FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

MAYARA PEREIRA VASCONCELOS

ÓLEO DAS AMÊNDOAS DO BACURI MICROENCAPSULADO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

CAMPO GRANDE
2022

MAYARA PEREIRA VASCONCELOS

ÓLEO DAS AMÊNDOAS DO BACURI MICROENCAPSULADO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, da Faculdade de Ciência Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia. Linha de Pesquisa: Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento de produtos, processos e serviços.

Orientadora: Prof. Dra. Fabiane La Flor Ziegler Sanches

CAMPO GRANDE
2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÓLEO DAS AMÊNDOAS DO BACURI MICROENCAPSULADO POR COACERVAÇÃO COMPLEXA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

Faculdade de Ciência Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia. Linha de Pesquisa: Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento de produtos, processos e serviços.

Orientadora: Prof. Dra. Fabiane La Flor Ziegler Sanches.

Banca Examinadora: **Nota/conceito:**

_____ _____

Profa. Dra. Fabiane La Flor Ziegler Sanches – UFMS (Presidente)

_____ _____

Profa. Dra. Eliana Janet Argandona - UFGD (Membro)

_____ _____

Prof. Dr. Teófilo Fernando Mazon Cardoso - UFMS (Membro)

AVALIAÇÃO FINAL: (x) Aprovada ( ) Reprovada

RESUMO

O fruto do Cerrado e Pantanal bacuri (*Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng) pode ser uma potencial fonte lipídica vegetal, uma vez que segundo a literatura o óleo de suas amêndoas apresenta 37,9% de ácidos graxos de cadeia média, em destaque o ácido láurico (C12:0). A microencapsulação por coacervação complexa tem sido importante para minimizar a degradação dos compostos bioativos de óleos. O objetivo do estudo foi obter e caracterizar o óleo das amêndoas de bacuri e microencapsular por coacervação complexa. Foram determinados os índices de conservação e qualidade: saponificação, iodo, refração, acidez e o peróxido. Realizou-se o perfil de ácidos graxos do óleo das amêndoas do bacuri e das microcápsulas contendo o óleo, bem como o desenvolvimento das microcápsulas por coacervação complexa. As microcápsulas foram determinadas conforme o rendimento e a eficiência, além de analisar a morfologia por microscopia eletrônica de varredura e óptica. Os resultados mostraram que a melhor concentração de recheio (óleo) em relação aos polímeros testados (gelatina e goma arábica) foi de 2,5g para 1,25 g de cada polímero, nessas proporções obteve-se rendimento de microcápsulas formadas de 70,66%, eficiência de encapsulamento do óleo foi de 99,95%, e tamanho de partículas menores que 2,560 μm. O perfil lipídico em destaque no óleo microencapsulado foi do ácido graxo de cadeia média láurico (C12:0) com 23,53% e do ácido graxo monoinsaturado oleico (C18:1) com 16,26%. Os resultados para os índices de acidez (0,70 mg KOH/g) e peróxido (não identificado) estão em conformidade com a legislação prevista para óleos e gorduras. Em conclusão, o estudo demonstra ser possível microencapsular o óleo das amêndoas do bacuri com alto percentual de eficiência, e sendo uma alternativa para a preservação dos compostos lipídicos.

Palavras-chaves: *Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng, Cerrado, Pantanal, microencapsulação, triglicerídeos de cadeia média.

ABSTRACT

The fruit of the Cerrado and Pantanal bacuri (Attalea phalerata Mart. Ex Spreng) can be a potential vegetable lipid source, since according to the literature the oil of its almonds has 37.9% of medium chain fatty acids, in particular the acid lauric (C12:0). Microencapsulation by complex coacervation has been important to minimize the degradation of bioactive compounds in oils. The aim of the study was to obtain and characterize the oil from bacuri and microencapsulate almonds by complex coacervation. The conservation and quality indexes were determined: saponification, iodine, refraction, acidity and peroxide. The fatty acid profile of bacuri almond oil and microcapsules containing the oil was performed, as well as the development of microcapsules by complex coacervation. The microcapsules were determined according to yield and efficiency, in addition to analyzing the morphology by scanning electron and optical microscopy. The results showed that the best concentration of filling (oil) in relation to the tested polymers (gelatin and gum arabic) was 2.5g for 1.25g of each polymer, in these proportions, yield of microcapsules formed of 70.66 %, oil encapsulation efficiency was 99.95%, and particle size smaller than 2,560 μm. The lipid profile highlighted in the microencapsulated oil was the medium-chain lauric fatty acid (C12:0) with 23.53% and the monounsaturated oleic fatty acid (C18:1) with 16.26%. The results for acidity (0.70 mg KOH/g) and peroxide (not identified) are in accordance with the legislation foreseen for oils and fats. In conclusion, the study demonstrates that it is possible to microencapsulate bacuri almond oil with a high percentage of efficiency, and being an alternative for the preservation of lipid compounds..

Keywords: *Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng, microencapsulation, medium chain triglycerides.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8

2.1 Fruto do Bioma do Cerrado e Pantanal: Bacuri 8

2.2 Triglicerídeos de cadeia média 9

2.3 Microencapsulação por coacervação complexa 11

3 OBJETIVOS 13

3.1 Objetivo geral 13

3.2 Objetivos específicos 13

4 METODOLOGIA 14

4.1 Processamento das amêndoas do bacuri e extração do óleo 14

4.2 Caracterização físico-química e perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri 14

4.3 Desenvolvimento da microencapsulação por coacervação complexa do óleo das amêndoas do bacuri 15

4.4 Rendimento do processo de microencapsulação 16

4.5 Eficiência de microencapsulação 17

4.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o tamanho das partículas 17

4.7 Microscopia Óptica 17

4.8 Análise do perfil lipídico e de índices de acidez e peróxido das microcápsulas 18

4.9 Análise Estatística 18

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 18

5.1 Caracterização físico-química e perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri 18

5.2 Desenvolvimento e Caracterização do óleo microencapsulado das amêndoas do bacuri 23

5.2.1 Rendimento e eficiência das microcápsulas 23

5.2.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o tamanho das partículas 24

5.2.3 Microscopia óptica 26

5.2.4 Perfil lipídico do óleo microencapsulado das amêndoas do bacuri 27

5.2.5 Análise de índices de acidez e peróxido de microcápsulas 28

6 CONCLUSÃO 29
7 REFERÊNCIAS 30

1 INTRODUÇÃO

Os lipídios são biomoléculas apolares formados por números variados de átomos de carbono e hidrogênio e predominantemente por ésteres de triglicerídeos, produtos resultantes de esterificação entre o glicerol e três moléculas de ácidos graxos. Podem ser classificadas como ácidos graxos saturados ou insaturados, sendo diferenciados em sua estrutura pela presença apenas de ligações simples ou presença de uma ou mais duplas ligações, respectivamente, na molécula (ARAÚJO, 2008).

O consumo de alimentos fontes de ácidos graxos insaturados, como o ácido linolênico, linoleico e oleico, pertencentes às séries de ômegas, apresenta benefícios à saúde por serem considerados excelentes antioxidantes, anti-inflamatórios, auxiliando na redução plasmática das lipoproteínas de baixa densidade (LDL-colesterol) e colesterol total, além de propiciar redução do risco de doenças cardiovasculares (NOGUEIRA DE ALMEIDA *et al*., 2018).

Estudos sobre os triglicerídeos de cadeia média (TCM) demonstram um possível efeito anticatabólico por sua fácil conversão energética. Os mesmos são definidos como ácidos graxos entre 6 a 12 carbonos de comprimento e contém todas as três posições na espinha dorsal do glicerol ocupados por ácidos graxos de cadeia média, no qual inclui ácido capróico (C6:0), ácido caprílico (C8:0), ácido cáprico (C10:0) e ácido láurico (C12:0) (NEUDORF; JACKSON; LITTLE, 2022).

Nesse contexto, o fruto do Cerrado e Pantanal conhecido como bacuri (*Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng), amplamente encontrado na região Centro-Oeste do Brasil, pode ser uma potencial fonte lipídica vegetal, uma vez que segundo a literatura o óleo das amêndoas do bacuri apresenta 37,9% de ácidos graxos de cadeia média, em destaque o ácido láurico (C12:0), além de conter 15,5% de ácido graxo poliinsaturado linolênico (C18:3) (BARRETO *et al.,* 2010).

Entretanto uma das dificuldades em relação aos óleos e os componentes bioativos é a sua estabilidade, sendo observados a sua degradação pela oxidação e exposição ao calor. Assim, o emprego da biotecnologia tem sido importante para minimizar a degradação destes compostos, com destaque para o método de microencapsulação (LIMA, 2014).

A microencapsulação é uma técnica que envolve materiais sólidos, líquidos ou gasosos em pequenas partículas denominadas de micropartículas ou microcápsulas, que liberam o seu conteúdo sob condições controladas. Há várias técnicas utilizadas para a preparação das microcápsulas, como por exemplo, spray-drying, polimerização, extrusão, coacervação, entre outras. Dos distintos métodos disponíveis para o encapsulamento de compostos lipofílicos, a coacervação complexa é considerada mais simples, eficiente e de fácil reprodução (XIÃO *et al.,* 2014).

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi desenvolver e caracterizar o óleo das amêndoas de bacuri microencapsulado pela técnica de coacervação complexa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fruto do Bioma do Cerrado e Pantanal: Bacuri

O bioma Cerrado ocorre principalmente no Planalto Central Brasileiro, estando presente em Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Distrito Federal, Maranhão, Piauí, Rondônia, São Paulo e Paraná, abrangendo aproximadamente 24% do território brasileiro. Enquanto, o bioma Pantanal ocupa aproximadamente 2% do território nacional e abrange parte dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Essas regiões possuem uma ampla diversidade de espécies de frutos nativos com potencial à saúde devido seus altos valores nutricionais, sendo especialmente ricas em antioxidantes que podem prevenir doenças (AVIDOS; FERREIRA, 2011; IBGE, 2019).

Nesse cenário, o fruto selecionado do Cerrado e Pantanal para o presente estudo foi o bacuri, acuri ou conhecido também como uricuri, cujo nome científico é *Attalea phalerata* Mart. Ex. Spreng., pertence à família Arecaceae, sendo amplamente distribuído no Brasil, uma vez que a espécie é encontrada desde o Acre até São Paulo. Além disso, está presente nas regiões biogeográficas do país, no Cerrado e no Pantanal (NEGRELLE, 2015).

Os frutos ficam alocados em cachos na palmeira cuja altura pode variar entre 2 a 12 metros, com floração contínua durante o ano, possuindo frutos verdes o ano inteiro. Entretanto, a maturação do fruto ocorre a partir de abril/maio e se prolonga até setembro/outubro (NEGRELLE, 2015).

Figura 1. Palmeiras do bacuri.

Fonte: A autora.

A polpa de cor variada entre amarelo até a laranja do bacuri apresenta compostos bioativos importantes para a saúde, como os carotenoides, em destaque os beta-carotenos, alfa-caroteno, zeaxantina, luteína e licopeno (HIANE *et al.,* 2003).

O bacuri pode ser consumido *in natura* ou utilizado em aplicações culinárias, na produção de bolos, geleias, sorvetes, doces, sucos, granolas, em preparar mingaus, pirão, empanar carnes, como também, na forma de farinha e no desenvolvimento de novos produtos como suplementos e barrinhas proteicas (DAMASCENO JÚNIOR; SOUZA, 2010; CUNHA *et al*., 2018; SEMIDEI *et al*., 2020; KAWANO, SANTOS e SANCHES, 2020).

Os compostos fenólicos e carotenoides são benéficos à saúde e desempenham um papel relevante no fortalecimento do sistema imunológico e na redução de doenças degenerativas como diabetes, problemas cardiovasculares, processos inflamatórios, entre outras (RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

Na composição química da farinha integral das amêndoas do bacuri encontram-se números significativos de lipídios (60,72%), fibras (18,18%) e proteína (12,72%) (CUNHA *et al.*, 2021). O perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri é caracterizado por TCM, apresentando o ácido láurico (37,9%), seguindo de ácido graxo insaturado oleico (15,5%) (BARRETO, 2010).

O bacuri, ainda possui poucos estudos explorando sobre o perfil lipídico das amêndoas do fruto, sendo necessário pesquisar mais sobre as suas características, contudo mostra-se um fruto potencial como fonte lipídica vegetal alternativa e que podem ser processadas pela população local, apresentando grande potencial econômico e nutricional.

2.2 Triglicerídeos de cadeia média

Os lipídios são biomoléculas apolares formados por números variados de átomos de carbono e hidrogênio e predominantemente por ésteres de triglicerídeos, produtos resultantes de esterificação entre o glicerol e três moléculas de ácidos graxos. Podem ser classificadas como ácidos graxos saturados ou insaturados, sendo diferenciados em sua estrutura pela presença apenas de ligações simples ou presença de uma ou mais duplas ligações, respectivamente, na molécula (ARAÚJO, 2008).

Os triglicerídeos de cadeia média (TCM) são compostos de ácidos graxos de cadeia média (AGCM), os estudos sobre estes compostos iniciaram em 1950, embora sejam ácidos graxos saturados, as suas características nutricionais, fisiológicas diferem dos ácidos graxos

de cadeia longa. Além de fornecerem energia, também possuem propriedades fisiológicas, como efeitos no metabolismo de gorduras e proteínas (WATANABE e TSUJINO, 2022).

Após ingestão oral, o TCM é hidrolisado pela lipase pancreática, liberando AGCM, os quais são absorvidos no duodeno e via circulação portal ligados à albumina são transportados para o fígado. Mais de 80 % dos AGCM são captados no fígado e o restante pode seguir para os tecidos periféricos. Depois de entrar nas células, o transporte para a mitocôndria é parcialmente independente da carnitina, enquanto no tecido muscular o transporte é totalmente dependente da carnitina (VALERIUS *et al.,* 2018).

Nas mitocôndrias ocorre a oxidação dos AGCM resultando em várias moléculas de acetil coenzima A (Acetil-CoA). Os TCM possuem caráter cetogênico, pois grande parte do acetil-Coa produzido durante a oxidação é direcionada a produção de corpos cetônicos. Além da absorção ser diferenciada em relação aos triglicerídeos de cadeia longa, devido ao tamanho da cadeia e não dependência da carnitina para acesso às mitocôndrias, postula-se que os TCM tendem a elevar as concentrações circulantes de insulina e promover a lipogênese como resultado do aumento no balanço insulina/glucagon (AZEVEDO *et al*., 2020).

Uma aplicação de TCM na área clínica seria nas dietas enterais em pós-operatório, a administração dos TCMs pode reduzir o risco de infecções e complicações no trato gastrointestinal, por modular a formação de eicosanoides anti-inflamatórios e auxiliar no metabolismo de lipídios. Além disso, podem diminuir riscos do desenvolvimento de problemas renais (BUENO, 2008).

Uma pesquisa realizada em atletas que praticam ciclismo analisou que o consumo de 6g de TCM com maltodextrina pode aumentar a oxidação de gordura durante o exercício de intensidade moderada e prolongar a duração do exercício de alta intensidade, sendo uma alternativa para melhorar o rendimento esportivo (NOSAKA *et al.*, 2018).

Os TCMs podem desempenhar melhora na cognição em indivíduos com a disfunção cognitiva e minimizar o desenvolvimento da doença de Alzheimer, no qual a demência é a causa mais comum. Um ensaio clínico randomizado, no qual 38 idosos foram suplementados com TCM combinados à L-leucina e vitamina D, durante 3 meses concluiu que a função cognitiva dos idosos apresentou melhora expressiva, embora o mecanismo ainda não esteja esclarecido (SOUZA *et al.,* 2020).

No âmbito esportivo, observou-se que o consumo de TCM aumenta a oxidação de gordura e melhora a resistência durante os exercícios (WATANABE e TSUJINO, 2022). O estudo realizado por Mutoh *et al.* (2022) tinha por objetivo melhorar a capacidade física por meio da função cerebral com o consumo diário de TCM em idosos saudáveis, pois devido ao

envelhecimento cognitivo e a sarcopenia nessa fase da vida o equilíbrio e a coordenação são executados com dificuldades. Os autores concluíram que o consumo de 18g ao dia de TCM por três meses levou uma melhora significativa no equilíbrio da caminhada dos indivíduos.

2.3 Microencapsulação por coacervação complexa

A técnica de microencapsulação é designada como um empacotamento ou captura de pequenas partículas, seja líquidas, sólidas ou gasosas. O material que é encapsulado é reconhecido como material de recheio ou núcleo, e a parte externa que envolve a cápsula denominada como parede, matriz ou cobertura (AUGUSTIN; HEMAR, 2009).

A técnica mencionada além de proteger o núcleo, tem por finalidade reduzir as interações com fatores ambientais, delongar as alterações que resultam na perda de cor, aroma, valor nutricional, aumentar a vida útil do princípio ativo e controlar a liberação do material do núcleo (AUGUSTIN; HEMAR, 2009).

Há distintos meios de liberação do núcleo, a parede da partícula pode ser rompida pela ruptura mecânica, por difusão controlada, por ação de enzimas, por aumento de temperatura, por mudanças no pH do meio, entre outros (MARFIL, 2014). Além disso, os valores esperados para microcápsulas obtidas por coacervação complexa estão na faixa 1 a 500 μm (FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008).

A técnica de coacervação pode ser simples, na qual há um único polímero, enquanto a complexa envolve a solubilização de dois polímeros, sendo bem utilizada em substâncias lipofílicas. A interação entre gelatina e goma arábica é um exemplo clássico de coacervação complexa para a produção de micropartículas. De forma geral, o processo baseia-se na formação de uma emulsão (líquidos) ou dispersão (sólidos) do recheio na solução homogeneizada polimérica, contudo, o complexo formado se deposita ao redor do recheio devido às alterações das condições do meio (ALVIM, 2005).

O método de coacervação complexa em óleos, compõe uma emulsificação que consiste no revestimento da superfície da gota de óleo através do ajuste de pH da solução, e a formação do coacervado para fixação da membrana (LIMA, 2014). Esta técnica mostra o potencial na preservação de compostos lipídicos e manter sua efetividade, além disso, minimiza os desperdícios (SUAVE *et al*., 2006).

O sistema de coacervação complexa mais estudada é gelatina-goma arábica. A gelatina é uma proteína de origem animal resultante de hidrólise do colágeno, o pH da

gelatina pode ser ácido ou básico dependendo do meio. Além disso, funciona como um filme externo para proteger o recheio das partículas do oxigênio e luz. A goma arábica é um polissacarídeo e seu uso é importante para a formação de uma emulsão estável, a goma é negativamente carregada em pH acima de 2,2 (BUENO, 2008).

Para aumentar o tempo de estocagem das micropartículas coacervadas, a técnica de secagem é fundamental para contribuir com a vida útil do produto, sendo a liofilização considerada uma excelente técnica (BUENO, 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Obter e caracterizar o óleo das amêndoas de bacuri e microencapsular por coacervação complexa.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar a extração química a frio do óleo das amêndoas do bacuri;
- Avaliar os índices de qualidade e conservação aplicados para óleos vegetais;
- Caracterizar o perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri;
- Desenvolver as microcápsulas poliméricas contendo óleo de bacuri pelo método de coacervação complexa;
- Avaliar as características e o índice de conservação das microcápsulas;
- Caracterizar o perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri microencapsulado.

4 METODOLOGIA

4.1 Processamento das amêndoas do bacuri e extração do óleo

A matéria-prima foi comprada de um produtor rural fornecedor da cidade de Miranda, nas coordenadas geográficas -20.2429, -56.364-20, no Estado de Mato Grosso do Sul, no qual foram adquiridas apenas as amêndoas do fruto do bacuri, apresentando o número de registro A516D8E do SisGen (Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e Conhecimentos Tradicionais Associados). O processamento do fruto para extração do óleo, e as análises para caracterização, bem como a microencapsulação foram desenvolvidas na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

A extração do óleo foi realizada pela metodologia química a frio, inicialmente as amêndoas foram trituradas no processador de alimentos (Sire Cutter) para constituir uma farinha. Em seguida, as amostras foram colocadas em cartuchos de celulose e armazenadas em frascos de vidro, foram adicionados hexano até que toda amostra ficasse submersa no solvente. Os frascos foram mantidos em sala escura em temperatura ambiente por uma semana. Após esse período, o líquido do frasco foi transferido para balões e acoplados no equipamento rotaevaporador a 45ºC para a remoção do solvente presente na amostra (BRASIL, 2005). A duração dessa etapa foi de 72 horas, e o óleo obtido manteve-se protegido da luz e em refrigeração por 14 dias.

Para remover o odor de solvente presente na amostra do óleo, utilizou-se a técnica de agitação através do equipamento agitador Kline analógico (NT 151, Nova Técnica) durante 1 hora, sendo a amostra vedada com papel alumínio para reduzir o contato com o oxigênio, por fim reduziu 10% do volume inicial, diminuindo o odor de solvente. Por fim, o óleo foi acondicionado em potes de vidro devidamente higienizados e envolvidos com papel alumínio para proteção de luz e submetidos ao armazenamento a -18ºC.

4.2 Caracterização físico-química e perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri

Os índices de acidez, peróxido e iodo do óleo foram determinados em duplicatas, enquanto o índice de saponificação e refração foram realizados em triplicata, estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (2005) e AOAC (2005), o índice de refração (método nº 327/IV), saponificação (método nº 328/IV) e o índice de iodo por método de Wijs (método nº 329/IV),

acidez (método nº 325/IV) e de peróxido (método nº 326/IV) com 14 dias de armazenamento, sob refrigeração (10ºC).

O perfil dos ácidos graxos do óleo das amêndoas do bacuri foi determinado de acordo com o método descrito por Hartman e Lago (1973) e modificado por Maia e Rodriguez-Amaya (1993). A amostra do óleo das amêndoas do bacuri foi preparada para o procedimento de metilação dos ácidos graxos, subsequentemente realizada a leitura no cromatógrafo. Foi necessária alíquota de 30 mg de lipídios, em seguida adicionado 4 ml de hidróxido de sódio (0,5N – NaOH em MeOH) e aquecido em banho de água em ebulição por até 5 minutos para dissolver os glóbulos de gordura e a solução ficar transparente. Posteriormente foi resfriado o tubo em água corrente e adicionado 5 ml de reagente esterificante e agitado, com repetição do processo de aquecimento e resfriamento. Em seguida, adicionou-se 4 ml de solução saturada de NaCl e agitou-se por 30 segundos, na sequência acrescentou-se 5 ml do solvente éter de petróleo e agitou-se por 30 segundos para posterior repouso e injeção do sobrenadante no cromatógrafo modelo GC 2010 (marca SHIMADZU).

4.3 Desenvolvimento da microencapsulação por coacervação complexa do óleo das amêndoas do bacuri

As microcápsulas de óleo das amêndoas do bacuri foram preparadas pelo método de coacervação complexa em meio aquoso, conforme descrito por Alvim e Grosso (2010), com modificações na concentração da solução de gelatina e goma arábica e a alíquota de água destilada na formulação, e quanto ao processo final, durante o resfriamento não houve agitação da solução. As soluções de gelatina e goma arábica e a concentração do núcleo foram baseadas na pesquisa de microencapsulação do óleo da polpa do bacuri (LIMA, 2014).

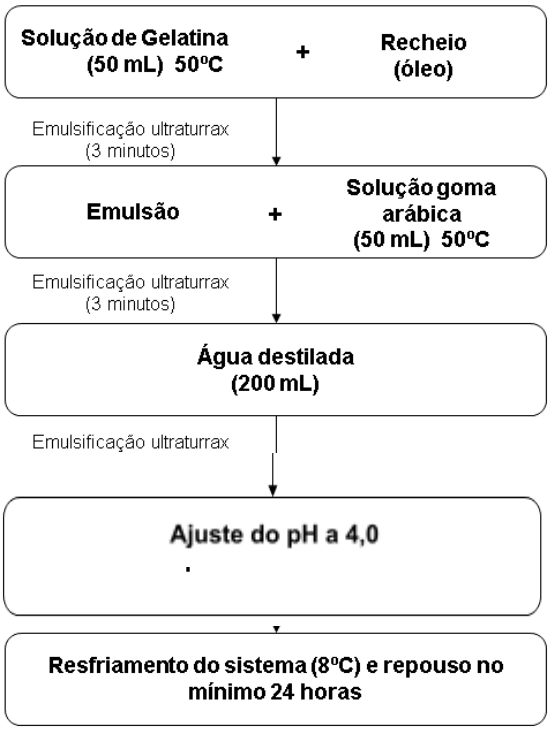
As microcápsulas foram produzidas utilizando como material de parede 50 mL e 100 mL de solução de gelatina e goma arábica na concentração de 2,5%, no qual 50 mL de solução foi incorporada na formulação 1, enquanto os 100 mL de solução de goma arábica e gelatina foram incorporadas nas formulações 2 e 3.

A solução gelatina previamente hidratada e aquecida a 50ºC foi incorporada ao óleo da amêndoa do bacuri nas concentrações 2,5g, 5g e 10g e homogeneizada em Ultra turrax (modelo TE 102, Tecnal) durante 5 minutos a 18000 rpm de velocidade. Em seguida, foi adicionada a solução goma arábica e homogeneizada por 5 minutos e 400 mL de água

destilada e homogeneizada em Ultraturrax durante 3 minutos com a mesma velocidade. Após essa etapa, o pH da suspensão foi ajustado com a solução HCl (0,1M) até atingir o pH 4.

O material foi mantido em refrigeração, em temperatura a 10ºC, permanecendo em repouso por mais de 24 horas, obtendo-se por decantação as partículas encapsuladas na forma de uma fina emulsão, mantidas em congelamento (-18ºC) por 72 horas e depois liofilizadas (modelo Liofilizador L101, marca Liotop) por 24 horas em temperaturas de até -40ºC (LIOLIBRAS, 2012), conforme fluxograma da Figura 2.

Figura 2. Processo de microencapsulação por coacervação complexa do óleo das amêndoas do bacuri.



4.4 Rendimento do processo de microencapsulação

O rendimento das microcápsulas formadas foi calculado a partir da separação das fases obtidas no processo (sobrenadante e sedimento). O sobrenadante foi retirado e peneirado em malha com abertura de 0,075 mm para separação total do sobrenadante e o sedimento. O sedimento foi pesado e o rendimento calculado através da equação 1:

$$R\ (\%) = \frac{MS\,base\ seca}{MT\,base\ seca} \times 100$$

Onde: R é o rendimento de microcápsulas (%), MS base seca a quantidade de microcápsula sedimentada (g) e MT base seca a massa teórica inicial constituída de goma arábica + gelatina + óleo (g).

4.5 Eficiência de microencapsulação

A eficiência da encapsulação foi calculada a partir da quantidade de óleo presente em um grama de microcápsula (base seca) em relação à quantidade de óleo inicialmente inserido no processo de microencapsulação pela equação 2 (BUENO *et al*., 2011).

$$E\ (\%) = \frac{OEM}{OIM} \times 100$$

Onde: E é a eficiência da encapsulação (%), OEM a quantidade de óleo extraído das microcápsulas secas (g) e OIM a quantidade inicial de óleo utilizada na produção das microcápsulas (g).

4.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o tamanho das partículas

A morfologia das partículas liofilizadas foi avaliada com o auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O preparo para a observação por MEV das micropartículas coacervadas liofilizadas consistiu na fixação de pequenas quantidades das amostras em pedaços de fita adesiva metálica de cobre dupla face, aderidos em *stubs* de alumínio de 1 cm de diâmetro por 1cm de altura. Os *stubs* com as amostras foram recobertos por uma fina camada de ouro. Posteriormente, a observação das amostras foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura TM-3000 com aceleração de voltagem de 2.5 a 5.0K (BUENO *et al.,* 2011).

A partir das imagens obtidas MEV, realizaram-se análises dos diâmetros das partículas usando o software ImageJ.

4.7 Microscopia Óptica

As microcápsulas úmidas da formulação com 2.5g de núcleo foram observadas via microscopia ótica para serem analisadas as diferentes estruturas.

Cerca de três gotas da suspensão de microcápsulas foram adicionadas e espalhadas sobre uma lâmina de vidro. Em seguida, as microcápsulas foram visualizadas no microscópio óptico binocular (modelo DM750, Leica) com ampliação de 40 vezes.

4.8 Análise do perfil lipídico e de índices de acidez e peróxido das microcápsulas

Para determinar o perfil lipídico do óleo microencapsulado foi necessário extrair o óleo da microcápsula pelo método Bligh e Dyer (1959) para depois aplicar a metodologia descrita por método descrito por Hartman e Lago (1973) e modificada por Maia e Rodriguez-Amaya (1993).

Além disso, o óleo microencapsulado foi avaliado a estabilidade oxidativa através dos índices de acidez e peróxido segundo o padrão de qualidade estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

4.9 Análise Estatística

Foi realizada uma análise de variância de uma via (ANOVA-*One Way*) com o objetivo de avaliar se havia diferença no tamanho e eficiência entre as formulações das microcápsulas desenvolvidas (F1, F2 e F3). A normalidade dos dados foi avaliada por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. O pressuposto de homogeneidade de variância foi avaliado por meio do teste de Levene.

Foram realizados procedimentos de *Bootstrapping* (1000 re-amostragens; 95% IC BCa) para se obter uma maior confiabilidade dos resultados, para corrigir desvios de normalidade da distribuição da amostra e diferenças entre os tamanhos dos grupos e, também, para apresentar um intervalo de confiança de 95% para as diferenças entre as médias (HAUKOOS; LEWIS, 2008).

Para a Eficiência foi usado o post-hoc de Tukey por ter atendido o critério de homogeneidade (FIELD, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química e perfil lipídico do óleo das amêndoas do bacuri

Os cálculos realizados na análise de óleos e gorduras são frequentemente chamados de índices, que é uma representação de propriedades físicas ou químicas, em vez de uma porcentagem de um elemento. Assim, são determinados indicadores de constantes físicas como iodo, saponificação, acidez, peróxido e índice de refração. São esses indicadores, juntamente com as reações características, que servem para identificar e avaliar a maioria dos

óleos e gorduras, e o resultado da análise é baseado neste conjunto de dados ((INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

Os resultados analíticos dos índices do óleo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos índices de qualidade e conservação do óleo do bacuri

Amostra	Índice de Iodo[1] (gI/100g)	Índice de Saponificação[2] (mg KOH/g)	Índice de Refração[2] (a 40 ºC)	Índice de acidez[1] (mg KOH/g)	Índice de Peróxido[1] (mEq/kg)
Óleo da amêndoa do bacuri	10,33±0,99	191,87±4,21	1,455±0,0005	1,80±0,20	0,46±0,73
Óleo da polpa do bacuri*	43-46	251-282	1,457	4,2	0,0
Óleo da amêndoa do bacuri**	13,53	197,1	-	1,33	7,27

*Fonte: HIANE *et al.,* 2003. ** BARRETO, 2010. Valores médios das determinações em duplicatas[1] e triplicata[2] ± desvio-padrão.

Podem-se destacar da caracterização físico-química que o índice de saponificação demonstra a presença de ácidos graxos de baixo massa molecular no óleo; o índice de refração é utilizado na comparação da massa molar média entre os óleos, relacionado com o grau de saturação das ligações; o índice de iodo determina o grau de insaturação de um óleo; o índice de acidez: revela o estado de conservação do óleo e; o índice de peróxido: indica a rancidez oxidativa de óleos (MACHADO; CHAVES; ANTONIASSI, 2006).

O índice de iodo mede o grau de insaturação de óleos e gorduras, quanto maior o índice, maior a quantidade de ácidos graxos insaturados presentes na amostra (KNOTHE, 2002). Os valores obtidos para o índice de iodo do óleo das amêndoas do bacuri são considerados baixos e indicam que os óleos apresentam pouca presença de ácidos graxos insaturados e assim maior resistência à oxidação. Enquanto, no estudo de Hiane *et al*. (2003) foi analisado o óleo da polpa do fruto por extração a quente, apresentando de 43–46 g I/100g na amostra *in natura*, evidenciando que o óleo obtido da polpa do bacuri possui maior insaturação do que o óleo da amêndoa.

O índice de saponificação varia com a natureza dos ácidos graxos constituintes do óleo, sendo inversamente proporcional a massa molecular média dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes, ou seja, quanto maior o valor do índice de saponificação menor o tamanho da cadeia do ácido graxo do óleo (MORETTO; FETT, 1986).

Os valores encontrados para o índice supracitado nas amostras de óleo das amêndoas do bacuri para o presente estudo foi de 191,87 mg KOH/g, enquanto do estudo de Barreto (2010) foi de 197,1 mg KOH/g e no óleo da polpa do fruto foi de 251-282 mg KOH/g. No Brasil a maior parte dos óleos vegetais consumidos apresentam o valor para saponificação de 181 a 265 mg KOH/g (BRASIL, 2005). Neste contexto, as amostras de óleos apresentados ficaram em conformidade com a recomendação, indicando potencial para comercialização.

O índice de refração depende do número de insaturações presentes e do comprimento de cadeia carbônica é utilizado na comparação da massa molar média entre os óleos, relacionado com o grau de saturação das ligações (CECCHI, 2003). No trabalho de Hiane *et al*. (2003) o índice de refração obtido no óleo da polpa do bacuri foi de 1,457, muito semelhante ao óleo das amêndoas do fruto da presente pesquisa que apresentou 1,455.

Com base nos resultados da Tabela 1, é possível analisar que o óleo das amêndoas do bacuri está dentro dos parâmetros da Resolução de Diretoria Colegiada (RDC n.º 481, 2021) que estabelece o valor máximo de acidez para óleos não refinados de 4 mg KOH/g e valor máximo do índice de peróxido de 15 mEq/Kg, no qual o índice de acidez revela o estado de conservação do óleo e o índice de peróxido indica a rancidez oxidativa de óleos. Desta forma, os óleos das amêndoas de bacuri apresentam-se em conformidade aos padrões de qualidades vigentes, demonstrando sua aplicabilidade nas áreas de ciência de alimentos e nutrição.

O perfil dos principais ácidos graxos presentes no óleo das amêndoas do bacuri está demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Composição de ácidos graxos presente no óleo das amêndoas do bacuri

Ácidos Graxos	**Óleo amêndoas bacuri (%)***	**Óleo amêndoa bacuri (%)****	**Óleo polpa bacuri (%)*****
Ácido Capróico (C6:0)	0,24	NA	NA
Ácido Caprílico (C8:0)	5,13	NA	1,04
Ácido Cáprico (C10:0)	5,21	4,64	NA
Ácido Láurico (C12:0)	35,67	40,56	6,17
Ácido Mirístico (C14:0)	11,82	18,84	3,23

Ácido Palmítico (C16:0)	9,12	12,04	17,13
Ácido Esteárico (C18:0)	3,20	4,71	1,56
Ácido Oleico (C18:1)	26,06	13,65	52,90
Ácido Linoleico (C18:2)	3,34	0,54	11,80

Fonte: Autora, 2021*; BARRETO *et al,* 2010**; HIANE *et al*., 2003. NA: não determinado

Dentre os ácidos graxos identificados no óleo das amêndoas do bacuri, 70,39% deles são saturados e 29,61% são insaturados. Como esperado, o C12:0 (ácido láurico) foi o mais abundante, seguido do C18:1 (ácido oleico). Barreto *et al.* (2010) avaliaram o perfil lipídico da amêndoa do bacuri e o ácido graxo com maior percentual foi o C12:0 (40,56%).

Os ácidos graxos de cadeia média (TCMs) são encontrados nos óleos de palma (*Elaeis guineensis*) e coqueiro (*Cocos nucifera*), da família das palmeiras *Arecaceae*, como também tem em fonte animal, encontrado nos leites (EDEM, 2002). O fruto do bacuri pertence à família *Arecaceae*, e com base no resultado do perfil lipídico é possível afirmarmos que as amêndoas do bacuri são fontes lipídicas de triglicerídeos de cadeia média (NEGRELLE, 2015).

Desde a década de 1950, os TCMs têm sido utilizados como fonte de energia imediata e podem ser utilizados no controle da obesidade. Uma pesquisa relatou que dieta rica em TCM pode levar ao aumento da oxidação de gordura e aumento do gasto energético em adultos saudáveis alimentados com 2% de TCM na dieta por 3 meses. Essa fonte lipídica serve como fonte de energia imediata para desportistas, atletas e também para indivíduos com incapacidade de metabolizar o açúcar devido à idade avançada. Adicionalmente, o consumo de TCM está relacionado ao aumento da saúde psicológica e melhorando a memória (ZHANG *et al*., 2015).

Os substratos energéticos do músculo esquelético durante a atividade física incluem carboidratos e lipídios. Os carboidratos são mais eficientes na produção de trifosfato de adenosina (ATP), mas, recentemente estudos têm sido voltados para a utilização de lipídios no exercício. O estudo realizado por Ooyama e colaboradores (2008) mostrou uma redução significativa de gordura visceral e obteve um aumento do gasto energético em ratos que ingeriram TCM combinados ao exercício de corrida.

Ishizawa *et al*. (2015) conduziram um estudo com o objetivo de avaliar as adaptações dos músculos esqueléticos com relação às intervenções dietéticas que afetam o metabolismo energético. Os ratos *Wistar* de 5 semanas de idade foram divididos em três grupos: um grupo recebeu dieta padrão, o segundo dieta hiperlipídica com um perfil lipídico rico em TCM, e o

último grupo recebeu uma dieta hiperlipídica, porém rico em TCL (triglicerídeos de cadeia longa) por 4 semanas sem restrições, e em seguida os animais foram eutanasiados para coletarem amostras de sangue e tecidos. Os autores concluíram que uma dieta rica em TCM aumentou significativamente a atividade de mitocondrial, uma organela importante para o metabolismo energético.

Uma pesquisa realizada com 8 mulheres saudáveis entre 20 a 24 anos de idade receberam um suplemento de 332 kcal (0% de proteína, 83,7 % de carboidratos e 16,3% lipídios) ou 332 kcal (0% de proteína, 100% de carboidratos e 0% de lipídios), o TCM ofertado foi o ácido graxo caprílico (C8) e cáprico (C10), enquanto a fonte de carboidratos foi de maltodextrina. As participantes consumiram o suplemento supracitado 1 horas antes do exercício físico, os testes foram realizados por 40 minutos de exercício de intensidade moderada seguidos de exercícios de alta intensidade até a exaustão (modalidade de pedalada em bicicleta) durante duas semanas. Os resultados sugerem que a ingestão de 6g de TCM com maltodextrina em atletas aumentou a oxidação de gordura durante o exercício com carga de subsequente com uma carga de trabalho de 70% do volume de oxigênio máximo ($VO_{2\ max}$), em comparação com a ingestão de maltodextrina isolada (NOSAKA *et al.,* 2018).

Desde 2010, intensificaram-se as publicações de artigos científicos sobre os efeitos da ingestão de TCM na composição corporal, perda de peso e gasto de energia. Um estudo realizado em pacientes obesos que receberam cerca de 2g de TCM por dia durante duas semanas, resultou em aumento da oxidação de gorduras durante exercícios de baixa intensidade (WATANABE; TSUJINO, 2022).

Sabe-se que a ingestão de gorduras saturadas está associada ao aumento dos níveis de colesterol sanguíneo, sendo um alerta para a saúde cardiovascular. Contudo, os lipídios saturados de cadeia média não aumentam os triglicerídeos no sangue, fato explicado devido ao processo de metabolização ser distinto. Os TCMs e seus produtos de degradação são transportados diretamente para o fígado através da veia porta sem a necessidade de formar micelas para sua absorção, sendo a porcentagem transportada através da veia porta inversamente correlacionada ao comprimento da cadeia do ácido graxo, ocorrendo em quase toda a cadeia do C8:0 e cerca de 60% de C12:0 migrando para a veia porta. Portanto, os TCMs não são constituintes da composição da lipoproteína denominada quilomícrons no trato gastrointestinal, diferente dos triglicerídeos de cadeias longas e, consequentemente, não aumentam os triglicerídeos sanguíneos pós-prandial (WATANABE; TSUJINO, 2022).

O segundo ácido graxo com maior percentual (26,06%) na composição do óleo das amêndoas do bacuri é o C18:1 (ácido oleico), um ácido graxo monoinsaturado (MUFA) que

pertence à série ômega-9, no qual o azeite de oliva está entre os óleos mais ricos no C18:1 (64%). O ômega-9 auxilia na redução plasmática das lipoproteínas de baixa densidade (LDL-colesterol) e colesterol total, sendo seu consumo benéfico para saúde por meio da redução do risco de doenças cardiovasculares (NOGUEIRA-DE-ALMEIDA *et al*., 2018).

5.2 Desenvolvimento e Caracterização do óleo microencapsulado das amêndoas do bacuri

5.2.1 Rendimento e eficiência das microcápsulas

A composição e condições das formulações das microcápsulas foram baseadas no estudo realizado por Lima (2014). A velocidade e a temperatura foram padronizadas nas três formulações, enquanto os polímeros e os recheios das alíquotas foram diferenciados.

Na Tabela 3 podemos visualizar as formulações e os valores médios do rendimento das microcápsulas.

Tabela 3. Composição, condições de obtenção, rendimento e eficiência das formulações das microcápsulas do óleo das amêndoas de bacuri

Formulação	Polímeros (g)	Recheio (g)	Rendimento Médio (%) ± DP	Eficiência Média (%) ± DP	Mínimo e máximo (%)
F1	Gelatina: 1,25 Goma arábica: 1,25	2,5	70,66 ± 6,53	$94,99 \pm 6,42^{a}$	84,39 - 99,95
F2	Gelatina: 2,5 Goma arábica: 2,5	5	76,61± 2,90	$83,68 \pm 3,38^{b}$	78,27 - 86,44
F3	Gelatina: 2,5 Goma arábica: 2,5	10	79,31±6,48	$68,26 \pm 5,59^{c}$	61,59 - 73,73

Tº: temperatura: 50ºC; Velocidade (RPM): 18000. Médias ± DP (Desvio Padrão) dos testes realizados em 5 replicatas. Valor p obtido pelo teste ANOVA (p=0,079). Letras na coluna diferem significativamente pelo teste ANOVA e post hoc de Tukey (p=0,0001). Fonte: A autora.

Não houve diferença significativa, segundo teste ANOVA (p=0,079), no rendimento médio das formulações desenvolvidas com diferentes teores de núcleo de óleo das amêndoas do bacuri. As três formulações obtiveram um resultado superior a 70% de rendimento, indicando que o processo do coacervado, ou seja, os polímeros utilizados, a goma arábica e a gelatina foram eficazes na formação das partículas para a conservação do óleo, indicando uma boa proporção da formulação. Quanto aos satisfatórios resultados observados de rendimento, podemos correlacionar com as seguintes variáveis: a quantidade de encapsulantes na

proporção ideal, baixas temperatura de aquecimento e alta velocidade de homogeneização adequadas.

Segundo Siow e Ong (2013), quando a quantidade de encapsulantes estão em excesso no sistema, a presença de cargas não neutralizadas reduzirá a atração entre um dos coloides, desta forma, o resultado do rendimento será inferior. Conforme Prata e Grosso (2015), quanto menor a temperatura de aquecimento, ocorre o favorecimento da separação das fases e, consequentemente maior o rendimento da microencapsulação e as altas velocidades de homogeneização da emulsão contribuem positivamente na formação das microcápsulas.

Em pesquisas realizadas com microencapsulação por coacervação complexa de óleos de frutos do Cerrado e Pantanal, como no óleo da polpa do bacuri, que teve um rendimento de 67 a 88% (LIMA *et al*., 2019), e do pequi de 67 a 97% (JUSTI; SANJINEZ-ARGANDOÑA; MACEDO, 2018), evidenciam que os resultados de rendimento podem apresentar ampla variação, sofrendo forte influência das condições das variáveis utilizadas para sua obtenção e consequente formação das microcápsulas dos óleos.

Entretanto, o alto valor de rendimento não necessariamente significa que as mesmas apresentam o núcleo da microcápsula preenchido com óleo, portanto a caracterização da eficiência da microencapsulação por coacervação complexa deve ser considerada (JUSTI; SANJINEZ-ARGANDOÑA; MACEDO, 2018).

A análise de eficiência apresentou homogeneidade de variância e foi analisada por ANOVA e post hoc de Tukey, havendo diferença significativa (p=0,0001) entre as três formulações desenvolvidas, sendo que F1 teve média superior às demais e F3 foi estatisticamente inferior, podendo ser analisado os resultados na Tabela 3.

A média de resultados da eficiência da metodologia empregada variou entre 68,26% a 94,99%, comparando-se com os estudos dos óleos da polpa do bacuri (18,76% a 70,72%) e do óleo do pequi (66,58 a 96,86%), a eficiência do presente estudo foi superior (LIMA *et al*., 2019; JUSTI; SANJINEZ-ARGANDOÑA; MACEDO, 2018).

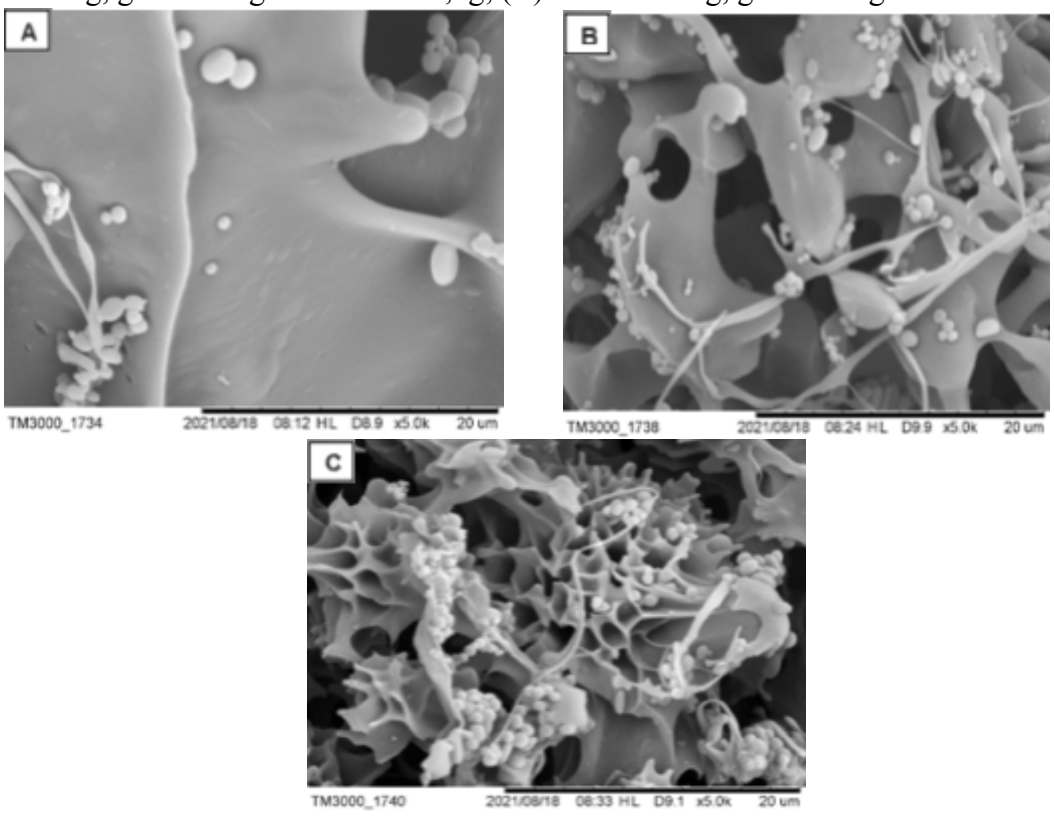
A variação nos valores de eficiência pode ser atribuída ao material ativo usado, segundo Zuanon *et al.* (2013), uma vez que quantidades menores de preenchimento aumentam a possibilidade de polímeros cobrirem a gota do óleo, permitindo maior eficiência. Até o presente momento, o óleo das amêndoas de *A. phalerata* foi microencapsulado com alto rendimento e alta eficiência.

5.2.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o tamanho das partículas

A estrutura das microcápsulas obtidas foi avaliada pela MEV para a determinação aproximada do tamanho das cápsulas e para a observação de sua morfologia.

Pela observação das imagens de microscopia eletrônica de varredura na Figura 3, verificaram-se que independente da formulação utilizada para a formação das microcápsulas (Tabela 3), resultou na obtenção de amostras compostas por partículas com paredes contínuas, lisas, sem rachaduras evidentes, sendo um bom indicativo de que o recheio foi protegido.

Figura 3. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de micropartículas coacervadas liofilizadas produzidas. (A): Recheio 2,5g, gelatina e goma arábica 1,25g; (B): Recheio 5g, gelatina e goma arábica 2,5g; (C): Recheio 10g, gelatina e goma arábica 2,5g.



As partículas formadas apresentaram tamanhos variados, os valores mínimos e máximos identificados para F1 foi de 0,591 a 2,560 μm, a F2 apresentou entre 1,116 a 4,136 μm, e por fim na F3 obteve-se uma variação 0,810 a 3,151 μm.

Segundo Favaro-Trindade, Pinho e Rocha (2008) os valores esperados para microcápsulas são inferiores a 500 μm, sendo que o tamanho de partícula pode ser influenciado por tempo e velocidade de agitação, viscosidade, a quantidade do recheio e polímeros, pH, a taxa de resfriamento e a secagem. Assim, as três formulações desenvolvidas no presente estudo apresentaram os diâmetros dos coacervados em conformidade com o parâmetro esperado, sendo classificadas como micropartículas.

Ressalta-se que as microcápsulas para aplicação em produtos alimentares devem ser inferiores a 100 μm, com o objetivo de evitar a percepção sensorial na boca (KAUSHIK *et al.*, 2015). Avaliando os resultados, as micropartículas obtidas nesse estudo podem ser empregadas na área de alimentos. Adicionalmente, o tamanho menor dos coacervados indica uma membrana mais fina, tornando o núcleo mais fácil de ser difundido pela membrana das microcápsulas e tendo uma liberação do recheio controlada (SANCHES *et al*., 2016).

A microencapsulação do óleo de bacuri por coacervação complexa pode retardar sua liberação no sistema digestivo, uma vez que os coacervados são insolúveis no pH ácido do estômago, fazendo com que esse nutriente chegue ao íleo sem ser digerido. Por sua vez, o estímulo do íleo por alimentos pouco digeridos libera hormônios intestinais, cujas ações interferem positivamente no controle da obesidade e em distúrbios metabólicos associados, sobretudo na resistência periférica à insulina (STRADER, 2006).

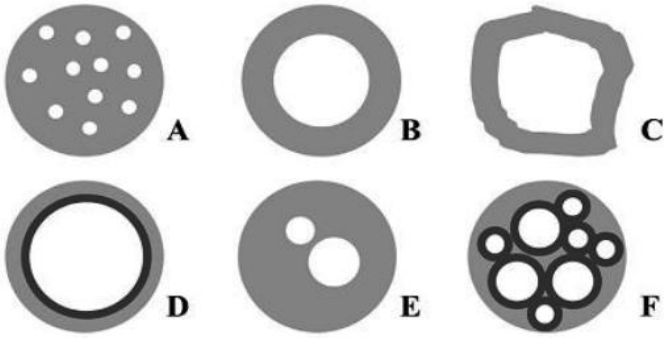
Diante da caracterização das micropartículas, as três formulações desenvolvidas estão de acordo com os padrões recomendados, contudo, a F1 teria mais vantagem por apresentar maior percentual de eficiência em detrimento das demais. Diante disso, a caracterização da morfologia, do perfil lipídico e as análises de índices de peróxido e acidez foram avaliadas apenas para formulação 1.

5.2.3 Microscopia óptica

A caracterização morfológica das microcápsulas é uma análise essencial, pois através dela é possível observar visualmente a ocorrência da formação das microcápsulas, a integridade das paredes e também a distribuição de tamanho e do material encapsulado (ROSENBERG; TALMON; KOPELMAN, 1988).

As microcápsulas podem ser classificadas como polinucleares ou mononucleares, conforme o núcleo esteja ou não dividido no interior da partícula revestida. Além disso, elas podem ter distinguidas morfologias, conforme a Figura 4.

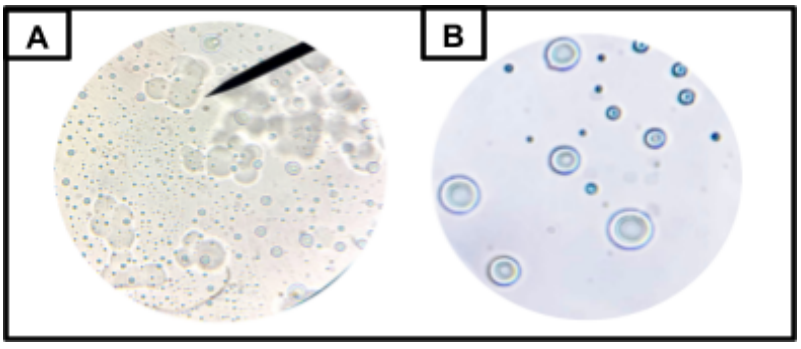
Figura 4. Morfologia de diferentes tipos de microcápsulas: (A) matriz; (B) microcápsula simples (mononuclear); (C) microcápsula simples irregular; (D) microcápsula com duas paredes; (E) microcápsula com vários núcleos (polinuclear ou multinuclear); (F) agrupamento de microcápsulas.



Fonte: Adaptado de Estevinho *et al.* (2013).

De acordo com os resultados obtidos pela microscopia ótica (Figura 5), a estrutura formada no processo de microencapsulação classifica-se em microcápsula mononucleada e predominante de partículas com duas paredes, conforme Estevinho *et al. (*2013).

Figura 5. Microscopia óptica da emulsão da formulação F1. Imagem (A): 40 vezes de ampliação; (B): zoom da imagem A.



Fonte: A autora (2022).

5.2.4 Perfil lipídico do óleo microencapsulado das amêndoas do bacuri

Para a aplicação das microcápsulas em experimentos e subsequente desenvolvimento de produtos, é necessário a determinação da composição de ácidos graxos do óleo que foi

microencapsulado. Na Tabela 5 encontram-se os percentuais de ácidos graxos do óleo das amêndoas do bacuri microencapsulado (F1), bem como sua comparação com óleo não microencapsulado (Tabela 2).

Tabela 4. Comparação da composição de ácidos graxos do óleo das amêndoas do bacuri microencapsulado e não microencapsulado

Ácido Graxo	Óleo Microencapsulado (%)	Óleo não encapsulado (%)
Ácido Capróico C6:0	3,30	0,24
Ácido Caprílico C8:0	4,30	5,13
Ácido Cáprico C10:0	4,58	5,21
Ácido Láurico C12:0	23,53	35,67
Ácido Mirístico C14:0	7,73	11,82
Ácido Palmítico C16:0	6,82	9,12
Ácido Oleico C18:1	16,26	26,06

Fonte: A autora.

Observando os resultados da Tabela 4, os percentuais dos ácidos graxos do óleo microencapsulado sofreram redução nos seus valores em detrimento dos teores encontrados para os ácidos graxos no óleo puro, com exceção do ácido graxo C6:0.

A degradação dos ácidos graxos nos óleos vegetais pode estar ligada ao tipo de via inicial da oxidação e também com a posição dos ácidos graxos na estrutura do triacilglicerol, e não apenas ao grau de insaturações dos ácidos graxos (BRANCO, 2013). Com relação ao ácido graxo cáprico ou hexanoico (C6:0) no óleo microencapsulado não ter sofrido redução como houve nos demais, uma possível explicação seria devido o ácido graxo hexanoico apresentar um efeito indutor de resistência as espécies reativas de oxigênio (CALZADO, 2019).

Estudos avaliaram o efeito antioxidante do extrato hexanoico da semente do abacate e do fruto puruí (casca, sementes e a polpa) através da extração com o solvente hexano no aparelho de Soxhlet em temperatura acima de 50ºC. O extrato hexanoico do puruí e da semente do abacate apresentaram positivamente uma ação antioxidante (PECCIN *et al.*, 2021; ARAÚJO; YAMAGUCHI; ROCHA, 2018). Correlacionando com o presente estudo, o óleo das amêndoas do bacuri microencapsulado pode ter uma concentração do extrato hexanoico significativa e ter o efeito antioxidante, sendo assim, uma possível hipótese apontada para o aumento nos teores do ácido graxo C6:0 na amostra microencapsulada.

5.2.5 Análise de índices de acidez e peróxido de microcápsulas

Após a produção das microcápsulas da formulação 1 contendo o óleo das amêndoas do bacuri, foram analisados os índices de peróxido e acidez para avaliar a estabilidade oxidativa da amostra de óleo microencapsulado e verificar a eficácia do processo de microencapsulação.

Os resultados obtidos para o índice de acidez foi de 0,70 mg KOH/g e não detectou peróxido na amostra, os quais estão no esperado para a normalidade em óleos vegetais, conforme a RDC nº 481 (BRASIL, 2021).

Fazendo uma comparação dos resultados dos índices supracitados com o óleo microencapsulado e os resultados obtidos na Tabela 1 para o óleo das amêndoas sem o processo de microencapulação, é perceptível que os resultados da amostra do óleo microencapsulado foram inferiores, sendo 1,80 mg KOH/g para o índice de acidez e 0,46 mEq/kg para o índice de peróxido no óleo sem microcápsulas, respectivamente.

Estes índices são importantes por avaliarem o estado de conservação de óleos e gorduras, e caso estes índices estejam acima da recomendação, indica um óleo alterado que pode ser resultado do processo de oxidação, hidrólise e fermentação (BRASIL, 2005). A decomposição dos triagicerídeos é acelerada por aquecimento, o contato com o oxigênio e a luz, além disso, quanto maior o tempo de armazenamento de óleo a formação de acidez será crescente dependendo das condições de armazenamento (FREIRE; MANCINI-FILHO; FERREIRA, 2013).

No presente estudo após a extração do óleo das amêndoas do fruto, o mesmo foi armazenado sob temperatura de -18ºC por 30 dias, e posteriormente aplicado a técnica de microencapsulação. E quanto a análise dos índices das microcápsulas úmidas foram determinados com 30 dias de armazenamento (-18ºC), ou seja, após 60 dias de armazenamento os resultados foram positivos para a conservação.

Diante dos adequados resultados dos índices de acidez e peróxido avaliados no óleo das amêndoas de bacuri sem microencapsulação e no microencapsulado é possível compreender que o processo da extração do óleo e as condições de armazenamento até a aplicação da microencapsul

6 CONCLUSÃO

O óleo das amêndoas do bacuri (*Attalea phalerata* Mar. Ex. Spreng*)* se destaca pela composição lipídica de ácidos graxos de cadeia média, em especial do ácido graxo láurico (C12:0), seguido do ácido graxo insaturado oleico (C18:1).

Os resultados apresentados neste estudo demonstram ser possível microencapsular o óleo das amêndoas desse fruto do Cerrado e Pantanal por coacervação complexa, independente da composição das três formulações desenvolvidas, contudo, a formulação 1, desenvolvida com menor teor de recheio contendo os polímeros goma arábica e gelatina, foi mais eficiente em detrimento das demais.

Os índices de conservação do óleo de bacuri apresentaram-se dentro das recomendações da legislação brasileira e a técnica de microencapsulação por coacervação complexa mostrou-se uma alternativa interessante para preservação dos compostos lipídicos.

A partir destes resultados, sugerem-se futuros estudos para aplicar as microcápsulas do óleo das amêndoas do bacuri no setor alimentício, além de avaliar o efeito do perfil lipídico microencapsulado na saúde e com destaque no âmbito esportivo.

7 REFERÊNCIAS

ALVIM, I. D. **Produção e caracterização de micropartículas obtidas por spray drying e coacervação complexa e seu uso para alimentação de larvas de peixes.** 2005. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/bolsas/80674/producao-e-caracterizacao-de-microcapsulas-produzidas-por-spray-drying-e-coacervacao-complexa-e-seu/>.

ALVIM, I. D.; GROSSO, C. R. F. Microparticles obtained by complex coacervation: influence of the type of reticulation and the drying process on the release of the core material. **Journal Food Science and Technology**, v. 30, n. 4, p. 1069-1076, 2010. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/cta/a/RSrG8PT37tHBrwpPcHLPxDn/?lang=en >.

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists – **Official methods of analysis**, W. Horwtz, ed. 15, Washington, D.C., 2005.

ARAÚJO, L. A. de. **Estudo das propriedades físicas, químicas e termofísicas de óleos regionais e suas misturas.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Instituto de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: < https://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2008/Licia%20Araujo.pdf>.

ARAÚJO, E.; YAMAGUCHI, K. K. L.; ROCHA, W. C. Avaliação da atividade antioxidante dos extratos hexanóico dos frutos do puruí (Alibertia edulis) e do extrato acetato de etila de jenipapo verde (Genipa americana). *In:* 58º Congresso Brasileiro de Química, 2018, São Luís. **Anais.**

AUGUSTIN, M. A.; HEMAR, Y. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. **Journal Chemical Society Reviews**, v. 38, n. 4, p. 902-912, 2009. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19421570/>.

AVIDO, M. F.; FERREIRA, L. T. Frutos dos cerrados: preservação gera muitos frutos. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, p. 36-41, 2011.

AZEVEDO, W. M.; OLIVEIRA, L. F. R. de; ALCÂNTARA, M. A.; CORDEIRO, A. M. T. M; DAMASCENO, K. S. F. S. C.; ARAÚJO, N. K. de; ASSIS, C. F. de; SOUZA JÚNIOR, F. C. Physicochemical characterization, fatty acid profile, antioxidant activity and antibacterial potential of cacay oil, coconut oil and cacay butter. **Plos One**, v. 15 n4 p.1-11, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7188257/>.

BARRETO, A. C. **Óleo e biodiesel de uricuri (Scheelea phalerata Mart. Ex Spreng)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5190/8/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Andreza%20Cruz%20Barreto>.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BUENO, C. M. M**. Extração e caracterização de gelatina de pele de tilápia e aplicação como agente encapsulante de óleo de salmão em micropartículas obtidas por coacervação complexa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: < https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_049058419094a430b83d0502814905e4 >.

BUENO, C. M.; ALVIM, I. D.; KOBERSTEIN, T. C. R. D.; PORTELLA,M. C. Produção de gelatina de pele de tilápia e sua utilização para obtenção de micropartículas contendo óleo de salmão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 1, p. 65-73, 2011. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/274681937_Producao_de_gelatina_de_pele_de_tilapia_e_sua_utilizacao_para_obtencao_de_microparticulas_contendo_oleo_de_salmao >.

BUENO, L. Efeito do triglicerídeo de cadeia média, fibra e cálcio na disponibilidade de ferro, magnésio e zinco em uma formulação de alimentação enteral com otimização conjunta para os três minerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n.1, p.125-134, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/yGwd6kTK4Hp5D74ydwYnjcN/?lang=pt>.

BRANCO, V. N. C. **Transformações químicas na oxidação acelerada de óleos vegetais e sua relação com a capacidade antioxidante total, uma abordagem multivariada.** 2013. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) - Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL . Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 270, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal. **Diário Oficial da União Brasília**, DF, 23 set. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde.. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da diretoria colegiada – **RDC nº 481**, de 15 de março de 2021. Brasília: Ministério da Saúe, 2021. Disponível em: < https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-481-de-15-de-marco-de-2021-309012789>.

CALZADO, N. F. **O ácido hexanoico pode modular o metabolismo antioxidante e o metabolismo nitrosativo em cafeeiro**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Biológicas) – Instituto Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019. Disponível em < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/183186/calzado_nf_me_rcla.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas, SP: 2 Ed, p. 207, 2003.

CUNHA, F. C.; SEMIDEI, R.; BARBOSA, I. P.; BARBOSA, L.; MYAGUSKU, L.; MACEDO, M. L. R.; HIANE, P. A.; SANCHES, F. L. F. Z. Desenvolvimento alimentar proteico com amêndoas do bacuri (*Attalea phalerata* Mart. Ex. Spreng.) para esportistas vegetarianos. *In*: CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M. da; BARRETO, M. S. E. **Ciência & Tecnologia de Alimentos** : Pesquisa e Práticas contemporânea [*S.I*]: Editora científica digital, 2021. p. 445-456. Disponível em: < https://www.editoracientifica.org/articles/code/210805844 >.

CUNHA, F. C.; SIQUEIRA, I. F.; PELLEGRIN, J.; SOUZA, A. V. O. M.; VASCONCELOS, M. P.; CANDIDO, C. J.; SANTOS, E. F. dos; HIANE, P. A.; SANCHES, F. L. F. Z. Developmente of ceral bars using bacuri pulp flour for sportsmen: Nutritional composition and sensory acceptability. **Internatitional Journal of developmente research**, v.08, p.18947 - 18953, 2018.

EDEM, D. O. Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects: A review. **Plant Foods for Human Nutrition** , v. 57, p. 319–41, 2002.

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

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de Ingredientes Alimentícios. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 11, p. 103-112, 2008.

FETT, C. A.; PETRICIO, A.; MAESTÁ, N.; CORREA, C.; CROCCI, A. J.; BURINI, R.C. Suplementação de Ácidos Graxos Ômega-3 ou Triglicerídios de Cadeia Média para Indivíduos em Treinamento de Força**. Revista Motriz**, v. 7, n. 2, p. 83-91, jul-dez, 2001. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/228785466_Suplementacao_de_acidos_graxos_omega-3_ou_trigliceridios_de_cadeia_media_para_individuos_em_treinamento_de_forca >.

FREIRE, P. C. M.; MANCINI-FILHO, J.; FERREIRA, T. A. P. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, v. 26, n. 3, p. 353-368, 2013. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/rn/a/LzJ7Wc4c5zNhcpJFsmSKYLz/?format=pdf&lang=pt>.

FIELD, A. **Descobrindo a Estatística Usando o SPSS**. 5ª ed. Porto Alegre: Penso, 2020.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fat acids methil esters. **Laboratory and Practice**, London, v. 22, n. 475-476, 1973.

HAUKOOS, J. S.; LEWIS, R. J. Advanced statistics: Bootstrapping confidence intervals for statistics with "difficult" distributions. **Academic Emergency Medicine**, v. 12, n. 4, p. 360-365, 2008. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15805329/>.

HIANE, P. A.; BOGO, D.; RAMOS, M. I. L.; FILHO, M. M. R. Carotenóides pró-vitamínicos A e composição em ácidos graxos do fruto e da farinha do bacuri (*Scheelea phalerata* Mart.). **Revista Ciência de Tecnologia de** Alimentos, v. 23, n. 2, p. 206-209, maio-ago., 2003. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/cta/a/xBTGCJXp3pVYZNjmd5GJxnR/abstract/?lang=pt>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil:** compatível com a escala 1: 250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

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

ISHIZAWA, R.; MASUDA, K.; SAKATA, S.; NAKATANI, A. Effects of Different Fatty Acid Chain Lengths on Fatty Acid Oxidation-Related Protein Expression Levels in Rat Skeletal Muscles. **Journal of Oleo Science**, v. 64, n. 4, p. 415-421, 2015. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos/64/4/64_ess14199/_article >.

JUSTI, P. N.; SANJINE-ARGANDOÑA, E. J.; MACEDO, M. L. R. Microencapsulation of pequi pulp oil by complex coacervation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, p. 1-12, 2018. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/rbf/a/sXvcwtsqSVmbnmF4ZyT4RsH/?lang=en>.

KAUSHIK, P. DOWLING, K.; BARROW, C. J.; ADHIKARI, B. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. **Journal of Functional Foods**, v. 19, p. 868-881, 2015. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S175646461400228X?via%3Dihub>.

KAWANO, A. C.; SANTOS, E. F. dos; SANCHES, F. L. F. Z. Utilização da farinha de bacuri no desenvolvimento de bolo hiperproteico para esportistas: Caracterização química e sensorial. **Multitemas (UCDB)**, v.26, p.11 - 26, 2020.

KNOTHE, G. Structure indices in FA chemistry. How relevant os the iodine value? **Journal of The American Oil Chemists Society**, v. 79, n. 9, p. 847-854, 2002. Disponível em: <http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/J.AOCS/J.AOCS/2002/no.9/v.79n9p847-854.pdf>.

LIMA, F. F. **Microencapsulação do óleo de bacuri por coacervação complexa: Obtenção, caracterização e avaliação biológica.** 2014. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Grande Dourados, Dourados, 2014. Disponível em: < https://docplayer.com.br/28979539-Microencapsulacao-do-oleo-de-bacuri-por-coacervacao-complexa-obtencao-caracterizacao-e-avaliacao-biologica.html>.

LIMA, F. F. de; LESCANO, C. H.; OLIVEIRA, E. F. R. de; FAKHOURI, F. M.; MORAES, I. C. F.; KASSUYA, C. A. L.; SANJINEZ-ARGONDOÑA, E. J. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 55, p. 1-9, 2019. Disponível em:< https://www.scielo.br/j/bjps/a/bFjmYGxF3jKQnGtxcbhrsKJ/?format=pdf&lang=en>.

LIOLIBRAS. **Manual de instruções:** Liofilizadores L101. São Carlos: Liolibras, 2012.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006. Disponível em : <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/413500>.

MARFIL, P. H. M. **Microencapsulação de óleo de palma por coacervação complexa em matrizes de gelatina/goma arábica e gelatina/alginato**. 2014. 156 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/122169?show=full>.

MAIA, E. L.; RODRIGUES-AMAYA, D. B. R. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 53, p. 27-35, 1993.

MORETTO, E.; FETT, R. **Óleos e gorduras vegetais**: processamento e análises. Florianópolis: UFSC, 1986.

MUTOH, T.; KUNITOK, K.; TATEWAKI, Y.; YAMAMOTO, S.; THYREAU, B.; MATSUDAIRA, I.; KAWASHIMA, R.; TAKI, Y. Impact of medium-chain triglycerides on gait performance and brain metabolic network in healthy older adults: a double-blind, randomized controlled study. **Journal GeroScience**, v. 44, p. 1325-1338, 2022. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35380356/>.

NEGRELLE, R. R. B. *Attalea phalerata* MART. EX SPRENG.: ASPECTOS BOTÂNICOS, ECOLÓGICOS, ETNOBOTÂNICOS E AGRONÔMICOS. **Revista Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1061-1066, out.-dez., 2015. Disponível em: < https://www.scielo.br/j/cflo/a/Jp4hz9FfWtrpHJSQYVdngdr/?lang=pt>.

NEUDORF, H.; JACKSON, G.; LITTLE, J. P. Examining the Effect of Consuming C8 Medium-Chain Triglyceride Oil for 14 Days on Markers of NLRP3 Activation in Healthy Humans. **Journal of Nutrition and Metabolism,** v. 2022, p. 1-10, april, 2022. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35433045/>.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, C. A.; UED, F. V.; NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, C. C. J. N.; ALMEIDA, A. C. F.; CIAMPO, L. A. D.; FERRAZ, I. V.; SILVA, L. F. O. da; ZAMBOM, C. R.; OLIVEIRA, A. F. Perfil nutricional e benefícios do azeite de abacate (*Persea americana*): uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 2-12, maio, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/3tNLKtWVBr6T4dFRWPMKF9P/?format=pdf&lang=pt>.

NOSAKA, N.; SUZUKI, Y.; SUEMITSU, H.; KASAI, M.; KATO, K.; TAGUCHI, M. Medium-chain Triglycerides with Maltodextrin Increase Fat Oxidation during Moderate-intensity Exercise and Extend the Duration of Subsequent High-intensity Exercise. **Journal of Oleo Science**, v. 57, n. 11, p. 1455-1462, 2018. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30404966/#:~:text=In%20conclusion%2C%20continuous%20ingestion%20of,ingestion%20of%20isoenergic%20maltodextrin%20alone.>.

OOYAMA, K.; WU, J.; NOSAKA, N.; AOYAMA, T.; KASAI, M. Combined Intervention of Medium-Chain Triacylglycerol Diet and Exercise Reduces Body Fat Mass and Enhances Energy Expenditure in Rats. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, n. 54, p.136-141, 2008. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jnsv/54/2/54_2_136/_article/-char/ja/>.

PECCIN, M. M.; BERNARDI, J. L.; NASCIMENTO, L. H.; AMBRÓSIO, N.; CANSIAN, R. L.; PAROULD, N.; STEFFENS, C. Caracterização físico-química da farinha e dos extratos das sementes de abacate (*Persea americana* (Mill.) *Lauraceae*). **Revista Colombiana de Ciências Químico Farmacêuticas,** v. 51, n. 1, p. 369-386, 2022. Disponível em: < https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/95598/83890>.

PRATA, A.; GROSSO, C. Influence of the oil phase on the microencapsulation by complex coacervation. . **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.92, n.7, p.1063-1072, 2015. Disponível em: < https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-015-2670-z>.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids - A review**. Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 7, p. 726–740, 2010. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157510001298>.

ROSENBERG, M.; TALMON, Y.; KOPELMAN, I. J. The microstructure of spraydried microcapsules. **Food Microstructure**, v. 7, p. 15-23, 1988.

SANCHEZ, F. M.; GARCÍA, F.; CALVO, P.; BERNALTE, M. J.; GONZÁLEZ-GÓMES, D. Optimization of broccoli microencapsulation process by complex coacervation using response surface methodology. **Innovative FoodScience e Emerging Techologies**, v. 34, p. 243-249, 2016. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146685641630025X>.

SEMIDEI, R.; CUNHA, F. C.; SOUZA, R. S.; MACEDO, M. L. R.; HIANE, P. A.; RAFACHO, B. P. M.; SANCHES, F. L. F. Z. Protein supplement obtained from almonds of bacuri fruit (Attalea

phalerata Mart. Ex Spreng.): elaboration, nutritional characterization and sensory acceptability. **International Journal for innovation education and research**, v.8, p.232 - 247, 2020.

SIOW, L. F.; ONG, C. S. Effect of pH on garlic oil encapsulation by complex coacervation. **Journal of Food Processing e Technology**, v. 4, n. 1, p. 1-5, 2013. Disponível em: < https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/effect-of-ph-on-garlic-oil-encapsulation-by-complex-coacervation-2157-7110.1000199.pdf >.

SOUZA, I. C.; SILVA, V. P de O.; SEGUNDO, R. P. L.; DIAS, M. M. F.; SILVA, J. P.; DUARTE, K.S. The effect of aerobic exercise on randomized rats supplemented with extra. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27795-27806. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/10091/8442>.

STRADER, A. P. Ileal transposition provides insight into the effectiveness of gastric bypass surgery. **Physiology Behavior,** v. 88, p. 277-282, 2006. Disponível em: < https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16782138/>.

SUAVE, J.; PEZZIN, A. P. T; SILVA, D. A. K.; MEIER, M. M.; SOLDI, V. Microencapsulação: inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente/ Health and Environment Journal**, v. 7, n. 2, dez., 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/A-Pezzin/publication/228663357_Microencapsulacao_Inovacao_em_diferentes_areas/links/5594102c08ae21086d1ebdb6/Microencapsulacao-Inovacao-em-diferentes-areas.pdf>.

VALERIUS, G.; SPINELLI, R. B.; ZANARDO, V. P. S.; SANTOLIN, M. Utilização do óleo de coco na redução de peso e circunferência abdominal em praticantes de atividade física de uma academia de um município no Norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 12. n. 76. Suplementar 2. p. 1036 - 104. jan./dez. 2018. Disponível em: <http://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/1207/847>.

XIAO; J. X.; HUANG, G. Q.; WANG, S. Q.; SUN, Y. T. Microencapsulation of capsanthin by soybean protein isolate-chitosan coacervation and microcapsule stability evaluation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 1, p. 1-7, 2014.

ZHANG, W.; HUAI, Y.; MIAO, Z.; QIAN, A.; WANG, Y. . Systems Pharmacology for Investigation of the Mechanisms of Action of Traditional Chinese Medicine in Drug Discovery. **Frontiers in Pharmacology**, v. 10, 2019.

ZUANON, L.A.C.; MALACRIDA, C.R.; TELIS, V.R.N. Production of turmeric oleoresin microcapsules by complex coacervation with gelatin-gum arabic. **Journal of Food Process Engineering**, v.36, n.3, p.364- 373, 2013. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.12003>.

WATANABE, S.; TSUJINO, S. Applications of Medium-Chain Triglycerides in Foods. **Journal Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 1-21, jun., 2022. Disponível em: < https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9203050/>.