21	3,49 ^a ± 0,15
b^*	13,58 ^b ± 0,19	17,61 ^a ± 0,02	17,36 ^a ± 0,23	17,12 ^a ± 0,19
c	13,58 ^b ± 0,01	18,00 ^a ± 0,21	17,67 ^a ± 0,02	17,50 ^a ± 0,23
h	92,03 ^a ± 0,25	78,06 ^b ± 0,16	79,29 ^b ± 0,08	78,49 ^b ± 0,03

Luminosidade (L^*); coordenada a^* (conteúdo do vermelho ao verde); coordenada b^* (conteúdo do amarelo ao azul); h (tonalidade); c (saturação). Letras diferentes em uma mesma linha significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GA- Goma arábica; IN-Inulina.

Os iogurtes contendo micropartículas apresentaram uma tonalidade em torno do ângulo de 78° que corresponde a faixa que compreende a cor amarelo-alaranjado e para o iogurte padrão uma tonalidade em torno do ângulo de 90° que corresponde a cor amarela (RAMOS; GOMIDE, 2009). Os valores de h^* e c^* revelam que o tratamento GA25IN75, GA50IN50 e GA75IN25 apresentaram tonalidade e saturação mais escuras em relação ao iogurte padrão.

A coloração dos iogurtes contendo micropartículas do óleo de buriti pode ser atribuída ao conteúdo de carotenoides presentes, pois estes pigmentos possuem coloração intensa que varia do amarelo ao vermelho (SCHLEMMER *et al.*, 2009).

4.1.2.3 Textura

Na Tabela 10 estão apresentados os parâmetros de textura (firmeza, adesividade, coesividade e elasticidade) para as quatro formulações de iogurte. Observa-se que a adição de micropartículas contribuiu para um aumento da firmeza e adesividade do iogurte e não teve diferença significativa ($P \geq 0,05$) nos valores de coesividade para as formulações com micropartículas.

Estudo realizado por Pinto *et al.*, (2019), obteve comportamento semelhante para os parâmetros de firmeza, adesividade e coesividade do iogurte com a adição de micropartículas probióticas de inulina e goma arábica.

O aumento dos valores de firmeza dos iogurtes contendo micropartículas pode ser devido ao maior teor de sólidos totais, resultante da incorporação das micropartículas. Além dos sólidos totais, a presença de goma arábica e a inulina na formulação das micropartículas também contribui para maior firmeza e adesividade dos iogurtes (Pinto *et al.*, 2019). De acordo com Gyawali e Ibrahim (2016), a goma arábica é um bom estabilizante, porque tem grupos hidrofóbicos que atua como pontos de ligação, bem como a presença de grupos hidrofílicos que reduzem a superfície de tensão na interface líquido-líquido. Esses autores também afirmam que a inulina é capaz de atuar como estabilizador, imobilizando as moléculas de água na matriz alimentar e melhorando a textura geral dos iogurtes.

Tabela 9 – Textura instrumental das formulações de iogurte.

Parâmetro	Formulação			
	Padrão	GA75IN25	GA50IN50	GA25IN75
Firmeza (g) ²	136,51 ^d ± 0,81	168,25 ^a ± 0,91	163,62 ^b ± 0,95	149,13 ^c ± 0,66
Adesividade (g.s) ²	-61,50 ^d ± 0,21	-22,76 ^a ± 0,14	-36,4 ^b ± 0,13	-51,97 ^c ± 0,23
Coesividade	0,46 ^b ± 0,02	0,59 ^a ± 0,06	0,57 ^a ± 0,01	0,58 ^a ± 0,08
Elasticidade	0,93 ^b ± 0,03	0,94 ^b ± 0,02	0,96 ^b ± 0,01	1,8 ^a ± 0,01
Gomosidade (g.s)	0,12 ^a ± 0,01	0,13 ^a ± 0,01	0,13 ^a ± 0,01	0,13 ^a ± 0,01

Letras diferentes em uma mesma linha significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GA- Goma arábica; IN- Inulina.

Observa que a formulação GA25I75 foi a que apresentou maior valor de elasticidade. De acordo Pons e Fiszman (1996), valores próximos a 1 referem-se a produtos elásticos. Isso demonstra que a utilização de micropartículas com 25% de goma arábica e 75% de inulina, afetou a elasticidade do produto, resultando em um iogurte com maior elasticidade.

O parâmetro gomosidade não sofreu influência com a adição das micropartículas ($P \geq 0,05$).

4.1.2.4 Análise microbiológica

A análise de fungos, leveduras e de coliformes a 35° e 45° para todas as amostras de iogurte constatou que não houve crescimento desses micro-organismos, estando de acordo com o estabelecido pela legislação (BRASIL, 2003) (Tabela 11). É importante realizar a contagem de fungos em alimentos, principalmente o iogurte, pois estes micro-organismos em

contagem elevadas, que esteja fora do estabelecido pela legislação podem produzir micotoxinas, além de acelerar a deterioração do alimento. Contagem elevadas de micro-organismos também indicam condições precárias de operações de processamento e armazenamento dos alimentos (SOUZA *et al.*, 2017).

Tabela 10 - Contagem de micro-organismos (UFC/mL) nas amostras de iogurtes.

Amostra	Contagem de Bolores e Leveduras (UFC/mL) *	Contagem de coliformes a 35 °C (UFC/mL) *	Contagem de coliformes a 45 °C (UFC/mL) *
Padrão	< 10 ⁰	< 10 ⁰	< 10 ⁰
GA75IN25	< 10 ⁰	< 10 ⁰	< 10 ⁰
GA50IN50	< 10 ⁰	< 10 ⁰	< 10 ⁰
GA25IN75	< 10 ⁰	< 10 ⁰	< 10 ⁰

Fonte: do Autor.

4.1.2.5 Análise sensorial

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios das notas atribuídas pelos provadores para os atributos cor, aroma, sabor, textura e impressão global para as quatro formulações de iogurte.

Tabela 11 - Médias das notas atribuídas pelos provadores para os atributos cor, textura, sabor e impressão global dos iogurtes com micropartículas de óleo de buriti em diferentes formulações de GA e IN.

Parâmetro	Formulação			
	Padrão	GA75IN25	GA50IN50	GA25IN75
Cor	6,39 ^c ± 0,11	7,42 ^b ± 0,11	8,39 ^a ± 0,15	7,69 ^b ± 0,76
Aroma	6,02 ^c ± 0,04	7,85 ^b ± 0,11	8,37 ^a ± 0,03	7,78 ^b ± 0,03
Sabor	6,53 ^c ± 0,07	7,72 ^b ± 0,60	8,50 ^a ± 0,80	7,84 ^b ± 0,01
Textura	7,15 ^c ± 0,06	8,14 ^b ± 0,04	8,69 ^a ± 0,11	3,82 ^d ± 0,20
Impressão Global	6,92 ^c ± 0,12	8,02 ^b ± 0,16	8,72 ^a ± 0,81	7,06 ^c ± 0,04

*Letras diferentes em uma mesma linha significam diferenças estatísticas para um mesmo parâmetro em amostras diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GA- Goma arábica; IN- Inulina.

Conforme as notas médias obtidas verificou-se que o iogurte GA50IN50 obteve maior aceitabilidade em todos os atributos avaliados, diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) de todas as outras amostras de iogurte, apresentando notas entre 8 e 9, o que corresponde na escala hedônica às categorias “gostei muito” e “gostei extremamente”. Em contrapartida, o iogurte padrão sem adição de micropartículas obteve os menores valores hedônicos para os parâmetros

cor, aroma, sabor e impressão global, nos quais as médias variaram de 6,02 (gostei ligeiramente) a 7,15 (gostei moderadamente).

Em relação ao parâmetro textura, a amostra de iogurte GA25IN75 apresentou baixa aceitabilidade uma vez que a nota atribuída pelos provadores obteve valor médio de 3,82, a qual corresponde, à classificação “desgostei moderadamente”. Essa diferença na textura pode ser atribuída a maior quantidade de inulina presente na micropartícula. El-Negar e colaboradores (2002) observaram que à medida que se aumentava a concentração de inulina em sorvete de iogurte a viscosidade do produto aumentava gradativamente.

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados do teste Q de Cochran para o estudo CATA, o qual indicou que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras para todos os atributos avaliados.

Tabela 12 - Frequência de escolha de cada atributo por amostra e resultado do teste Q de Cochran para o questionário CATA.

Atributo	Amostras				p-valor
	PADRÃO	GA75IN25	GA50IN50	GA25IN75	
Aparência viscosa	4	13	11	84	<0,0001
Aroma ácido	67	87	37	88	<0,0001
Aroma doce	7	20	31	48	<0,0001
Cor branca	99	1	0	3	<0,0001
Cor creme	0	99	100	97	<0,0001
Doçura	25	21	15	76	<0,0001
Gosto ácido	42	22	14	77	<0,0001
Homogêneo	99	79	86	65	<0,0001
Pontos laranja	0	13	14	10	<0,0001
Sabor iogurte	100	91	99	72	<0,0001
Textura consistente	100	99	100	13	<0,0001

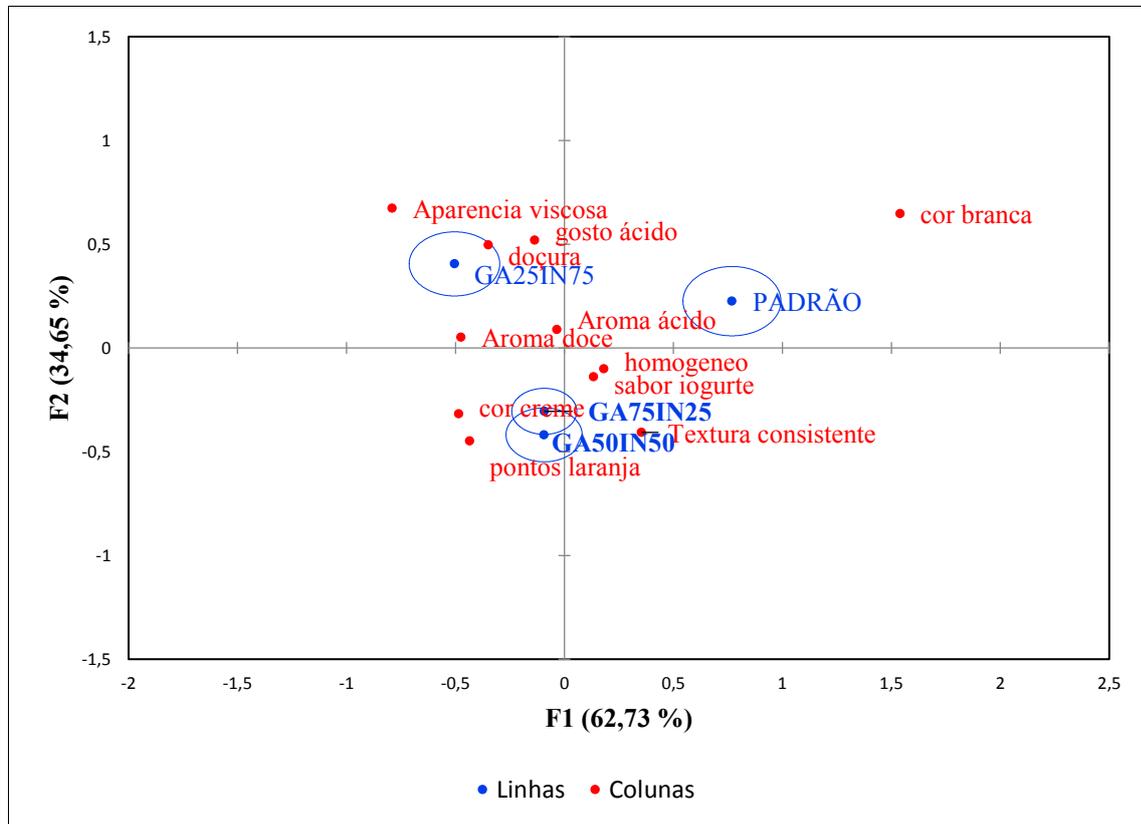
* Para p-valor maior que o nível de significância alfa = 0,05 indica que não há diferença significativa.

Os termos significativos ($p \leq 0,05$) foram tratados pela Análise de Correspondência (AC). Para o questionário CATA aplicado, a primeira e a segunda dimensão da Análise de Correspondência foram responsáveis por 97,39 % da variância dos dados experimentais, sendo 34,65 % e 62,73%, respectivamente (Figura 12).

O gráfico obtido por intermédio da Análise de Correspondência, evidencia a diferenciação entre as amostras. Os consumidores descreveram a amostra padrão como o iogurte que apresentou coloração branca, aparência homogênea, sabor de iogurte e textura consistente.

As amostras GA75IN25 e GA50IN50 foram caracterizadas por apresentar cor creme, pontos laranja, sabor de iogurte e textura consistente.

Figura 12 - Representação das amostras e dos termos na primeira e segunda dimensão da Análise de Correspondência da tabela de frequência do questionário CATA.



Fonte: do Autor.

A amostra GA25IN75, caracterizou-se conforme os consumidores, pela aparência viscosa, gosto ácido, doçura e aroma doce. A amostra de iogurte GA25IN75 obteve menor média de aceitação para o atributo textura (Tabela 12), indicando que a proporção dos materiais de parede utilizados na micropartícula não foi aceita pelos provadores, por resultar em um produto com características sensoriais de aparência viscosa, o que foi comprovado na análise de textura instrumental, na qual a amostra apresentou maior valor de elasticidade (Tabela 10). Em contrapartida, a amostra GA50IN50 obteve a maior aceitação em todos os atributos avaliados, indicando que os provadores preferiram um iogurte com coloração creme, sabor de iogurte e textura consistente. O que nos leva a inferir a preferência por um produto consistente, porém não muito viscoso.

A adição de micropartículas de óleo de buriti promoveu uma maior aceitação do produto em comparação com a amostra padrão para os atributos cor, aroma, sabor, e impressão global. Por intermédio do teste CATA, foi possível detectar as diferenças nas características sensoriais dos iogurtes com micropartículas, os atributos comuns foram: coloração creme, sabor de iogurte e pontos laranja.

A coloração creme e a presença de pontos laranja nos iogurtes contendo micropartícula, é resultante do teor de carotenoides presente na micropartícula. Apesar dos provadores terem detectado a presença de pontos laranja, a presença destes pontos não foi significativa pois, foram menos de 15% dos proadores que conseguiram identificar e isto não contribuiu para diminuir a aceitação das amostras.

Li *et al.*, (2019) relata que iogurtes suplementados com inulina aumentaram a viscosidade com o aumento da quantidade de inulina, a inulina de cadeia longa pode atuar como substituto de gordura ou modificador de textura devido à sua fraca solubilidade e boa estabilidade de viscosidade. O aumento da viscosidade pode ser explicado pelas interações dos componentes líquidos do iogurte. A inulina por ser altamente higroscópica, liga a água e forma uma rede semelhante a um gel (EL-NAGAR *et al.*, 2002).

Moraes & Bollini (2010), ressalta que as características sensoriais como doçura e homogeneidade contribuiu de forma positiva para a aceitação sensorial de iogurtes, enquanto as características, presença de bolhas, viscosidade, doçura residual, amargo residual e consistência contribuem de forma negativa.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos, o tratamento GA50IN50 apresentou maiores valores de eficiência e retenção do β -caroteno, baixa atividade de água e elevado valor de solubilidade e molhabilidade.

O tratamento GA50IN50 do iogurte contendo micropartículas de óleo de buriti como fonte de β -caroteno obteve maior aceitabilidade sensorial para todos os parâmetros (cor creme, sabor de iogurte, pontos laranja e textura consistente) avaliados pelos provadores e analisados através do teste CATA.

Finalmente, a combinação em proporções equiparais de IN e GA de micropartículas de óleo de buriti liofilizados pode ser uma alternativa viável para aplicação como ingredientes para elaboração de iogurte ou ainda da possível adição em outros alimentos.

REFERÊNCIAS

ACHANTA, K. Æ, K. J. A.; BOENEKE, C. A.). Fat free plain set yogurts fortified with various minerals. **LTW**, v.40, p.424–429, 2007.

AL-ASSAFA, S.; PHILLIPS, G. O.; AOKIA, H.; SASAKI, Y. Characterization and properties of Acacia senegal (L.) Willd. var. senegal with enhanced properties (Acacia (sen) SUPER GUM™): Part 1-Controlled maturation of Acacia Senegal var. senegal to increase viscoelasticity, produce a hydrogel form and convert a poor into a good emulsifier. **Food Hydrocolloids**. 21, 319-328, 2007.

ALBUQUERQUE, M. L. S. *et al.* Characterization of buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil by absorption and emission spectroscopies. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 16, n. 6A, p. 1113-1117, 2005.

ALBUQUERQUE, M. L. S.; GUEDES, I.; ALCANTARA, P.; MOREIRA, S. G. C. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. **Vibrational Spectroscopy**, v. 33, n.2, p.127–131. 2003.

AMBRÓSIO, C. L. B.; SIQUEIRA CAMPOS, F. A. C.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Revista de Nutrição*, v. 19, n. 2, p. 233-243, 2006.

AOAC Association of Official Analytical Chemists. *Approved Methods*, 11th ed., St. Paul: AOAC, 2009.

AOAC Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis*. 16^a ed., 3^a rev. Gaithersburg: Published by AOAC International, v.2, cap. 32, p.1-43. 1997.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis*. 18. ed. Gaithersburg, Maryland, EUA. 2005.

APOLINARIO, A. C.; LIMA DAMASCENO, B. P.; MACEDO BELTRAO, N. E.; PESSOA, A.; CONVERTI, A.; SILVA, J. A. Inulin-type fructans: a review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. **Carbohydrate Polymery**, v.101, p.368-378, 2014.

APORTELA-PALACIOS, M.E.; SOSA-MORALES J.F. VÉLEZ-RUIZ; Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium. **Journal of Texture Studies**, v.36, p.333–349, 2005.

AQUINO J. S.; SOARES, J. K. B.; MAGNANI, M.; STAMFORD, T. C. M.; MASCARENHAS, R. J.; TAVARES, R. L, STAMFORD, T. L. M. Effects of dietary brazilian palm oil (*Mauritia flexuosa* L.) on cholesterol profile and vitamin A and E status of rats. **Molecules**, v. 20, p. 9054–9070. 2015.

AQUINO, J. S.; PESSOA, D. C. N. D.; OLIVEIRA, C. E. V.; CAVALHEIRO, J. O.; STAMFORD, T. L. M. Making cookies with buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.): an alternative source of dietary vitamin A in school meals. **Revista de Nutrição**. v. 25, p. 765–74. 2012b.

- AQUINO, J. S.; PESSOA, D.C. N. D.; OLIVEIRA, C. E. V, CAVALHEIRO, J. M. O.; STAMFORD, T. L. M. Making cookies with buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.): an alternative source of dietary vitamin A in school meals. **Revista Nutrição** 25:765–74. 2012a.
- ASCHERI, D. P.R.; MARQUEZ, M. O.M.; MARTUCCI, E. T. Microencapsulação de óleo essencial de laranja: Seleção de material de parede. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, v. 23, p.1-6, 2003.
- AZEREDO, H. M. C. de. Encapsulação: aplicação à tecnologia de Alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v.16, n.1, p.89-97, 2005.
- BAKRY, A. M.; FANG, Z.; NI, Y.; CHENG, H.; CHEN, Y. Q.; LIANG, L. Stability of tuna oil and tuna oil/peppermint oil blend microencapsulated using whey protein isolate in combination with carboxymethyl cellulose or pullulan. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 559-571. 2016.
- BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, v.237, p.623–631, 2017.
- BARBOSA, F.H.F.; SILVA, A.M.; BARBOSA, L.P.J.D.L.; NICOLI, J.R. O Gênero *Bifidobacterium*: dominância à favor da vida. **Ciência Equatorial**, v. 1, n. 2, 2012.
- BARRETO, A. R.; RAMÍREZ-MÉRIDA, L.G.; ETCHEPARE, M. A.; LOPES, E. J.; MENEZES, C. R. Materiais de revestimento utilizados na microencapsulação de probióticos. **Ciência e Natura**, v.37, p.164-174, 2015.
- BARROS F. R. V., ALVARENGA, B.A.D; SILVA, E. K., VILELA BORGES, S., RODRIGUES DE OLIVEIRA, C., YOSHIDAD, M. I., ... MONTEIRO DE PAULA, R. C. Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v.153, p.133–142, 2016.
- BECKER, F. S; DAMIANI, C; MACHADO, A. A. M; BORGES, P. R. S; VILAS, E.V.B. Incorporation of buriti endocarp flour in gluten-free whole cookies as potential source of dietary fiber. **Plant Foods Hum Nutri**, v.69, p.344–50, 2014.
- BEIRÃO-DA-COSTA, S.; DUARTE, C.; BOURBON, A. I.; PINHEIRO, A. C.; JANUÁRIO, M. I.N.; VICENTE, A. A.; BEIRÃO-DA-COSTA, M. L.; DELGADILLO, I. Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of Oregano essential oil. **Food Hydrocolloids**, v.33, p.199 – 206, 2013.
- BÖGER, B. R.; GEORGETTI, S. R.; KUROZAWA, L. E. Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. **Food Science and Technology**, v.38, n.2, p.263–270, 2018.
- BOLINI, H.M.A.; MORAES, P. Tese mostra que análise sensorial incrementaria produção de iogurte. **Jornal da UNICAMP**, v. 253, n.1 ,p. 24-30, 2004.
- BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. B.; VIANA, A. D.; COSTA, J. M. G.; MARQUE, G. R. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 2289–2296, 2012.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, 12 de novembro de 2012. Disponível em: 1. Acesso em: 28 jun. 2019.

BRASIL, RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. “Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar”. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, 12 de novembro de 2012. Disponível em:
http://portal.anvisa.gov.br/documents/%2033880/2568070/rdc0054_12_11_2012.pdf/c5ac23fd-974e-4f2c-9fbc-48f7e0a31864. Acesso em: 27 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria nº 46, de 23 de novembro de 2007. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 24 de outubro de 2007, Seção 1, pág. 4, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa número 68, de 12 de dezembro de 2006. Estabelece métodos analíticos físico-químicos oficiais para leite e produtos lácteos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2006.

BRASIL. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. "Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (idr) de proteína, vitaminas e minerais" **Diário Oficial da União**, Poder executivo, de 22 de setembro de 2005. Disponível em:
http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379969/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-243-de-26-de-julho-de-2018-34379917. Acesso em: 27 jun. 2019.

BRITO-OLIVEIRA, T. C.; MOLINA, C. V.; NETTO, F. M.; PINHO, S. C. Encapsulation of Beta-carotene in Lipid Microparticles Stabilized with Hydrolyzed Soy Protein Isolate: Production Parameters, Alpha-tocopherol Coencapsulation and Stability Under Stress Conditions. **Journal of Food Science**, v.82, n.3, p.659–669, 2017.

C. SAENZ.; S. TAPIA, J. CHAVEZ.; P. ROBERT. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*), **Food Chemistry**, v.14, p. 616-622, 2009.

CALISKAN, G; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v.287, p.308-314, 2016.

CALVO, P.; HERNÁNDEZ, T.; LOZANO, M.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Microencapsulation of extra-virgin olive oil by spray-drying: Influence of wall material and olive quality. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, p. 852–858, 2010.

CAMPELO, P. H.; FIGUEIREDO, J. DE A.; DOMINGUES, R. Z.; FERNANDES, R. V. DE B.; BOTREL, D. A.; & BORGES, S. V. Use of prebiotic carbohydrate as wall material on lime essential oil microparticles. **Journal of Microencapsulation**, v. 34, p. 535–544. 2017b.

CAMPELO, P. H.; SOUZA, H. J. B.; FIGUEREDO, J. A.; FERNANDES, R. V. B.; BOTREL, D. A.; OLIVEIRA, C. R.; YOSHIDA, M. A.; BORGES, S.V. Prebiotic

Carbohydrates: Effect on Reconstitution, Storage, Release, and Antioxidant Properties of Lime Essential Oil Microparticles. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p.445–453. 2017a.

CANO-CHAUCA, M.; STRNGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effects of the carries on the microestructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, p. 420-428, 2005.

CANUTO, G. A. B; XAVIER, A. A. O; NEVES, L. C; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n.4, p.1196–1205, 2010.

CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G., CERQUEIRA, M. A., SOUZA, B. W. S., TEIXEIRA, J. A., & VICENTE, A. A. Influence of concentration, ionic strength and pH on zeta potential and mean hydrodynamic diameter of edible polysaccharide solutions envisaged for multianolayered films production. **Carbohydrate Polymers**, v. 85, n. 3, p. 522-528, 2011.

CASTEL, V.; RUBIOLO, A.C.; CARRARA, C. R. Brea gum as wall material in the microencapsulation of corn oil by spray drying: Effect of inulin addition. **Food Research International**, v. 103, p. 76–83, 2018.

CASTRO, F. P.; CUNHA, T. M.; BARRETO, P. L. M.; AMBONI, R. D. D. M. C.; PRUDÊNCIO, E. S. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. **International Journal of Dairy Technology**, v.62, p.68-74, 2009.

CHE MAN, Y.; IRWANDI, J.; & ABDULLAH, W. Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, n.8, p.1075–1080, 1999.

CHEN, J.; LI, F. LI. Z.; CLEMENTS, D. J.; XIAO, H. Encapsulation of carotenoids in emulsion-based delivery systems: Enhancement of b-carotene water-dispersibility and chemical stability. **Food Hydrocolloids**, v. 69, p. 49-55. 2017.

CHEN, Q.; ZHONG, F.; WEN, J.; MCGILLIVRAY, D.; QUEK, S. Y. Properties and Stability of Spray-Dried and Freeze-Dried Microcapsules Co-Encapsulated with Fish Oil, Phytosterol Esters, and Limonene. **Drying Technology**, v.31, n.6, p.707–716, 2013.

CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying Techonlgies in Food**. Blackwell Publishing Ltd., v. 43, n.12, p. 113-159. 2008.

CORDEIRO, L. M; ALMEIDA, C. P; IACOMINI, M. Unusual linear polysaccharides:(1→5)- α -lArabinan (1→3)-(1→4)- α -d-glucan and (1→4)- β -d-xylan from pulp of buriti (*Mauritia flexuosa*), an edible palm fruit from the Amazon region. **Food Chem**, v.173, p.141–146, 2015.

COSTA, J. M. G.; BORGES, S. V.; HIJO, A. A. C. T.; SILVA, E. K.; MARQUES, G. R.; CIRILLO, M. A.; AZEVEDO, V. M. Matrix structure selection in the microparticles of essential oil oregano produced by spray dryer. **Journal of Microencapsulation**, v. 30, n. 8, p. 717-727. 2013.

COSTA, J. M. G.; SILVA, E. K.; HIJO, A. A. C. T.; AZEVEDO, V. M.; MALTA M. R.; ALVES, J. G. L. F.; BORGES, S. V. Microencapsulation of Swiss cheese bioaroma by spray-

drying: Process optimization and characterization of particles. **Powder Technology**, v. 274, p. 296304. 2015.

CUI, M.; MAO, L., LU, Y.; YUAN, F.; & GAO, Y. Effect of monoglyceride content on the solubility and chemical stability of β -carotene in organogels. **LWT**. V.106, p.83-91, 2019.

DING, W. K.; SHAH, N. P. Survival of free and microencapsulated probiotic bacteria in orange and apple juices. **International Food Research Journal**, v.15, n.2, p.219–232, 2008.

DONADIO, L. C.; MORÔ, F. V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas Brasileiras**. Jaboticabal, SP: Editora Novos Talentos, 2002. p. 90-93.

DUBEY, R.; SHAMI, T.C.; BHASKER RAO, K.U. Microencapsulation technology and application. **Defence Sci. J.** v.59, p.82–95. 2009.

EISSENS, A. C.; BOLHUIS, G. K.; HINRICHS, W. L. J.; FRIJLINK, H. W. Inulin as filler-binder for tablets prepared by direct compaction. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 15, n.1, p. 31–38, 2002.

EL-NAGAR, G.; CLOWES, G.; TUDORICA, C. M.; KURI, V.; BRENNAN, C. S. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, v.55, n.2, p.89–93, 2002.

ESTEVINHO, B. N.; DAMAS, A. M.; MARTINSA, P.; ROCHA, F. Microencapsulation of β -galactosidase with different biopolymers by a spray-drying process. **Food Research International**, v. 64, p. 134-140, 2014.

ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications e A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, p. 138-155. 2013.

EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, p.117, n.4, p.513–520, 2013.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2ªedição. Artmed, 2006.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; D. A. BOTREL. Gumarabic starch maltodextrin inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v.101, p. 524–532, 2014.

FERNANDES, R. V. DE B.; BOTREL, D. A.; SILVA, E. K.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, C. R. DE, YOSHIDA, M. I.; DE PAULA, R. C. M. Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v.153, p.133–142, 2016.

FERREIRA, B. S.; Almeida, C. G.; Faza, L. P.; Almeida, A.; Diniz, C. G.; Silva, V. L.; Le Hyaric, M. Comparative properties of Amazonian oils obtained by different extraction methods. **Molecules**, v. 16, n. 7, p. 5875-85, 2011.

- FERREIRA, C. L. L. F., et al. Verificação da qualidade físico-química e microbiológica de alguns iogurtes vendidos na região de Viçosa. **Revista do Instituto de Laticínios Candido Tostes**, v.56, n.321, p.152-158, 2001.
- FIORAMONTI, S. A.; RUBIOLO, A. C.; & SANTIAGO, L. G. Characterisation of freeze-dried flaxseed oil microcapsules obtained by multilayer emulsions. **Powder Technology**, v.319, p.238–244, 2017.
- FONTANA, J. D.; MENDES, S. V.; PERSIKE, D. S.; PERACETTA, L. F.; PASSOS, M. Carotenóides. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.13, p.40-46, 2000.
- FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v.87, p.287-291, 2002.
- FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v.87, n.2, p.287–291, 2002.
- FRASER, P. D.; BRAMLEY, P. M. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. **Progress in Lipid Research**, v. 43, n. 3, p. 228-265, 2004.
- FREIRE, J. A. P.; BARROS, K. A.; TORRES, B. N.; LIMA, L.K.F.; MARTINS, J.M.; ARAÚJO, Y. C.; OLIVEIRA, J. L. S.; AQUINO, J. S.; FERREIRA, P. M. P. Phytochemistry Profile, Nutritional Properties and Pharmacological Activities of *Mauritia flexuosa*. **Journal of Food Science**, v. 81, p.11-24. 2016.
- FUCHS, M.; TURCHIULI, C.; BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, PEYRATMAILLARD, M. N.; DUMOULIN, E. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, 75, 27–35, 2006.
- GHARIBZAHEDI, S. M. T.; RAZAVI, S. H.; MOUSAVI, S. M. Microbial canthaxanthin: perspectives on biochemistry and biotechnological production. **Engineering in Life Sciences**, v.13, n.4, p.408–417, 2013.
- GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, G. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107-1121. 2007.
- GIBSON, G. R.; KOLIDA, S. Prebiotic capacity of inulin-type fructans. **The Journal of Nutrition**, v.137, n.3, p.2503-2506, 2007.
- GONÇALVES, N. D.; GROSSO, C. R. F.; RABELO, R. S.; HUBINGER, M. D.; PRATA, A. S. Comparison of microparticles produced with combinations of gelatin, chitosan and gum Arabic. **Carbohydrate Polymers**, v.196, p427–432, 2018.
- GONNET, M.; LETHUAUT, L.; BOURY F. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. **J Control Release**, v. 146, p276–90, 2010.
- GUO, J.; ZHANG, L.; WANG, Y.; LIU, T.; GU, X. Microstructural transitions in β -carotene loaded nonionic microemulsions upon aqueous phase dilution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. **Colloids and Surfaces A**, v.567, p.288–296, 2019.

GYAWALI, R., & IBRAHIM, S. A.). Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. **Trends in Food Science and Technology**, 56, 61–76, 2016.

HASSAN, A. N.; FRANK, J. F.; SCHMIDT, K. A.; SHALABI, S. I. extural Properties of Yogurt Made with Encapsulated Nonropy Lactic Cultures. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.12, p.2098–2103, 2010.

HAUSER-KAWAGUCHI, A.; MILNE, M.; LI, F.; LEE, T. Y.; LUYT, L. G. The development of a near infrared inulin optical probe for measuring glomerular fi ltration rate. **International Journal of Biological Macromolecules**. V.123, p.255–260, 2019.

HEINZELMANN, K.; FRANKE, K., VELASCO, J.; MÁRQUEZ-RUIZ, G. Microencapsulation of fish oil by freeze-drying techniques and influence of process parameters on oxidative stability during storage. **European Food Research and Technology**, v.211, n.4, p.234–239, 2000.

HEJRI, A.; KHOSRAVI, A.; GHARANJIG, K.; & HEJAZI, M. Optimisation of the formulation of β -carotene loaded nanostructured lipid carriers prepared by solvent diffusion method. **Food Chemistry**, v.141, n.1, p.117–123, 2013.

HENTSCHEL, A.; GRAMDORF, S.; MÜLLER, R. H.; KURZ, T. β -carotene-loaded nanostructured lipid carriers. **Journal of Food Science**, v.73, n.2, p.1–6, 2008.

HIJO, A. A. C. T.; COSTA, J. M. G.; SILVA, E. K.; AZEVEDO, V. M.; YOSHIDA, M. I.; BORGES, S. V. Physical and thermal properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) Essential oil microparticles. **Journal of Food Process Engineering**, v.38, p.1-10, 2015.

HOYOS-LEYVA, J. D.; CHAVEZ-SALAZAR, A.; CASTELLANOS-GALEANO, F.; BELLO-PEREZ, L.A.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Physical and chemical stability of L-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p.143-152, 2018.

IDRIS, O. H. M.; WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. Characterisation of gum from Acacia senegal trees of different age and location using multidetection gel permeation chromatography. **Food Hydrocolloids**, 12, 379–388,1998.

IGBAL M. P. Trans fatty acids—a risk factor for cardiovascular disease. **Pak J Med Sci**, v.30, p.194–197.2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

ISLAM, A. M.; PHILLIPS, G. O.; SLJIVO, A.; SNOWDEN, M. J.; WILLIAMS, P. A. A review of recent developments on the regulatory, structural and functional aspects of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 4, p. 493-505, 1997.

ISLEROGLU, H.; TURKER, I. Thermal inactivation kinetics of microencapsulated microbial transglutaminase by ultrasonic spray-freeze drying. **LWT- Food Science and Technology**, v.101, p.653–662, 2019.

- JAFARI, S. M.; MAHDAVI-KHAZAEI, K.; HEMMATI-KAKHKI, A. Microencapsulation of saffron petal anthocyanins with cress seed gum compared with Arabic gum through freeze drying. **Carbohydrate Polymers**, v.140, p.20–25, 2016.
- JANG, A.; BAE, W.; HWANG, H. S.; LEE, H. G.; LEE, S. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. **Food Chemistry**, v.187, p.525–9. 2015.
- JIN, E.; POLLE, J. E. W.; LEE, H. K.; HYUN, S. M.; CHANG, M. Xanthophylls in microalgae: from biosynthesis to biotechnological mass production and application. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.13, p.165-175, 2003.
- KARTHIK, P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of Docosahexaenoic Acid by Spray-Freezing-Drying Method and Comparison of its Stability with Spray-Drying and Freezing-Drying Methods. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, n.10, p. 2780–2790, 2013.
- KASPAR, O.; JAKUBEC, M.; STEPANEK, F. Characterization of spray dried chitosan–TPP microparticles formed by two- and three-fluid nozzles. **Powder Technology**, v. 240, p. 31-40, 2013.
- KATTUMURI, V.; KATTI, K. K.; BHASKARAN, S.; BOOTE, E.; CASTEEL, S.; FENT, G. Gum arabic as a phytochemical construct for the stabilization of gold nanoparticles: In vivo pharmacokinetics and x-ray-contrast-imaging studies. **Small Journal**, v.3, n.2, p.333-341, 2007.
- LACATUSU, I.; NICULAE, G., BADEA, N.; STAN, R.; POPA, O.; OPREA, O.; MEGHEA, A. Design of soft lipid nanocarriers based on bioactive vegetable oils with multiple health benefits. **Chemical Engineering Journal**, v.246, n.8, p.311–321, 2014.
- LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT-Food Science and Technology**, v.64, p.405-411, 2015.
- LI, Y.; SHABANI, K. I.; QIN, X.; YANG, R.; JIN, X., MA, X.; LIU, X. Effects of cross-linked inulin with different polymerisation degrees on physicochemical and sensory properties of set-style yoghurt. **International Dairy Journal**, v. 94, p46–52, 2019.
- LIMA, D. B.; DAMIANI, L. P.; FUJIMORI. Deficiência de vitamina a em crianças brasileiras e variáveis associadas. **Revista Paulista de Pediatria**, v.36, n.2, p.176-185, 2018.
- LUIS, G.; RUBIO, C.; REVERT, C.; ESPINOSA, A.; GONZÁLEZ-WELLER, D.; GUTIÉRREZ, A. J.; HARDISSON, A. Dietary intake of metals from yogurts analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 39, n. 1, p. 48–54, 2015.
- MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, p.1-21, 2006.
- MALACRIDA, C. R.; FERREIRA, S.; CIRELI ZUANON, L. A.; NICOLETTI TELIS, V. R. Freeze-drying for microencapsulation of turmeric oleoresin using modified starch and gelatin. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.39, n.6, p.1710–1719, 2015.

MARASCO, E.; SCHMIDT-DANNERT, C. Towards the biotechnological production of aroma and flavour compounds in engineered microorganisms. **Applied Biotechnology, Food Science and Policy**, v. 1, n. 3, p. 145-157, 2003.

MARFIL, P. H. M.; VASCONCELOSA, F. H. T.; PONTIERIC, M. H.; VÂNIA R. N.; TELISC, V. R. N. Development and validation of analytical method for palm oil determination in microcapsules produced by complex coacervation. **Química Nova**, v. 39, n.1, p.94-99. 2016

MARIATH, J.G.R.; LIMA, M.C.C.; SANTOS, L.M.P. Vitamin A activity of Buriti (*Mauritia vinifera Mart*) and its effectiveness in the treatment and prevention of Xerophthalmia American. **Journal of. Clinical Nutrition**, v.49, n.5, p.849-853.1989.

MAZLOOMI, S. M.; SHEKARFOROUSH, S. S.; EBRAHIMNEJAD, H.; SAJEDIANFARD, J. "Effect of Adding Inulin on Microbial and Physicochemical Properties of Low Fat Probiotic Yogurt." **Iranian Journal of Veterinary Research**, v. 12, n. 2, p. 93–98, 2011.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A.; PARK, Y.; WEISS, J. Structural Design Principles for Delivery of Bioactive Components in Nutraceuticals and Functional Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 49, n.6, p.577–606, 2009.

McNAMEE, B. F.; O'RIORDAN, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of gum Arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 4551-4555, 1998.

MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoides: Propriedades, Aplicações e Mercado. **Revista Virtual Química.**, v.9, n.2, p.672-688, 2017.

MESUROLLE, J.; SAINT-EVE, A.; DÉLÉRIS, I.; SOUCHON, I. Impact of Fruit Piece Structure in Yogurts on the Dynamics of Aroma Release and Sensory Perception. **Molecules**, v.18, n.5, p.6035–6056, 2013.

MILANEZ, J. T.; NEVES, L. C.; SILVA, P. M. C.; BASTOS, V. J.; SHAHAB, M.; COLOMBO, R. C.; ROBERTO, S. R. Pre-harvest studies of buriti (*Mauritia flexuosa* L.F.), a Brazilian native fruit, for the characterization of ideal harvest point and ripening stages. **Sci Hort**, v. 202, p.77–82. 2016.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: Editora. UFV, 2006, 225p.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: Editora. UFV, 2017, 285p.

MORAES, P. C. B. T.; BOLLINI, H. M. A. Perfil sensorial de iogurtes comerciais sabor morango nas versões tradicional e light. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.13, n.02, p.112–119, 2010.

MOTLAGH, S.; RAVINES, P.; KARAMALLAH, K. A.; MA, Q. The analysis of Acacia gums using electrophoresis. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p.848-854, 2006.

- NASCIMENTO, A. R. T.; SANTOS, A. A.; MARTINS, R. C.; DIAS, T. A. B. Comunidade de palmeiras no território indígena Krahò, Tocantins, Brasil: biodiversidade e aspectos etnobotânicos. **Interciências**, v.34, n.3, p.182-188, 2009.
- NEMEM, D.; LEMOS-SENNA, E. Preparação e caracterização de suspensões coloidais de nanocarreadores lipídicos contendo resveratrol destinados à administração cutânea. **Química Nova**, v.34, n.3, p.408-413, 2011.
- NESTERENKO, A.; ALRIC, I.; VIOLLEAU, F.; SILVESTRE, F.; DURRIEU, V. A new way of valorizing biomaterials: The use of sunflower protein for α -tocopherol microencapsulation. **Food Research International**, v. 53, p. 115-124. 2013.
- NOSARI, A. B. F. L.; LIMA, J. F.; SERRA, O. A.; FREITAS, L. A. P. Improved green coffee oil antioxidant activity for cosmetic purpose by spray drying microencapsulation. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 25, n.3, p.307–311, 2015.
- NUNES, G. L.; SILVA, T.M.; HOLKEM, A. T.; SCHLEY, V. C.; MENEZES, C.R. Microencapsulação de culturas probióticas: princípios do método de spray drying. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.37, p. 132-141. 2015.
- OLIVEIRA, D. L. Viabilidade econômica de algumas espécies medicinais nativas do cerrado. **Revista UCG Estudos**, Goiânia, v.38, p.301-332. 2011.
- ORSAVOVA, J.; MISURCOVA, L.; AMBROZOVA, J. V.; VICHA, R.; MLCEK, J. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v.16, p.12871–90.2015.
- PAPOUTSIS, K.; GOLDING, J. B.; VUONG, Q.; PRISTIJONO, P.; STATHOPOULOS, C. E.; SCARLETT, C. J.; BOWYER, M. Encapsulation of Citrus By-Product Extracts by Spray-Drying and Freeze-Drying Using Combinations of Maltodextrin with Soybean Protein and ι -Carrageenan. **Foods**, v. 7, n.7, p.115-127, 2018.
- PEREIRA, K. C.; FERREIRA, D. C. M.; ALVARENGA, G. F.; PEREIRA, M. S. S.; BARCELOS, M. C. S.; COSTA, J. M. G. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, p.1-9, 2018.
- PERRIN, S.; FOUGNIES, C.; GRILL, J. P.; JACOBS, H.; SCHNEIDER, F. Fermentation of chicory fructo-oligosaccharides in mixtures of different degrees of polymerization by three strains of bifidobacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, V.48, N.8, P.759–763, 2002.
- PEZESHKI, A.; HAMISHEHKAR, H.; GHANBARZADEH, B.; FATHOLLAHY, I.; NAHR, F. K.; HESHMATI, M. K.; MOHAMMADI, M. Nanostructured lipid carriers as a favorable delivery system for β -carotene. **Food Bioscience**, v.27, p.11-17, 2018.
- PIMENTEL, T. C.; GARCIA, S.; PRUDENCIO, S. H. Iogurte probiótico com frutanos tipo inulina de diferentes graus de polimerização: características físico-químicas e microbiológicas e estabilidade ao armazenamento. **Ciencias Agrárias**, v.33, n.3, p.1059–1070, 2012.

- PINTO, S. S.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; DIAS, C. O.; AMBONI, R. D. M. C. A potential technological application of probiotic microcapsules in lactose-free Greek-style yoghurt. **International Dairy Journal**, v.97, p.131–138, 2019.
- PISHUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, v.19, n.4, p.1297-1306. 2012.
- PONS, M., & FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, v.27, n.6, p.597–624, 1996.
- POURFARZAD, A.; AHMADIAN, Z.; HABIBI-NAJAFI, M. Interactions between polyols and wheat biopolymers in a bread model system fortified with inulin: A Fourier transform infrared study. **Heliyon**, v.4, p.234-245, 2018.
- QUEK, S. Y; CHOK, N. K; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v.46, n.5, p.386–392, 2007.
- QUINTINO, S.S. Avaliação comparativa de iogurte produzido a partir da polpa natural de maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) e suco artificial. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p.1.831, 2012.
- QUIRINO L, E. C; DE ARAÚJO C, V. M.; MONTEIROC, M., FINOTELLID, P. V; GUEDES T, A; PERRONE, D. Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. **Carbohydrate Polymers**, v.151, p.500–510, 2016.
- QUISPE-CONDORI, S.; SALDAÑA, M. D. A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, n.9, p.1880–1887. 2011.
- RAJAM, R.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Spray freeze drying method for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*. **Journal of Food Engineering**, v.166, p.95–103, 2015.
- RAMALHO, R. A.; FLORES, H.; SAUNDERS, C. Hypovitaminose A no Brasil: um problema de saúde pública. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v. 12, p. 117-122, 2002.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes – fundamentos e metodologias**. Editora UFV, 1. ed, 599p. Viçosa, 2009.
- RAMOS, T. M.; GAJO, A. A.; PINTO, S. M.; ABREU, L.R.; PINHEIRO, A. C. Perfil de textura de labneh (iogurte grego). **Revista Instituto Laticínios “Cândido Tostes”**, v. 369, n. 64, p.8-12, 2009.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, London, v. 49, p. 311-319, 2001.
- REZENDE, Y. R. R. S., NOGUEIRA, J. P., & NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v.254, p.281–291, 2018.

- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata DC*) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, 254, 281–291. 2018.
- RIBEIRO, H. S.; CHUA, B. S.; ICHIKAWA, S.; NAKAJIMA, M. Preparation of nanodispersions containing β -carotene by solvent displacement method. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 1, p. 12-17, 2008.
- ROCHA, C.; COBUCCI, R. D. M. A.; MAITAN, V. R.; SILVA, O. C. Elaboração e avaliação de iogurte sabor frutos do cerrado. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, 2008.
- ROCHA-PARRA, D. F.; LANARI, M. C.; ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine. **LWT-Food Science and Technology**, v.70, p.162-170, 2016.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J.; **Fontes brasileiras de carotenoides**, 1a. ed., Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2008.
- RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, M.; BORONAT, A. Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids. A metabolic milestone achieved through genomics. **Plant Physiology**, v.130, n.3, p.1079-1089, 2002.
- RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação do suco de pitanga roxa (*Eugenia uniflora L.*)**. 105 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.
- SANCHEZ-REINOSO, Z.; OSORIO, C.; HERRERA, A. Effect of microencapsulation by spray drying on cocoa aroma compounds and physicochemical characterisation of microencapsulates. **Powder Technology**, v.318, p.10-119, 2017.
- SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas Uma alternativa viável. Microencapsulação de produtos sensíveis a oxidação óleo resina de páprica. **Biociência e Desenvolvimento**, v. 3, n. 16, p. 26-30. 2001.
- SANTOS, C. A.; RIBEIRO, R. C.; SILVA, V. C.; SILVA, N. S.; SILVA, B. A.; SILVA, G. F.; BARROS, B. C. Elaboração de biscoito de farinha de buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) com e sem adição de aveia (*Avena sativa L.*). **Braz J Food Technol**, v.5, p.262–73, 2011.
- SCHLEMMER, D.; SAES, M. J. A.; RESCK, I.S. Preparação, caracterização e degradação de Blendas PS/TPS usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.24, n.2, p.264-268, 2009.
- SEMYONOV, D.; RAMON, O.; KAPLUN, Z.; LEVIN-BRENER, L.; GUREVICH, N.; SHIMONI, E. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. **Food Research International**, v.43, n.1, p.193–202, 2010.
- SERRA, J. L.; RODRIGUES, A. M. C.; FREITAS, RILTON, A.; MEIRELLES, A. J. A.; DARNET, S. H.; SILVA, L. H. M. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocols, total carotenoids and chemical composition. **Food Research International**, v.116, p.12-19. 2019.

SHADDEL, R.; HESARI, J.; AZADMARD-DAMIRCHI, S.; HAMISHEHKAR, H.; FATHI-ACHACHLOUEI, B.; HUANG, Q. Use of gelatin and gum Arabic for encapsulation of black raspberry anthocyanins by complex coacervation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.107, p.1800–1810, 2018.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of Food Ingredients. Critical Review in Food **Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547. 1993.

SHAIKH, J.; BHOSALE, R.; SINGHAL R. Microencapsulation of black pepper oleoresin. **Food Chemistry**, v.94, n.1, p.105-110. 2006.

SHOAIB, M.; SHEHZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A.; RAZA, H.; SHARIF, H. R.; NIAZI, S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, v.147, p.444–454, 2016.

SIES, H.; STAHL, W. Nutritional protection against skin damage from sunlight. **Annual Review of Nutrition**, v.24, p173-181, 2004.

SILVA, A. G.F.; BESSA, M. M.; SILVA, J.R. Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de iogurte light prebiótico adoçado com mel. **Instituto de Laticínios cândido Tostes**, v.72, n.2, p.74-84, 2017.

SILVA, J. C. D.; BORRIN, T. R.; RUY, P.; BRITO, T. C.; PINHEIRO, A. C.; VICENTE, A. A.; PINHO, S. C. Characterization, physicochemical stability, and evaluation of in vitro digestibility of solid lipid microparticles produced with palm kernel oil and tristearin. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 3, p. 532-538, 2014.

SILVA, S. M.; SAMPAIO, T. T.; TAHAM, T.; ROCCO, S. A.; CERIANI, R. Characterization of oil extracted from buriti fruit (*Mauritia flexuosa*) grown in the Brazilian Amazon region. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Heidelberg, v. 86, n. 6, p. 11-616, 2009.

SOUSDALEFF, M.; BAESSO, M. L.; NETO, A. M., NOGUEIRA, A. C.; MARCOLINO, V. A.; MATIOLI, G. Microencapsulation by Freeze-Drying of Potassium Norbixinat and Curcumin with Maltodextrin: Stability, Solubility, and Food Application. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, n.4, p.955–965, 2013.

SOUZA, A. L. R.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, G. V.; SANTOS, R. R. Microencapsulação de sucos e polpas de frutas por spray drying: uma revisão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.3, p.327-338, 2015.

SOUZA, D. R., DE SOUZA, G. A., DE ARAUJO, I. F. B., PEREIRA, L. M., BEZERRA, V. D. S., & MARQUES, R. B. (2017). Efeitos tóxicos dos fungos nos alimentos. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, V.10, n.2, p.73–84., 2017.

SPERANZA, P.; RIBEIRO, A. P. B.; MACEDO, G. A. Application of lipases to regiospecific interesterification of exotic oils from an Amazonian area. **Journal Biotechnol**, v.218, p.13–20. 2016.

SUBTIL, S. F. *et al.* Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. **Journal Food Science Technology**, v. 51, n. 9, p. 2014-2021, 2014.

SUKHOTU, R. *et al.* Changes in physicochemical properties and stability of peanut oil body emulsions by applying gum arabic. **Food Science and Technology**, v. 68, p. 432-438. 2016.

SZCZESNIAK, A. S. Objective Measurements of Food Texture. **Journal of Food Science**, v.28, n.4, p.410–420, 1963.

TAMNAK, S.; MIRHOSSEINI, M.; TAN, C.P.; GHAZALI, H.M.; MHAMMAD, K. Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 405-416. 2016.

TAVARES, M.; AUED-PIMENTEL S.; LAMARDO, L. C. A.; CAMPOS, N. C.; JORGE, L. I. F.; GONZALEZ, E. Composição química e estudo anatômico dos frutos de buriti do Município de Buritizal, Estado de São Paulo **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.62, n.3, p. 227-232, 2003.

TELIS, V. R. N. **Biopolymer engineering in food processing**. First Edit ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

THAMER, K.G.; PENNA, A.L.B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescidas de prebióticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 589-595, 2006.

TOLVE, R.; CONDELLI, N.; CARUSO, M. C.; BARLETTA, D.; FAVATI, F.; GALGANO, F. Fortification of dark chocolate with microencapsulated phytosterols: chemical and sensory evaluation. **Food & Function**, v.9, n.2, p.1265–1273. 2018.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado do açaí. **Inclusão Social**, v.6, n. 2, p. 70- 76, 2013.

TRÊS, M. V; FRANCHESCHI, E; BORGES, G. R.; DARIVA, C.; CORAZZA, F. C.; OLIVEIRA, J. V.; CORAZZA, M. L. Effect of temperature on the solubility of β -carotene in organic solvents under ambient pressure. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.4, p. 737-743, 2007.

TUNGLAND, B. C.; MEYER, D. Nondigestible Oligo-and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. Comprehensive Reviews. **Food Science and Food Safety**, v.1, n.3, p.90-109, 2002.

VAN LOO, J. A Prebiotics promote good health: the basis, the potential, and the emerging evidence. **Journal of Clinical Gastroenterology**, v.38, p.570-575, 2004.

VASILE, F. E.; Martinez, M. J.; Ruiz-Henestrosa, V. M.; Judis, M. A; Mazzobr, M. F. Physicochemical, interfacial and emulsifying properties of a nonconventional exudate gum (*Prosopis alba*) in comparison with gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v.56, p.245-253, 2016.

VIEIRA, D.A.; FACÓ, L.R.; CECY, A. Buriti: um fruto do cerrado considerado uma planta de uso múltiplo. **Cenarium Farmacêutico**.v.4, n. 4, p.

VITAL, A. C. P.; GOTO, P. A.; HANAI, L. N.; COSTA, S.M.G.; ABREU, B. A.; NAKAMURA, C. V.; MATUMOTO-PINTRO, P.T. Microbiological, functional and

- rheological properties of low fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1028–1035, 2015.
- WANG, B.; WANG, L. J.; LI, D.; ADHIKARI, B.; SHI, J. Effect of Gum Arabic on Stability of Oil-in-Water Emulsion Stabilized by Flaxseed and Soybean Protein. **Carbohydr. Polym.** 86, 343-351, 2011.
- WILKOWSKA, A.; AMBROZIAK, W.; CZYŻOWSKA, A.; ADAMIEC, J. Effect of Microencapsulation by Spray-Drying and Freeze-Drying Technique on the Antioxidant Properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Juice Polyphenolic Compounds. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.66, n.1, p.11–16, 2016.
- WILKOWSKA, A.; AMBROZIAK, W.; CZYŻOWSKA, A.; ADAMIEC, J. Effect of Microencapsulation by Spray-Drying and Freeze-Drying Technique on the Antioxidant Properties of Blueberry (*Vaccinium myrtillus*) Juice Polyphenolic Compounds. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.66, n.1, p.11-16. 2016.
- XU, T.; GAO, C. C.; FENG, X.; YANG, Y.; SHEN, X.; TANG, X. Structure, physical and antioxidant properties of chitosan-gum arabic edible films incorporated with cinnamon essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.134, p.230–236, 2019.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.84, p.256–262, 2017.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying. **LWT-Food Science and Technology** 11-25, 2011.
- YE, Q.; GEORGES, N.; SELOMULYA, C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products, Trends in **Food Science & Technology**, V. 78, p.167-179. 2018.
- ZAKARIA, M. For the determination of provitamin a carotenes in tomatoes ‘vitamin A levels in foods hence requires the isolation and accurate quantitation of. **Journal of Chromatography**, n.176), p.109–117,1979.
- ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Binding between Bixin and Whey Protein at pH 7.4 Studied by Spectroscopy and Isothermal Titration Calorimetry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, n.7, p.1880–1886, 2012.
- ZHU, Y.; WANG, X., Y. U, S.; ZHANG, W.; ZHANG, T.; JIANG, B.; MU, W. Bioconversion of inulin to difructose anhydride III by a novel inulin fructotransferase from *Arthrobacter chlorophenolicus* A6. **Process Biochemistry**, v.75, p.130-138, 2018.

ANEXO A – Teor de β -caroteno.

Parâmetros	Amostras			
	GA25IN75	GA50IN50	GA75IN25	Óleo Buriti
% β- caroteno	45,4	55,5	40,5	87,6

Fonte: do autor.