

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**KAOANA DAIANA HEEMANN**

**MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE CHIA POR *SPRAY-DRYING*  
COMBINANDO ISOLADO PROTEICO DO SORO DE LEITE E MALTODEXTRINA  
E APLICAÇÃO EM *CUPCAKES***

**MEDIANEIRA**

**2023**

**KAOANA DAIANA HEEMANN**

**MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE CHIA POR *SPRAY-DRYING*  
COMBINANDO ISOLADO PROTEICO DO SORO DE LEITE E MALTODEXTRINA  
E APLICAÇÃO EM *CUPCAKES***

**Microencapsulation of chia oil by *spray-drying* combining whey protein  
isolated and maltodextrin and application in *cupcakes***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Profa. Dra. Rosana Aparecida da Silva Buzanello.

Coorientador(a): Prof. Dr. Alex Sanches Torquato.

**MEDIANEIRA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**KAOANA DAIANA HEEMANN**

**MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO DE CHIA POR *SPRAY-DRYING*  
COMBINANDO ISOLADO PROTEICO DO SORO DE LEITE E MALTODEXTRINA  
E APLICAÇÃO EM *CUPCAKES***

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Alimentos da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 20 de junho de 2023

---

Profa. Rosana Aparecida da Silva Buzanello  
Doutora em Ciência de Alimentos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Alex Sanches Torquato  
Doutor em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Deisy Alessandra Drunkler  
Doutora em Tecnologia de Alimentos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Eliane Colla  
Doutora em Engenharia de Alimentos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA**

**2023**

Dedico este trabalho à minha família, à minha orientadora, pelos momentos de apoio para concretização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que eu chegasse a esta etapa em minha vida, dando força, saúde e sabedoria para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus familiares por todo amor, carinho, amparo e dedicação nessa caminhada. A todas as amizades que fiz ao longo desta jornada de estudos.

À minha orientadora, a Professora Dra. Rosana Aparecida Buzanello, pela atenção, ensinamentos e dedicação durante a realização do trabalho, tanto escrito como nas análises no laboratório.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. Alex Sanches Torquato, por toda disponibilidade e interesse para a concretização deste trabalho.

Aos colegas de laboratório e servidores da UTFPR, pelas risadas em meio às análises e dedicação.

À CEANMED – Central Analítica Multiusuário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil, pelos ensaios realizados.

Ao Laboratório Multiusuário do Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelas análises realizadas.

À Unioeste Campus Toledo, Paraná, pelos ensaios de microscopia eletrônica de varredura.

A todos, agradeço o prazer de poder compartilhar essa história com vocês.

## RESUMO

O óleo de chia é fonte de ácidos graxos poli-insaturados, sendo o ácido  $\alpha$ -linolênico o mais abundante. Apesar dos benefícios potenciais à saúde, ácidos graxos poli-insaturados são suscetíveis à oxidação. Assim, a microencapsulação apresenta-se como uma alternativa para a sua proteção. O objetivo deste estudo foi produzir microcápsulas de óleo de chia combinando isolado proteico do soro de leite (WPI) e maltodextrina (MD) como materiais de parede e, após, aplicar em *cupcakes*. Duas formulações de microcápsulas foram obtidas, sendo MC 1 (10:1 MD:WPI; 0,20 óleo de chia:sólidos) e MC 2 (4:1 MD:WPI; 0,08 óleo de chia:sólidos). O teor de óleo retido nas microcápsulas foi determinado por extração com solvente a frio e o teor de EE% determinado pela quantificação do óleo livre (não encapsulado). A MC 2 exibiu maior teor de óleo retido (95,43%) e maior EE% (73,11%), demonstrando que o método foi eficiente para encapsular o óleo de chia quando maior teor de WPI foi usado. O teor de ácido  $\alpha$ -linolênico da MC 2 e do óleo de chia livre foi determinado por cromatografia gasosa e o mesmo não foi afetado significativamente pelo processo de encapsulação, apresentando teores de 35,08 e 35,44%, respectivamente. O óleo de chia exibiu um evento térmico único de 345 a 485 °C relacionado à sua decomposição na análise termogravimétrica. No entanto, as microcápsulas apresentaram quatro eventos térmicos relacionados à evaporação da água (de 55 a 135 °C), materiais da parede (245 e 320 °C) e degradação do óleo de chia (410 °C). Apesar da maior temperatura de degradação térmica do óleo de chia, a porcentagem total de compostos orgânicos degradados foi maior do que nas microcápsulas. Uma banda acentuada em 1745  $\text{cm}^{-1}$  foi observada no espectro FTIR-ATR do óleo de chia relacionada ao alongamento de grupos funcionais éster principalmente de ácidos graxos. Essa banda também foi observada na mistura física do branco com óleo de chia e nos ensaios de microcápsula, mas em menor intensidade no MC 2, sugerindo sua maior eficiência de encapsulação. O óleo de chia microencapsulado (MC 2) foi incorporado em *cupcakes* (F2) e sua composição centesimal e propriedades físico-químicas foram comparadas à uma formulação controle (C) e com adição de óleo de chia livre (F1). Os resultados demonstraram que adição de MC 2 nos *cupcakes* influenciou na coloração e textura dos bolos, resultando em uma crosta mais escura e maior firmeza, adesividade, gomosidade e mastigabilidade, além de menor atividade de água durante o armazenamento por 9 dias a 18 °C. Estes resultados sugerem que o WPI e a MD presente em MC 2 podem ter influenciado nestes parâmetros, pelo favorecimento da reação de Maillard e aumento da capacidade de retenção de água, respectivamente. Quanto aos parâmetros de oxidação lipídica, após 9 dias de armazenamento a amostra F2 exibiu menor índice  $K_{232}$  e  $K_{270}$ , que representam os dienos e trienos secundários, respectivamente, oriundos da oxidação lipídica. O teor de ácido  $\alpha$ -linolênico foi superior nas amostras F1 e F2, respectivamente, exibindo valor superior a 600  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ , o que indica que o produto apresenta alto conteúdo de ômega 3, de acordo com a legislação. O teor de ômega 3 não diferiu em relação ao tempo inicial e final de armazenamento para todos os ensaios. O processo de microencapsulação de óleo de chia em WPI e MD por *spray-drying* mostrou-se viável. A aplicação de óleo de chia livre e microencapsulado possibilitou agregar ômega 3 ao produto, mantendo-se estáveis ao longo dos 9 dias de armazenamento.

**Palavras-chave:** ácidos graxos ômega 3; oxidação; análise térmica.

## ABSTRACT

Chia oil is a source of polyunsaturated fatty acids, with  $\alpha$ -linolenic acid being the most abundant. Despite potential health benefits, polyunsaturated fatty acids are susceptible to oxidation. Thus, microencapsulation presents itself as an alternative for its protection. The aim of this study was to produce chia oil microcapsules by combining whey protein isolate (WPI) and maltodextrin (MD) as wall materials and then apply them to cupcakes. Two microcapsule formulations were obtained, MC 1 (10:1 MD:WPI; 0.20 chia oil:solids) and MC 2 (4:1 MD:WPI; 0.08 chia oil:solids). The oil content retained in the microcapsules was determined by cold solvent extraction and the EE% content was determined by quantification of the free (non-encapsulated) oil. MC 2 exhibited a higher retained oil content (95.43%) and a higher EE% (73.11%), demonstrating that the method efficiently encapsulated chia oil when a higher WPI content was used. The  $\alpha$ -linolenic acid content of MC 2 and free chia oil was determined by gas chromatography. It was not significantly affected by the encapsulation process, showing levels of 35.08 and 35.44%, respectively. Chia oil exhibited a single thermal event from 345 to 485 °C related to its decomposition in thermogravimetric analysis. However, the microcapsules showed four thermal events related to water evaporation (from 55 to 135 °C), wall materials (245 and 320 °C), and chia oil degradation (410 °C). Despite the higher thermal degradation temperature of chia oil, the total percentage of degraded organic compounds was higher than in microcapsules. A sharp band at 1745  $\text{cm}^{-1}$  was observed in the FTIR-ATR spectrum of chia oil related to the elongation of ester functional groups mainly of fatty acids. This band was also observed in the physical mixture of the blank with chia oil and the microcapsule tests, but to a lesser extent in MC 2, suggesting its greater encapsulation efficiency. Microencapsulated chia oil (MC 2) was incorporated into cupcakes (F2) and its chemical composition and physical-chemical properties were compared to a control formulation (C) and with the addition of free chia oil (F1). The results demonstrated that the addition of MC 2 to the cupcakes influenced the color and texture of the cakes, resulting in a darker crust and greater firmness, adhesiveness, gumminess, and chewiness, in addition to lower water activity during storage for nine days at 18 °C. These results suggest that the WPI and the MD present in MC 2 may have influenced these parameters, by favoring the Maillard reaction and increasing the water retention capacity, respectively. As for the lipid oxidation parameters, after 9 days of storage, the F2 sample exhibited a higher  $K_{232}$  and  $K_{270}$  index, which represent secondary dienes and trienes, respectively, from lipid oxidation. The  $\alpha$ -linolenic acid content was higher in samples F1 and F2, respectively, showing a value greater than 600  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ , which indicates that the product has a high content of omega 3, according to the legislation. The omega 3 content did not differ in relation to the initial and final storage time for all tests. The process of microencapsulation of chia oil in WPI and MD by spray-drying proved to be feasible. Free and microencapsulated chia oil made it possible to add omega 3 to the product, remaining stable over the 9 days of storage.

**Keywords:** omega 3 fatty acids; oxidation; thermal analysis.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Morfologia das microcápsulas de óleo de chia em maltodextrina e isolado proteico de soro de leite correspondente a microcápsulas branco (a), microcápsula 1 (b), e microcápsulas 2 (c). .....31
- Figura 2 - Espectros FTIR-ATR das amostras de óleo de chia, microcápsulas em branco (MC branco, sem óleo), mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, microcápsulas ensaio 1 (MC1) e ensaio 2 (MC2). .....32
- Figura 3 - Curvas termogravimétricas (TG) (a) e suas derivadas correspondentes (b) das amostras de óleo de chia, microcápsulas em branco (MC branco, sem óleo), mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, microcápsulas ensaio 1 (MC1) e ensaio 2 (MC2). .....33



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Formulações para obtenção das microcápsulas (MC) de óleo de chia encapsulado em isolado proteico de soro de leite (WPI) e maltodextrina (MD) por <i>spray-drying</i> .....   | 22 |
| Tabela 2 - Formulações de cupcakes controle (C) e adicionados de óleo de chia livre (F1) e microencapsulado (F2).....   | 24 |
| Tabela 3 - Teor de óleo retido (%) nas microcápsulas (MC) e eficiência de encapsulação (EE%).....   | 29 |
| Tabela 4 - Perfil de ácidos graxos (mg g <sup>-1</sup> ) e teor de ômega 3 (%) das amostras de óleo de chia não encapsulado e do óleo de chia submetido ao processo de microencapsulação em maltodextrina e isolado proteico de soro de leite por <i>spray-drying</i> ..... | 30 |
| Tabela 5 - Composição centesimal (%) das amostras de cupcakes controle (C), cupcakes adicionados de óleo de chia livre (F1) e <i>cupcakes</i> adicionados de óleo de chia encapsulado (F2) .....  | 35 |
| Tabela 6 - Parâmetros instrumentais de cor da crosta dos cupcakes controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C.....  | 36 |
| Tabela 7 - Parâmetros instrumentais de cor do miolo dos <i>cupcakes</i> controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C.....  | 37 |
| Tabela 8 - Atividade de água dos cupcakes controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C.....  | 38 |
| Tabela 9 - Valores médios para parâmetros K232, K270 e ΔK para as diferentes amostras de <i>cupcakes</i> (C: controle; F1: com adição de óleo de chia livre; F2: com adição de microcápsulas de óleo de chia).....  | 39 |
| Tabela 10 - Valores médios para o ácido α-linolênico (ômega 3) para as diferentes amostras de <i>cupcakes</i> (C: controle; F1: com adição de óleo de chia livre; F2: com adição de microcápsulas de óleo de chia).....   | 40 |

## SUMÁRIO

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>2</b>       | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>Objetivo geral</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>2.2</b>     | <b>Objetivos específicos</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>3</b>       | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>3.1</b>     | <b>Óleo de chia</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>3.2</b>     | <b>Microencapsulação de óleos usando <i>spray-drying</i></b> .....          | <b>17</b> |
| <b>3.3</b>     | <b>Material de parede empregados no processo de microencapsulação</b> ..... | <b>18</b> |
| <b>3.4</b>     | <b>Aplicações de microcápsulas de óleo de chia</b> .....                    | <b>19</b> |
| <b>4</b>       | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | <b>20</b> |
| <b>4.1</b>     | <b>Material</b> .....   | <b>20</b> |
| <b>4.2</b>     | <b>Métodos</b> .....  | <b>20</b> |
| 4.2.1          | Determinação do perfil de ácidos graxos do óleo de chia .....               | 20        |
| 4.2.2          | Microencapsulação do óleo de chia .....                                     | 21        |
| 4.2.3          | Eficiência de microencapsulação (EE%) .....                                 | 22        |
| 4.2.4          | Caracterização das microcápsulas .....                                      | 23        |
| <u>4.2.4.1</u> | <u>Morfologia, diâmetro médio, potencial zeta e atividade de água</u> ..... | <u>23</u> |
| <u>4.2.4.2</u> | <u>Análise de Infravermelho para avaliação da estrutura química</u> .....   | <u>23</u> |
| <u>4.2.4.3</u> | <u>Análises termogravimétricas</u> .....                                    | <u>24</u> |
| 4.2.5          | Produção dos <i>cupcakes</i> .....  | 24        |
| <u>4.2.5.1</u> | <u>Determinação da composição centesimal</u> .....                          | <u>25</u> |
| <u>4.2.5.2</u> | <u>Determinação das propriedades físico-químicas</u> .....                  | <u>25</u> |
| 4.2.5.2.1      | <i>Medida instrumental de cor</i> .....                                     | 26        |
| 4.2.5.2.2      | <i>Atividade de água (Aw)</i> .....   | 26        |
| 4.2.5.2.3      | <i>Oxidação lipídica e teor de ômega 3</i> .....                            | 26        |
| 4.2.5.2.4      | <i>Perfil de textura</i> .....  | 27        |
| 4.2.6          | Análise estatística.....  | 28        |
| <b>5</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>5.1</b>     | <b>Eficiência de encapsulação (EE%)</b> .....                               | <b>29</b> |
| <b>5.2</b>     | <b>Caracterização das microcápsulas</b> .....                               | <b>30</b> |
| 5.2.1          | Morfologia, diâmetro médio, potencial zeta e atividade de água.....         | 30        |
| 5.2.2          | Análise de Infravermelho para avaliação da estrutura química .....          | 32        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 5.2.3      | Análises termogravimétricas .....  | 33        |
| <b>5.3</b> | <b>Composição centesimal e propriedades físico-químicas dos <i>cupcakes</i>.....</b> | <b>34</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Propriedades físico-químicas dos <i>cupcakes</i>.....</b>                         | <b>35</b> |
| 5.4.1      | Medida instrumental de cor e atividade de água .....                                 | 35        |
| 5.4.2      | Oxidação lipídica e teor de ômega 3 .....  | 38        |
| 5.4.3      | Perfil de textura .....  | 40        |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>42</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>43</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A chia (*Salvia hispanica* L.) é nativa do sul do México e norte da Guatemala. Os principais constituintes das sementes de chia incluem 25 a 40% de óleo, 17 a 24% de proteínas e 18 a 30% de fibras alimentares. O óleo de chia é rico em ácido  $\alpha$ -linolênico ( $\omega$ 3) e ácido linoleico ( $\omega$ 6), que são ácidos graxos essenciais. A presença destes ácidos graxos essenciais chega a representar mais de 80% da composição do óleo de chia, caracterizando-o como um óleo nutritivo e saudável (ALCÂNTARA *et al.*, 2019; TIMILSENA *et al.*, 2017).

O ácido  $\alpha$ -linolênico é um ácido graxo essencial e sua ingestão tem sido associada a benefícios potenciais à saúde, dentre os quais destaca-se sua relação com a prevenção de doenças cardiovasculares, hipertensão, diabetes, artrite e outras doenças inflamatórias, doenças autoimunes e câncer (FIRTIN *et al.*, 2020).

Contudo, por apresentar um alto percentual de ácidos graxos poli-insaturados, o óleo de chia possui uma baixa estabilidade oxidativa e curta vida útil, o que resulta na formação de aromas e sabores desagradáveis nos alimentos (ALCÂNTARA *et al.*, 2019). Uma alternativa que vem sendo estudada para proteger os ácidos graxos insaturados presentes em grandes quantidades nos óleos vegetais é a microencapsulação (IXTAINA *et al.*, 2015).

A microencapsulação é um processo que é definido por pequenas partículas que são incorporadas em uma matriz heterogênea ou homogênea para formar cápsulas com propriedades eficientes (SUFREDINI, 2019). Apesar de que muitas técnicas tenham sido desenvolvidas para microencapsular ingredientes alimentícios, a tecnologia mais comum utilizada na indústria alimentícia devido produzir partículas de boa qualidade, custo e flexibilidade é o método de *spray-drying* (GUO *et al.*, 2020; LUZ, 2016).

A efetividade da encapsulação e a estabilidade das microcápsulas podem ser influenciadas pelo material de parede utilizado na microencapsulação (CHANG; NICKERSON, 2018). Os materiais de parede para encapsulação de ingredientes alimentícios mais usuais são os carboidratos como o amido, maltodextrinas e sacarose; as proteínas como caseína, albumina e isolado proteico do soro de leite. Além desses, também são encontrados materiais a base de celulose, gomas e lipídios (GOUIN, 2004).

As proteínas de soro de leite exibem excelentes propriedades de microencapsulação e são eficazes para aplicação em materiais voláteis. Além disso, o isolado proteico de soro de leite (WPI, do inglês *whey protein isolate*) é a forma comercial mais pura das proteínas do soro e contém cerca de 95% de proteína (MADENE *et al.*, 2006). As maltodextrinas são formadas pela hidrólise do amido e foram associadas às proteínas na encapsulação para aprimorar as propriedades de secagem. Apresenta alta solubilidade, alta concentração de sólidos, baixa viscosidade, acessibilidade de custo e não tem sabor e quando associada a outros materiais de encapsulação exibe alta eficiência de microencapsulação (AKBARBAGLU *et al.*, 2021; MADENE *et al.*, 2006).

A aplicação de microcápsulas em matrizes alimentares torna-se necessária para avaliar a viabilidade de seu uso. Bolos são produtos produzidos a partir de cereais, como a farinha de trigo, que tem uma estrutura elástica. No entanto, em geral, são alimentos pobres em nutrientes essenciais. Além disso, observa-se o aumento do interesse do consumidor em produtos que apresentam efeitos positivos na saúde (CEYLAN; BILGIÇLI; CANKURTARAN, 2021). Neste sentido, o estudo da microencapsulação de óleo de chia por *spray-drying* combinando isolado proteico do soro de leite e maltodextrina e aplicação em *cupcakes*, avaliando-se suas propriedades tais como cor, atividade de água, perfil de textura, composição centesimal, oxidação lipídica e perfil de ácidos graxos, é sugerido.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Elaborar as microcápsulas, aplicar e avaliar o efeito da incorporação de óleo de chia microencapsulado em maltodextrina e isolado proteico de soro de leite, em *cupcakes*.

### 2.2 Objetivos específicos

Caracterizar o óleo de chia quanto ao perfil de ácidos graxos.

Microencapsular o óleo de chia por *spray-drying*, utilizando isolado proteico do soro do leite e maltodextrina como materiais de parede, variando suas concentrações.

Avaliar a eficiência de encapsulação das microcápsulas.

Caracterizar as microcápsulas por meio de análises térmicas, de infravermelho, diâmetro médio, potencial zeta, atividade água, perfil de ácidos graxos e morfologia.

Produzir formulações de *cupcakes* com adição de óleo de chia microencapsulado, óleo de chia livre e controle (sem adição de óleo).

Determinar a composição centesimal das amostras de *cupcakes* elaboradas.

Avaliar as propriedades de cor, atividade de água, perfil de textura, teor de ômega 3 e oxidação lipídica dos *cupcakes* elaborados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Óleo de chia

A chia tem sido estudada, principalmente, devido a composição do seu óleo. A semente de chia apresenta, em média, 30 g de óleo para cada 100 g de peso, e é uma fonte rica em ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs). O ácido graxo presente em maior quantidade nas sementes é o ácido  $\alpha$ -linolênico (0,6 g / g de óleo), um ácido graxo essencial do grupo ômega 3, seguido do ácido linoleico, ácido oleico, ácido palmítico e ácido esteárico, respectivamente (SOUZA, 2014; ALMEIDA *et al.*, 2018). O corpo humano é incapaz de sintetizar PUFAs na quantidade necessária, por isso deve-se ingerir por meio de dieta ou suplementação dietética os ácidos graxos essenciais (TIMILSENA *et al.*, 2017).

O consumo do óleo de chia está associado à melhoria dos sintomas de diabetes, hipertensão, câncer, redução dos níveis de triglicerídeos e aumento dos níveis de HDL-colesterol do sangue e ainda contribui para a redução do estresse oxidativo em doenças relacionadas à obesidade e doenças cardiovasculares, devido à sua composição rica em ômega 3 (ULLAH *et al.*, 2016).

Sierra *et al.* (2015) realizou um estudo com coelhos hipercolesterolêmicos, com suplementação da dieta feita com óleo de chia e os resultados mostraram que o óleo de chia pode proteger a função vascular contra os efeitos da hipercolesterolemia, apresentando bons resultados no relaxamento vascular do endotélio-dependente e redução da contratilidade vascular.

Dentre os métodos de extração do óleo de chia, destaca-se o método de extração por prensagem. A extração por prensagem a frio é considerada o método mais fácil, rápido e com custo acessível, além disso os óleos não perdem sua qualidade e valor nutricional (ANANTH *et al.*, 2019).

A capacidade antioxidante do óleo de chia é relativamente baixa. Quando expostos a fatores como oxigênio, luz, calor e umidade, suas propriedades químicas podem ser alteradas. Deste modo, o óleo da chia é considerado instável oxidativamente e, conseqüentemente, possui uma vida útil reduzida (BODOIRA *et al.*, 2017).

### 3.2 Microencapsulação de óleos usando *spray-drying*

A microencapsulação é um processo em que minúsculas partículas estão rodeadas por um revestimento para formar pequenas cápsulas. A microcápsula é uma pequena esfera com uma parede uniforme em torno dela. O material secundário é denominado encapsulante, material de parede ou matriz, sendo um revestimento de proteção do núcleo, isolando-o do ambiente e evitando interações indesejáveis como a degradação do mesmo ou alterações sensoriais (JYOTHI *et al.*, 2012; YOUNG; SARDA; ROSENBERG., 1993).

Os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) são passíveis de deteriorar devido a oxidação, por isso medidas de proteção devem ser aplicadas para que isso não ocorra. Os óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados quando oxidam perdem valor nutricional, geram substâncias tóxicas e produtos sensorialmente perceptíveis, reduzindo a sua vida útil. Por isso, a tecnologia de microencapsulação deve ser utilizada para minimizar os malefícios e maximizar os benefícios à saúde (TIMILSENA *et al.*, 2017).

Existem vários processos de encapsulação que são normalmente usados na indústria de alimentos, como o método de *spray-drying*, revestimento em leito fluidizado, extrusão centrífuga ou por pressão, emulsificação, liofilização, entre outros (DUBEY; SHAMI; RAO, 2009).

O método mais comumente utilizado na microencapsulação é o *spray-drying*, por ser um método economicamente viável e eficaz. Os ingredientes que são pulverizados e secos por esse método, apresentam boa estabilidade e, a depender da composição do material de parede, rápida solubilidade das cápsulas (MAHDAVI *et al.*, 2014).

O processo utilizando *spray-drying* consiste na pulverização de uma solução, emulsão ou suspensão líquida, em uma corrente de ar quente, formando instantaneamente um pó, as partículas formadas podem variar de 10 a 120 µm. Apesar de utilizar altas temperaturas, o tempo de contato do ar com a solução é muito curto, sendo somente o tempo necessário para ocorrer a evaporação e não para aumentar a temperatura do pó; por tanto, essa tecnologia pode ser aplicada para encapsular materiais sensíveis ao calor, ocasionando baixa degradação térmica. Compostos bioativos como o ômega 3 e fitoesteróis que são sensíveis ao calor podem ser encapsulados por esse método (COMUNIAN; FAVARO-TRINDADE, 2016).



### 3.3 Material de parede empregados no processo de microencapsulação

A escolha do material pode ser realizada de acordo com as propriedades do composto encapsulado e da aplicação desejada, bem como, do método e do mecanismo de liberação controlada. Polímeros biodegradáveis e biocompatíveis têm sido recomendados para encapsulação (ALVARENGA BOTREL *et al.*, 2012).

Os materiais de parede comumente utilizados incluem carboidratos (amidos, maltodextrinas, sólidos de xarope de milho, goma de acácia), proteínas (caseinato de sódio, proteínas de soja, proteína do soro de leite) e lipídeos (ceras, óleos, parafina) (MADENE *et al.*, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2018).

A escolha do material de parede depende de fatores como as propriedades físicas e químicas, compatibilidade e aplicação ao alimento. O material de parede deve ter baixa viscosidade em alta concentração; exibir baixa higroscopicidade; ter propriedades emulsificantes; sabor e odor suave e ter baixo custo (YAN *et al.*, 2022). A maltodextrina é um polissacarídeo obtido pela hidrólise do amido. Apresenta alta solubilidade, alta concentração de sólidos, baixa viscosidade, capacidade formar matrizes, proteção contra oxidação, custo acessível, além de não ter sabor (ABBAS *et al.*, 2012; KOÇ *et al.*, 2015). Contudo, a maltodextrina não apresenta boas propriedades emulsificantes, para minimizar essa falha, a maltodextrina tem sido combinada com outros materiais de parede (KORMA *et al.*, 2019).

As proteínas apresentam-se como outro excelente material de parede, pois possuem propriedades funcionais que permitem um bom revestimento para a microencapsulação por *spray-drying*. Dentre as proteínas utilizadas, podem-se destacar as proteínas do soro de leite (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007).

As proteínas do soro de leite em combinação com carboidratos têm sido utilizadas na encapsulação de compostos voláteis. São usadas como agentes emulsificantes e formadores de filmes, já os carboidratos, como a maltodextrina, agem como agentes formadores da matriz (MADENE *et al.*, 2006).

Um estudo avaliou o potencial da combinação de isolado proteico de soro de leite (WPI) e maltodextrina (MD), para a microencapsulação de óleo de abacate pelo método de *spray-drying*. Foram utilizadas quatro concentrações diferentes dos materiais de parede (10:0, 9:1, 1:1 e 1:9). O pó obtido nas concentrações diferentes apresentou um teor de óleo livre na superfície entre 11 a 16%, já a eficiência de microencapsulação foi de 45 a 66%, respectivamente, não apresentando diferenças

significativas entre as amostras. A estabilidade oxidativa do óleo de abacate diminuiu significativamente em todas as concentrações quando a temperatura foi de 60 °C, porém com o método de microencapsulação foi melhorada (BAE; LEE, 2008).

### 3.4 Aplicações de microcápsulas de óleo de chia

Até o presente momento, não foram encontrados trabalhos na literatura que aplicaram microcápsulas de óleo de chia em bolos. Porém, foram encontrados trabalhos com aplicação em *cookies* e pães.

Em um estudo com aplicação em *cookies* foram elaboradas três formulações, sendo elas: controle (sem óleo de chia), óleo de chia e óleo de chia microencapsulado. As microcápsulas foram obtidas pela técnica de homogeneização com cera de carnaúba. Foi realizada análise sensorial para avaliar a aceitabilidade das amostras, sendo que os valores atribuídos pelos avaliadores variaram de 6,45 a 7,69, independente da formulação testada, não diferindo estatisticamente ( $p > 0,05$ ) da amostra controle. Estes resultados demonstram um resultado positivo, de modo que a aplicação do óleo de chia microencapsulado não afetou negativamente a avaliação sensorial do produto (ALMEIDA *et al.*, 2018).

O outro estudo com aplicação em pão, as microcápsulas de óleo de chia foram obtidas através da liofilização com proteína de soja como material de parede. O pão contendo óleo encapsulado não apresentou diferenças na firmeza e no volume e a análise sensorial não mostrou diferença significativa, com isso se concluiu que a adição de óleo de chia microencapsulado não alterou a qualidade tecnológica do pão, além de ser observada a redução na formação de radicais hidroperóxidos quando o óleo encapsulado foi aplicado (GONZÁLEZ *et al.*, 2018).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

O óleo de chia extra virgem prensado à frio (Pazze, Brasil) foi adquirido no comércio local. Para a produção das microcápsulas foram utilizados como material de parede o isolado proteico de soro de leite em pó (90% proteínas, Sooro, Brasil) e maltodextrina (DE 20, MOR-REX 1920). Etanol (99,5%, Neon) e Tween-80 (Synth) foram utilizados como solvente do óleo de chia e emulsificante, respectivamente. Água destilada foi utilizada para a solubilização dos materiais de parede. Os ingredientes para elaboração dos *cupcakes* foram adquiridos em comércio local. Os demais reagentes utilizados no estudo apresentaram grau de pureza analítico.

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Determinação do perfil de ácidos graxos do óleo de chia

O perfil de ácidos graxos foi determinado para as amostras de óleo chia livre e óleo de chia microencapsulado, este último após sua extração pelo método de Bligh e Dyer (1959). O óleo foi submetido a transesterificação dos ácidos graxos de acordo com o método 5509 da ISO (*International Organization for Standardization*, 1978), com algumas alterações. Em 200 mg da matéria graxa foram adicionados 2 mL de n-heptano, submetidos a uma agitação vigorosa até a completa solubilização dos lipídios. Em seguida, 0,5 mL de uma solução do padrão interno 23:0 (Sigma, EUA), com concentração de 1 mg mL<sup>-1</sup> em heptano, foi adicionada à mistura. 2 mL de solução KOH/metanol 2 mol L<sup>-1</sup> foi adicionada e novamente submetida a agitação. A solução permaneceu em repouso até completa separação das fases. A fase superior, contendo n-heptano e ésteres metílicos de ácidos graxos foi extraída com o auxílio de um pipetador automático e transferida para um *vial* âmbar e armazenado a -18 °C até o momento da análise.

Os ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAG) foram analisados por cromatografia gasosa (CG-FID Clarus 680, PerkinElmer<sup>TM</sup>, EUA) com detecção de ionização por chama em uma coluna capilar de sílica fundida (100 m x 0,25 mm) com

0,25  $\mu\text{m}$  de uma fase estacionária de cianopropil polisiloxano CP 7420 (Varian™, EUA).

Para a separação dos EMAG a coluna de separação recebeu a seguinte programação: temperatura de 60 °C por 1 min, seguida de uma rampa de aquecimento de 15 °C  $\text{min}^{-1}$  até atingir 180 °C. Em seguida, realizou-se o aquecimento com rampa de 1,5 °C  $\text{min}^{-1}$  até atingir 220 °C, permanecendo por 3 min e, por fim, uma rampa de 5 °C  $\text{min}^{-1}$  até atingir 250 °C, permanecendo por 1 min. Hélio foi utilizado como gás de arraste (1 mL  $\text{min}^{-1}$ ) e hidrogênio e ar sintético como gases de chama (40 mL  $\text{min}^{-1}$  e 400 mL  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente). As áreas dos picos foram determinadas pelo software TotalChrom e foram identificados através de comparação dos tempos de retenção com os padrões EMAG (Supelco™, EUA).

#### 4.2.2 Microencapsulação do óleo de chia

Dois ensaios de microencapsulação de óleo de chia foram estudados (Tabela 1). O primeiro ensaio (MC 1) foi baseado no método descrito por Scremin *et al.* (2017), com algumas adaptações, em que foi preparada uma fase orgânica e outra aquosa para a elaboração das microcápsulas. A fase orgânica consistiu na solubilização de óleo de chia e Tween-80 em etanol (10 mL) a temperatura de 25 °C. A fase aquosa foi obtida em duas etapas, primeiramente a maltodextrina (MD) foi solubilizada em 200 mL de água destilada a temperatura de 65 °C, sob agitação mecânica (200 rpm) por 10 minutos. Na segunda etapa, ocorreu a preparação de uma suspensão do isolado proteico de soro de leite (WPI), por sua solubilização em água destilada a temperatura de 25 °C, sob agitação mecânica (200 rpm) por 40 min.

Após o preparo das suspensões, a suspensão de WPI foi adicionada à suspensão de MD e a mistura foi homogeneizada por 20 minutos, sob agitação mecânica (200 rpm). Em seguida, a fase orgânica foi lentamente adicionada à fase aquosa, sob agitação mecânica (200 rpm) por 10 minutos. Então, a suspensão foi homogeneizada em um Ultra-Turrax (T18, IKA, Alemanha), a 7000 rpm por 15 min. A secagem por *spray-drying* foi realizada em um secador laboratorial *Spray Dryer* (Labmaq™ -MSD 1.0, São Paulo, Brasil) com câmara de secagem de 500 mm x 150 mm, bico aromatizador de duplo fluido com orifício de 0,7 mm de diâmetro. Foi utilizada uma bomba peristáltica para a alimentação com vazão de 0,6 L  $\text{h}^{-1}$ , a

temperatura do ar de entrada foi de  $150 \pm 2$  °C e de saída de  $65 \pm 2$  °C, com o fluxo do ar de secagem a  $35 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabela 1 - Formulações para obtenção das microcápsulas (MC) de óleo de chia encapsulado em isolado proteico de soro de leite (WPI) e maltodextrina (MD) por *spray-drying***

| Reagentes           | MC 1 | MC 2 |
|---------------------|------|------|
| Água destilada (mL) | 400  | 200  |
| MD (g)              | 20   | 48   |
| WPI (g)             | 2    | 12   |
| Tween-80 (g)        | 0,17 | 0,81 |
| Etanol (mL)         | 10   | -    |
| Óleo de chia (g)    | 5,5  | 5,4  |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

No preparo do segundo ensaio (MC 2) seguiu-se a metodologia de Alcântara *et al.* (2019), com algumas modificações. MD foi solubilizada em água destilada (100 mL) sob agitação (200 rpm) e aquecimento (55 °C) por 20 min. Uma suspensão de WPI foi preparada pela solubilização de Tween-80 em água destilada sob agitação (200 rpm) por 10 min a temperatura ambiente ( $\sim 25$  °C), sendo a WPI adicionada em seguida, aumentando-se a agitação (600 rpm) mantida por 20 min. Então, a solução de MD foi adicionada à suspensão de proteína mantendo-se a agitação mecânica (1000 rpm) por 20 min. Em seguida, o óleo de chia foi lentamente gotejado, sob agitação mecânica de 1000 rpm por 10 minutos. A suspensão foi levada para homogeneização em um Ultra-Turrax (T18, IKA, Alemanha), a 7200 rpm por 15 min. A secagem por *spray-drying* foi realizada seguindo os mesmos parâmetros descritos para a MC 1.

Adicionalmente, foi preparada uma formulação de microcápsulas branco seguindo o mesmo procedimento descrito para MC 2, contudo, sem a adição de óleo.

#### 4.2.3 Eficiência de microencapsulação (EE%)

Para determinação da eficiência da microencapsulação, o óleo total contido nas microcápsulas foi extraído de acordo com o método de Bligh e Dyer (1959) e quantificado por gravimetria. A fração de óleo livre (não encapsulado) foi determinada de acordo com Firtin *et al.* (2020) com algumas modificações, em que 1,5 g de microcápsulas foram dispersas em 20 mL de clorofórmio e a mistura foi agitada por 1 min. Em seguida, a mistura foi filtrada e o solvente evaporado a 35 °C usando um

evaporador rotativo (801, Fisatom, Brasil) sob vácuo e o óleo extraído foi quantificado por gravimetria. Desta forma, a EE% foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$EE\% = \left( \frac{O_T - O_L}{O_T} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que,  $O_T$  é o teor total de óleo nas microcápsulas e  $O_L$  é o conteúdo de óleo livre (não encapsulado).

#### 4.2.4 Caracterização das microcápsulas

##### 4.2.4.1 Morfologia, diâmetro médio, potencial zeta e atividade de água

Foi utilizada a microscopia eletrônica de varredura (SC7620 Mini Sputter Coater) para avaliar a morfologia das microcápsulas.

O diâmetro médio e o potencial zeta das microcápsulas foi estimado pela técnica de espalhamento de luz dinâmico (DLS) por meio de um analisador de tamanho de partícula Litesizer 500 (Anton Paar, Graz, Áustria), de acordo com a metodologia proposta por Ahmadian *et al.* (2019). As medidas foram conduzidas em triplicata a 25 °C.

A determinação da atividade de água foi realizada utilizando-se o equipamento Aqualab® (4TE, Decagon, Brasil), em triplicata.

##### 4.2.4.2 Análise de Infravermelho para avaliação da estrutura química

As análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) em modo de refletância total atenuada (ATR) (Frontier PerkinElmer™), foram realizadas para avaliar a presença de possíveis interações entre os materiais de parede e o óleo de chia. Os espectros FTIR-ATR foram determinados no intervalo de número de onda de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Foi utilizada uma média de dez acumulações para cada amostra, sendo analisadas as amostras de microcápsulas de branco (ensaio MC 2 sem óleo), de óleo de chia encapsulado e a mistura física das microcápsulas de branco e óleo de chia.

#### 4.2.4.3 Análises termogravimétricas

As análises termogravimétricas foram realizadas em um analisador térmico simultâneo (STA 6000, PerkinElmer, EUA). As amostras (10 mg) foram inseridas em cadinho de platina que foi aquecido de 50 a 600 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, sob atmosfera de nitrogênio à vazão de 20 mL min<sup>-1</sup> (SCREMIN *et al.*, 2018).

#### 4.2.5 Produção dos *cupcakes*

A produção dos *cupcakes* foi realizada de acordo com a formulação descrita por Rocha *et al.* (2012), com algumas modificações. Foram desenvolvidas três formulações (Tabela 2), em que, na formulação 1 (F1) foi adicionado óleo de chia livre, a formulação 2 (F2) com óleo de chia microencapsulado e a formulação controle (C), sem adição de óleo.

**Tabela 2 - Formulações de *cupcakes* controle (C) e adicionados de óleo de chia livre (F1) e microencapsulado (F2)**

| Ingredientes           | C<br>(g) | F1<br>(g) | F2<br>(g) |
|------------------------|----------|-----------|-----------|
| Margarina              | 100      | 100       | 100       |
| Ovos                   | 130      | 130       | 130       |
| Açúcar cristal         | 240      | 240       | 240       |
| Farinha de trigo       | 240      | 240       | 240       |
| Leite integral         | 260      | 260       | 260       |
| Fermento em pó químico | 10       | 10        | 10        |
| MC óleo de chia*       | -        | -         | 105       |
| Óleo de chia livre*    | -        | 8         | -         |
| Total                  | 980      | 988       | 1085      |

**\*Quantidade de óleo de chia livre e encapsulado adicionado, considerando o seu teor de ácido  $\alpha$ -linolênico a fim de obter um *cupcake* com teor de mínimo de 300 mg de ácido  $\alpha$ -linolênico por porção de referência (60 g) do produto, para ser considerado fonte de ácidos graxos ômega 3, conforme Instrução Normativa nº 75 de 2020 (BRASIL, 2020)**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Inicialmente, foram adicionados a margarina e os ovos sendo a mistura homogeneizada em batedeira doméstica. Em seguida, foi adicionado o açúcar cristal, a farinha e o leite intercalados. Por fim, desligou-se a batedeira e adicionou-se o fermento em pó. Na amostra F1 o óleo de chia foi adicionado antes da adição da farinha e o do leite, para facilitar a incorporação do óleo. As microcápsulas foram acrescentadas na F2 junto com a farinha e intercalando com o leite. Em seguida, a

massa foi colocada em formas de *cupcakes* padronizando o peso em 30 g, foram assados em forno doméstico pré-aquecido a 175 °C por 30 min. Depois que os *cupcakes* foram resfriados em temperatura ambiente, os mesmos foram acondicionados em recipientes plásticos com tampa e armazenados em estufa BOD (Tecnal, São Paulo) sob temperatura de  $18 \pm 2$  °C.

#### 4.2.5.1 Determinação da composição centesimal

As amostras de *cupcakes* foram submetidas a determinação de umidade por método gravimétrico em estufa de secagem a 105 °C até massa constante (IAL, 2008). A análise de proteínas foi realizada pelo método micro Kjeldahl pela quantificação do nitrogênio total e conversão a proteínas pela multiplicação do fator de conversão de 6,25 (IAL, 2008).

O teor de lipídios foi quantificado por extração à frio seguindo o método de Bligh e Dyer (1959) com algumas adaptações. Para tanto, 15 g de *cupcakes* foram triturados e adicionados de 30 mL metanol e 15 mL de clorofórmio, sendo agitados por 5 min. Em seguida, foram adicionados mais 15 mL clorofórmio e sendo a mistura agitada por 2 min. Por fim, a amostra foi filtrada à vácuo e levada à um funil de separação sendo adicionada de solução saturada de NaCl correspondente ao volume de 1/5 do filtrado, e mantida em repouso por 24 h. A fase inferior contendo clorofórmio e lipídios foi coletada e o solvente evaporado em rota-evaporador à  $33 \pm 2$  °C, sendo a massa de lipídios quantificada.

O teor de cinzas foi determinado após a carbonização das amostras e incineração em mufla a 550 °C (IAL, 2008) e o teor de carboidratos foi estimado por diferença.

Todas as determinações foram conduzidas em triplicata após a obtenção dos *cupcakes*.

#### 4.2.5.2 Determinação das propriedades físico-químicas

As determinações de medida instrumental de cor e atividade de água foram realizadas em triplicata nos tempos 0, 3, 6 e 9 dias após a fabricação. A determinação



da oxidação lipídica foi realizada nos tempos 1, 3 e 9 dias após a fabricação e o teor de ômega 3 dos *cupcakes* determinados nos tempos 1 e 9 dias.

O perfil de textura foi realizado apenas em um tempo (3 dias após a fabricação).

#### 4.2.5.2.1 Medida instrumental de cor

A medida instrumental de cor foi realizada na superfície (crosta) dos *cupcakes* e no centro, tomando 6 pontos diferentes de leitura por amostra, utilizando o colorímetro Konica Minolta® CR400 (Minolta Corporation, Ramsay, NJ, EUA) com iluminante D65 a 10° do observador. Foram determinados os valores de L\* (luminosidade), a\* (componente verde-vermelho) e b\* (componente azul-amarelo), expressos no sistema de cor CIELAB (*Commission International for Illumination*).

#### 4.2.5.2.2 Atividade de água (Aw)

A determinação da atividade de água foi realizada utilizando-se o equipamento Aqualab® (4TE, Decagon, Brasil), em duplicata.

#### 4.2.5.2.3 Oxidação lipídica e teor de ômega 3

Os lipídios totais foram extraídos a partir de amostras de *cupcakes* utilizando o método de Bligh e Dyer (1959). O óleo obtido na extração foi então caracterizado por espectrofotometria no ultravioleta com a determinação dos coeficientes de extinção específica (232, 270 e  $\Delta K$ ), pois os produtos de oxidação (dienos conjugados em 232 nm e trienos conjugados ou compostos secundários em 270 nm) se apresentam em espectros característicos na região ultravioleta (FERRARI; DE SOUZA, 2009). Para tanto, utilizou-se o método oficial descrito no anexo IX do Regulamento (CEE) nº 2568/91 da Comissão Europeia de 11 de julho de 1991, com adaptações. Aproximadamente 0,3 g da amostra foram dissolvidas em 10 mL de ciclohexano. Em seguida, foi coletado 1 mL do sobrenadante e transferido para um balão volumétrico de 10 mL sendo o volume completado com ciclohexano. A amostra dissolvida foi então analisada em cubeta de quartzo de percurso ótico de 1 cm, os

coeficientes de extinção específica de cada solução nos comprimentos de onda prescritos (232, 270 e  $\Delta K$ ) foram então obtidos utilizando as Equações 2, 3 e 4.

$$K_{232} = \frac{A_{232}}{c \times l} \quad (2)$$

$$K_{270} = \frac{A_{270}}{c \times l} \quad (3)$$

$$\Delta K = K_{270} \frac{A_{266} + A_{274}}{2} \quad (4)$$

Em que  $A_{232}$ ,  $A_{266}$ ,  $A_{270}$  e  $A_{274}$  são absorvâncias nos comprimentos de onda indicados nos sub índices;  $c$  = concentração do óleo na solução (g/100 mL);  $l$  = percurso ótico da cubeta de quartzo (1 cm).

Para determinação do teor de ômega 3 expresso em mg de ácido  $\alpha$ -linonênico por 100 g do produto, os lipídios extraídos de acordo com o método de Bligh e Dyer (1959) previamente descrito, foram submetidos a transesterificação pela metodologia de Hartmann e Lago (1973). A quantificação do ácido graxo foi realizada em cromatógrafo gasoso conforme método previamente descrito no item 4.2.1.

#### 4.2.5.2.4 Perfil de textura

A análise do perfil de textura foi determinada seguindo a metodologia proposta por Salehi e Kashaninejad (2018), com algumas adaptações, utilizando-se um analisador texturômetro (TA-HD plus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) com célula de carga de 5 kg, utilizando método padrão, cuja *probe* cilíndrica de alumínio de 34 mm (P/34) comprimiu o *cupcake* até 40% da sua altura, com uma velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 1,0, 1,7 e 10,0 mm/s, respectivamente. Para tanto, as amostras de *cupcakes* foram cortadas em dimensões de 2 x 2 x 2 cm (altura x largura x comprimento), sendo analisadas em um total de dez repetições em temperatura ambiente (25 °C). Os parâmetros determinados foram firmeza, adesividade, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade, coesividade e resiliência.

#### 4.2.6 Análise estatística

Os dados de eficiência de encapsulação das formulações de microcápsulas e perfil de ácidos graxos dos óleos (livre e encapsulado) foram avaliados por meio do teste *t* de *Student* ( $p \leq 0,05$ ). Os dados das propriedades físico-químicas dos *cupcakes* foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias, considerando um nível de significância de 5% utilizando o software Statistica.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Eficiência de encapsulação (EE%)

Os teores de óleo retido (óleo total) e EE% são apresentados na Tabela 3. Observa-se que os valores de óleo retido e EE% foram superiores para a MC 2, diferindo estatisticamente de MC 1 ( $p \leq 0,05$ ). O ensaio 2 (MC 2) exibiu elevado teor de óleo retido (95,43%), demonstrando que o processo de encapsulação propiciou baixas perdas operacionais, sugerindo a obtenção de uma suspensão estável para a encapsulação. Este fato pode ser atribuído à presença de WPI em maior proporção na mistura e também, a maior proporção de sólidos, que apresenta propriedades emulsificantes e formadora de filmes, interagindo com a MD, permitindo um bom revestimento (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; MADENE *et al.*, 2006), além disso foram empregados dois processos distintos para o preparo da emulsão e, como é sabido, as diferenças na emulsão impactam, também, no produto atomizado.

**Tabela 3 - Teor de óleo retido (m/m %) nas microcápsulas (MC) e eficiência de encapsulação (EE%)**

| Amostras | Óleo retido (%)           | EE%                       |
|----------|---------------------------|---------------------------|
| MC 1     | 67,58 <sup>b</sup> ± 4,12 | 59,87 <sup>b</sup> ± 1,57 |
| MC 2     | 95,43 <sup>a</sup> ± 1,31 | 73,11 <sup>a</sup> ± 4,49 |

Média ± desvio padrão (n = 3). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste *t* de Student ( $p \leq 0,05$ )

Fonte: Autoria própria (2023)

O valor de EE% para MC 2 foi superior ao reportado por Firtin *et al.* (2020) para a microencapsulação de óleo de chia com curcumina utilizando maltodextrina e goma arábica como materiais de parede (EE% de 66,69% a 67,36%).

Considerando a elevada retenção de óleo e EE% da MC 2, o perfil de ácidos graxos para o óleo extraído das microcápsulas foi avaliado e comparado ao óleo livre (não encapsulado) (Tabela 4). Observa-se que o teor de ácido linoleico foi inferior no óleo microencapsulado, em comparação ao óleo livre. Entretanto, o teor de ácido  $\alpha$ -linolênico (ômega 3) não diferiu entre as amostras, indicando que o processo de microencapsulação não afetou o conteúdo de ômega 3 do óleo de chia.

**Tabela 4 - Perfil de ácidos graxos ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e teor de ômega 3 ( $\text{mg } \%$ ) das amostras de óleo de chia não encapsulado e do óleo de chia submetido ao processo de microencapsulação em maltodextrina e isolado proteico de soro de leite por *spray-drying***

| Ácido graxo                     | Óleo de chia não encapsulado | Óleo de chia após a microencapsulação |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 16:0 (palmítico)                | 76,61 <sup>a</sup> ± 0,26    | 79,70 <sup>a</sup> ± 2,92             |
| 18:0 (esteárico)                | 43,95 <sup>a</sup> ± 0,22    | 43,64 <sup>a</sup> ± 1,32             |
| 18:1n-9 (oleico)                | 199,07 <sup>a</sup> ± 0,62   | 205,92 <sup>a</sup> ± 0,72            |
| 18:2n-6 (linoleico)             | 276,86 <sup>a</sup> ± 0,02   | 270,71 <sup>b</sup> ± 2,39            |
| 18:3n-3 ( $\alpha$ -linolênico) | 329,82 <sup>a</sup> ± 0,66   | 326,29 <sup>a</sup> ± 2,55            |
| 20:0 (eicosanoico)              | 3,89 <sup>a</sup> ± 0,06     | 3,74 <sup>a</sup> ± 0,02              |
| Teor de ômega 3 (%)             | 35,44 <sup>a</sup> ± 0,42    | 35,08 <sup>a</sup> ± 0,40             |

**Média ± desvio padrão (n = 3). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste *t* de Student ( $p < 0,05$ )**

**Fonte: A autoria própria (2023)**

Os resultados demonstraram que o teor de ômega 3 do óleo de chia estudado foi inferior ao reportado pela literatura (50% a 57%) (LUZ, 2016). O menor teor de ômega 3 pode estar relacionado às condições de cultivo e origem da semente de chia, de acordo com Ullah *et al.* (2015) uma tendência de redução de até 23% no teor de ácido  $\alpha$ -linolênico do óleo de chia pode ser observado em função do estágio de maturação das sementes e demais fatores ambientais. Porém, cabe ressaltar que no presente estudo o teor não foi afetado em função do processo de microencapsulação ( $p < 0,05$ ).

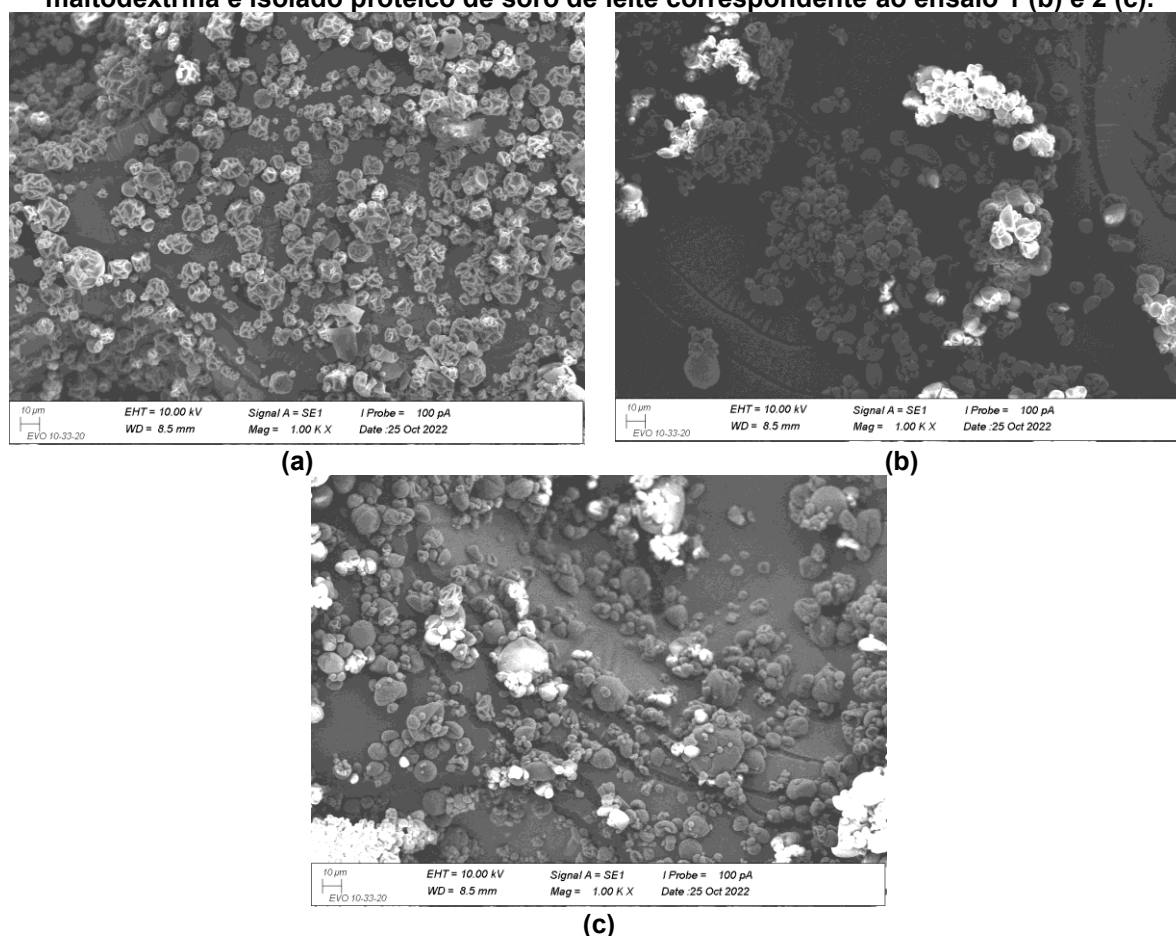
## 5.2 Caracterização das microcápsulas

### 5.2.1 Morfologia, diâmetro médio, potencial *zeta* e atividade de água

A morfologia, incluindo tamanho, características de superfície e forma das partículas é importante pois influencia em outras propriedades essenciais, como molhabilidade, estabilidade, dispersibilidade do pó encapsulado e nas características sensoriais (TIMILSENA *et al.*, 2019).

Na Figura 1c é possível observar a morfologia das microcápsulas de óleo de chia correspondentes ao ensaio 2 (MC 2). As microcápsulas obtidas no presente estudo apresentaram superfície rugosa. Resultados semelhantes foram reportados por Campelo *et al.* (2017) em óleo essencial de lima microencapsulado em concentrado proteico de soro de leite e maltodextrina. Segundo os referidos autores, a rugosidade superficial das microcápsulas poderia estar associada ao encolhimento do material de parede durante as fases iniciais de secagem.

**Figura 1 - Morfologia das microcápsulas branco (a) e do óleo de chia microencapsulado em maltodextrina e isolado proteico de soro de leite correspondente ao ensaio 1 (b) e 2 (c).**



**Fonte: Aatoria própria (2023)**

O diâmetro médio obtido na análise de espalhamento de luz dinâmico foi determinado apenas para o ensaio MC 2, sendo obtido o valor de  $2,4 \pm 1,1 \mu\text{m}$ . Resultados próximos foram reportados por Fernandes *et al.* (2019) para óleo de chia microencapsulado em maltodextrina e goma arábica, por *spray-drying* (3,01 a 4,1  $\mu\text{m}$ ).

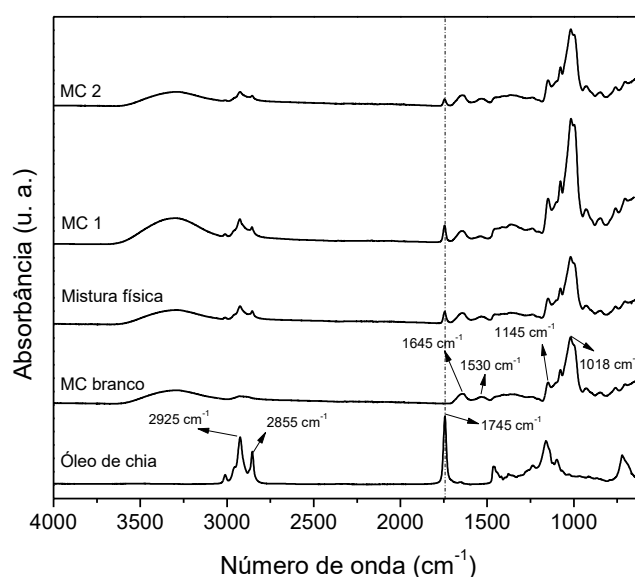
O potencial *zeta* representa a carga elétrica da superfície do cisalhamento hidrodinâmico que envolve as partículas coloidais, sendo um parâmetro importante que pode indicar a estabilidade das micropartículas. Quanto maior for o potencial *zeta*, tanto numericamente positivo quanto negativo, maior será a repulsão eletrostática entre as partículas, portanto maior será sua estabilidade. Valores próximos a +30 mV ou -30 mV são considerados elevados (SOLEIMANIFAR *et al.*, 2019). O potencial *zeta* obtido no presente estudo para MC 2 foi igual a  $+33 \pm 6 \text{ mV}$ , resultado próximo ao da referida literatura, demonstrando que as microcápsulas obtidas são estáveis, dificultando a sua coalescência no meio.

A atividade de água de MC 2 foi determinada e a amostra apresentou o valor médio de  $0,2089 \pm 0,040$ . Este parâmetro representa importância quanto a estabilidade do pó, pois está relacionado com o conteúdo de água disponível para o crescimento de microrganismos e para ocorrência de reações de degradação química e enzimática. De acordo com Favaro-Trindade *et al.* (2010) valores de  $A_w$  inferiores a 0,60 demonstram que o processo de secagem foi eficiente, e nesta condição de  $A_w$  permite garantir a segurança microbiológica em produtos secos por atomização (FORSYTHE, 2013).

### 5.2.2 Análise de Infravermelho para avaliação da estrutura química

Na Figura 2 são apresentados os espectros FTIR-ATR das amostras de óleo de chia livre, MC branco, mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, MC 1 e MC 2. O óleo de chia livre exibiu bandas características à 2925 e 2855  $\text{cm}^{-1}$ , relacionadas à vibração  $\nu(\text{C-H})$  dos grupos metil ( $-\text{CH}_3$ ) e metileno ( $-\text{CH}_2$ ) dos lipídios do óleo de chia, respectivamente. Uma banda fina em 1745  $\text{cm}^{-1}$  também pode ser observada no espectro FTIR-ATR do óleo de chia, relacionada ao alongamento de grupos funcionais éster de ácidos graxos (TIMILSENA *et al.*, 2019).

**Figura 2 - Espectros FTIR-ATR das amostras de óleo de chia, microcápsulas em branco (MC branco, sem óleo), mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, microcápsulas ensaio 1 (MC 1) e ensaio 2 (MC 2)**



Fonte: Autoria própria (2023)

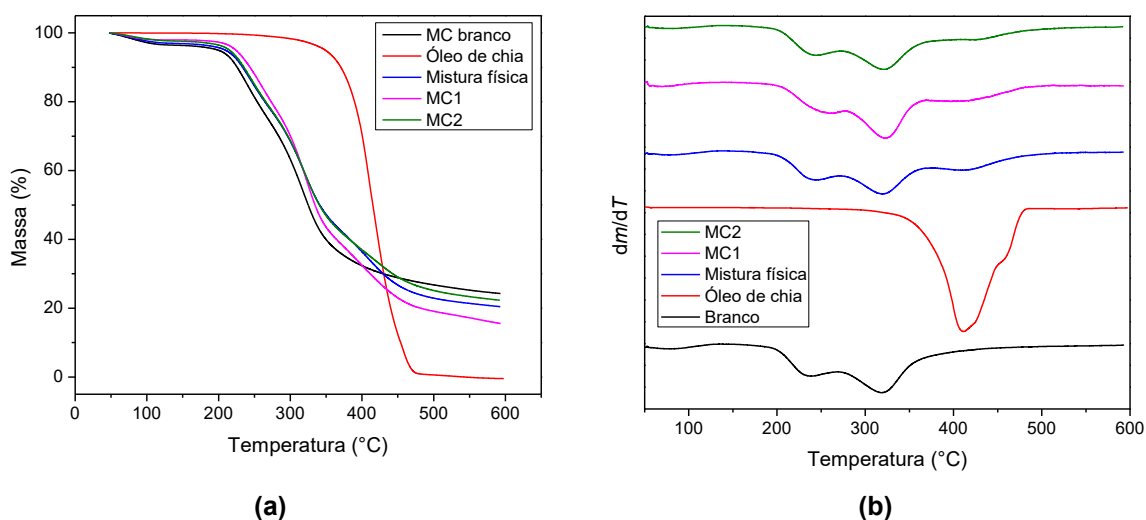
MC branco exibiu bandas características nos números de onda de  $1645\text{ cm}^{-1}$  e  $1530\text{ cm}^{-1}$ , correspondentes ao alongamento de amida I (C=O) e amida II (N-H), respectivamente (FAN *et al.*, 2021), presentes no WPI. Em  $1145$  e  $1080\text{ cm}^{-1}$  são observadas bandas características as vibrações C-O e C-O-H da maltodextrina (KARRAR *et al.*, 2021). As bandas características dos materiais de parede também foram observadas nas amostras de microcápsulas de óleo de chia.

Bandas características de óleo de chia também foram observadas nas amostras de óleo microencapsulado e na mistura física, contudo, em menor intensidade para a amostra de MC 2, confirmando a maior eficiência de encapsulação (SCREMIN *et al.*, 2018).

### 5.2.3 Análises termogravimétricas

Na Figura 3 são apresentadas as curvas termogravimétricas (TG) das amostras de óleo de chia, MC branco, mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, MC 1 e MC 2 e suas curvas derivadas correspondentes (DTG), geradas para facilitar a visualização dos principais eventos térmicos.

**Figura 3 - Curvas termogravimétricas (TG) (a) e suas derivadas correspondentes (b) das amostras de óleo de chia, microcápsulas em branco (MC branco, sem óleo), mistura física das amostras de MC branco e óleo de chia, microcápsulas ensaio 1 (MC 1) e ensaio 2 (MC 2)**



Fonte: Autoria própria (2023).

Pode-se observar que o óleo de chia exibiu um único evento térmico entre  $345$  e  $485\text{ °C}$ , relacionada a sua decomposição térmica, resultando em uma perda de massa de  $99\%$  ao final do evento térmico. Resultados similares foram reportados por



Fernandes *et al.* (2021) em seu estudo sobre o efeito das condições de *spray-drying* nas características físico-químicas e estruturais e estabilidade de microcápsulas de óleo de chia.

As amostras de microcápsulas de óleo de chia, bem como, a mistura física do óleo com os materiais de parede (MC branco) exibiram quatro eventos térmicos, sendo o primeiro entre 55 e 135 °C, relacionado a evaporação de água. Outros dois eventos térmicos podem ser observados nas temperaturas de 245 e 320 °C, relacionadas a decomposição da maltodextrina e das proteínas, respectivamente, utilizadas como materiais de parede (FERNANDES *et al.*, 2021; ZHOU *et al.*, 2017). Um quarto evento térmico foi registrado em 410 °C, que estaria relacionado, portanto, a degradação térmica do óleo de chia (TIMILSENA *et al.*, 2017), resultando em perdas de massa de aproximadamente 70%. A amostra de MC branco exibiu eventos similares aos das microcápsulas, contudo, não foi observado o quarto evento, pela ausência de óleo de chia na amostra. Apesar do óleo de chia exibir uma elevada temperatura de degradação térmica, o percentual total de compostos orgânicos degradados foi maior no óleo livre do que nas microcápsulas.

### **5.3 Composição centesimal e propriedades físico-químicas dos *cupcakes***

Os resultados obtidos para a determinação da composição centesimal dos *cupcakes* estão apresentadas na Tabela 5. O teor de umidade das amostras variou de 23,91 a 27,84%, resultados semelhantes aos reportados por Maravic *et al.* (2022), que estudaram a adição de proteína de soro de leite em bolos com fermentação natural, observando teor de umidade que variou de 22,11 a 24,35%. Carneiro *et al.* (2015) reportaram teores de umidade de 24,42 a 24,59% em bolos com substituição parcial da farinha de trigo por aveia, quinoa e linhaça. A amostra F1 exibiu o maior valor, seguida da amostra C e por fim, a amostra F2 exibiu o menor valor.

**Tabela 5 - Composição centesimal (g/100 g) das amostras de *cupcakes* controle (C), *cupcakes* adicionados de óleo de chia livre (F1) e *cupcakes* adicionados de óleo de chia encapsulado (F2)**

| Composição centesimal  | C                         | F1                        | F2                        |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Umidade (g/100 g)      | 25,31 <sup>b</sup> ± 0,29 | 27,84 <sup>a</sup> ± 0,18 | 23,91 <sup>c</sup> ± 0,16 |
| Proteína (g/100 g)     | 6,12 <sup>a</sup> ± 0,51  | 6,31 <sup>a</sup> ± 0,54  | 7,61 <sup>a</sup> ± 0,86  |
| Lipídios (g/100 g)     | 12,54 <sup>a</sup> ± 0,37 | 12,57 <sup>a</sup> ± 0,02 | 11,69 <sup>a</sup> ± 0,61 |
| Carboidratos (g/100 g) | 55,32 <sup>a</sup> ± 0,61 | 52,31 <sup>b</sup> ± 0,45 | 56,10 <sup>a</sup> ± 0,49 |
| Cinzas (g/100 g)       | 1,17 <sup>a</sup> ± 0,01  | 1,15 <sup>ab</sup> ± 0,02 | 1,11 <sup>b</sup> ± 0,01  |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 3)**

**Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )**

**Fonte: A autoria própria (2023)**

Com relação ao teor de proteínas, os valores não diferiram entre as formulações ( $p > 0,05$ ), variando de 6,12 a 7,61%. Teores de proteínas entre 7,94 e 14,79% foram reportados por Maravic *et al.* (2022), aumentando com adição de isolado proteico de soro de leite no bolo. O teor de lipídios não diferiu entre as formulações, variando de 11,69 a 12,57%, demonstrando que a incorporação de óleo de chia (livre ou encapsulado), não afetou no aumento do teor de lipídios dos *cupcakes*.

O teor de carboidratos dos *cupcakes* diferiu entre as amostras, sendo superior na amostra F2 (56,10%), estatisticamente similar à controle (55,32%) e F1 (52,31%) exibiu o menor valor. Carneiro *et al.* (2015) reportou teores de carboidratos similares ao presente estudo em suas amostras de bolo, com valores entre 50,19 e 56,71%. A amostra F2 (1,11%) exibiu o menor teor de cinzas e a amostra controle o maior valor (1,17%), ambos estatisticamente similares à F1 (1,15%).

## 5.4 Propriedades físico-químicas dos *cupcakes*

### 5.4.1 Medida instrumental de cor e atividade de água

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios dos parâmetros instrumentais de cor L\* (luminosidade), a\* (coordenada verde-vermelho) e b\* (coordenada azul-amarelo) obtidos para cor da crosta dos *cupcakes*. Com relação a luminosidade, pode-se observar que, para o tempo inicial de análise, as amostras contendo óleo de chia livre e microencapsulado apresentaram valores estatisticamente similares ( $p > 0,05$ ), ambos diferindo da amostra controle ( $p \leq 0,05$ ), que apresentou o maior valor de L\*. Estes resultados demonstram que tanto a adição

de óleo de chia livre quanto encapsulado resultou em *cupcakes* com crosta mais escura do que o controle. No caso da amostra F2, a coloração mais escura pode ser relacionada ao favorecimento da reação de Maillard, devido à presença de isolado proteico de soro de leite e maltodextrina utilizado na composição das microcápsulas. Isto também pode ser confirmado pelo maior valor do parâmetro  $a^*$  para F2, indicando maior coloração avermelhada que as demais amostras, sendo inferior nas amostras F1 e C, respectivamente. Maravic *et al.* (2002) também observaram redução da luminosidade da crosta de bolos tipo pão de ló que tiveram a adição de isolado proteico de soro de leite, com valores de  $L^*$  que variaram de 56,72 a 77,59 e de  $a^*$  que variaram de 3,67 a 15,31.

**Tabela 6 - Parâmetros instrumentais de cor da crosta dos *cupcakes* controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C**

| Tratamento | 0 dias                     | 3 dias                      | 6 dias                      | 9 dias                     |
|------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $L^*$      |                            |                             |                             |                            |
| C          | 55,84 <sup>aA</sup> ± 1,99 | 55,71 <sup>aA</sup> ± 2,53  | 55,94 <sup>aA</sup> ± 1,26  | 55,28 <sup>aA</sup> ± 1,33 |
| F1         | 46,14 <sup>bB</sup> ± 2,02 | 52,78 <sup>aA</sup> ± 2,17  | 53,44 <sup>aA</sup> ± 3,56  | 56,11 <sup>aA</sup> ± 3,86 |
| F2         | 45,13 <sup>bB</sup> ± 3,35 | 44,98 <sup>bAB</sup> ± 2,15 | 53,82 <sup>aA</sup> ± 2,52  | 55,67 <sup>aA</sup> ± 2,59 |
| $a^*$      |                            |                             |                             |                            |
| C          | 3,81 <sup>cB</sup> ± 1,31  | 7,60 <sup>cA</sup> ± 2,43   | 8,25 <sup>bA</sup> ± 0,85   | 8,42 <sup>bA</sup> ± 0,69  |
| F1         | 8,63 <sup>bA</sup> ± 1,20  | 10,62 <sup>bA</sup> ± 1,51  | 10,43 <sup>abA</sup> ± 2,08 | 8,63 <sup>bA</sup> ± 3,09  |
| F2         | 11,34 <sup>aB</sup> ± 1,31 | 16,76 <sup>aA</sup> ± 0,42  | 11,97 <sup>aB</sup> ± 1,88  | 11,78 <sup>aB</sup> ± 1,72 |
| $b^*$      |                            |                             |                             |                            |
| C          | 28,45 <sup>aB</sup> ± 0,57 | 44,01 <sup>aA</sup> ± 0,57  | 43,66 <sup>aA</sup> ± 1,60  | 43,93 <sup>bA</sup> ± 0,73 |
| F1         | 23,50 <sup>bB</sup> ± 1,05 | 41,84 <sup>aA</sup> ± 1,05  | 41,88 <sup>aA</sup> ± 3,11  | 43,98 <sup>bA</sup> ± 2,04 |
| F2         | 22,78 <sup>bC</sup> ± 1,54 | 35,27 <sup>bB</sup> ± 1,54  | 44,92 <sup>aA</sup> ± 2,67  | 48,00 <sup>aA</sup> ± 1,44 |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 6)**

**Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas minúsculas na mesma coluna, para um mesmo intervalo de tempo, indicam diferença significativa entre as amostras pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas maiúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa para uma mesma amostra em dias diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para o parâmetro  $b^*$ , que indica a coloração amarela das amostras, comportamento similar ao  $L^*$  foi observado entre as amostras, sendo as amostras F1 e F2 com os menores valores.

Ao longo do armazenamento observou-se que no tempo 3 dias houve um aumento dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  para todas as amostras, contudo, foram numericamente próximos nos dias posteriores. Ao final dos 9 dias de armazenamento, a amostra F2 exibiu os maiores valores, tanto para o parâmetro  $a^*$  quanto para o parâmetro  $b^*$ , que pode estar relacionado ao fato da reação de Maillard continuar ao

longo do armazenamento. Contudo, os valores do parâmetro  $L^*$  não diferiram entre as amostras neste mesmo tempo de armazenamento.

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros de cor para o miolo dos *cupcakes*. Os valores de  $L^*$  e  $b^*$  não diferiram entre as amostras no tempo zero ( $p > 0,05$ ), porém, o parâmetro  $a^*$  foi superior na amostra F2, corroborando com o previamente discutido para a crosta dos *cupcakes*. Em 3 dias de armazenamento o parâmetro  $b^*$  não diferiu entre as amostras, contudo, os parâmetros  $L^*$  e  $a^*$  foram diferentes e superiores na amostra F2, indicando amostra mais clara. Um comportamento similar ao tempo 3 dias foi observado no tempo de 6 dias para  $L^*$  e  $a^*$ , sendo que o parâmetro  $b^*$  também diferiu entre as amostras, sendo inferior na amostra F2, indicando menor coloração amarelada, a qual foi similar à controle. Por fim, aos 9 dias de armazenamento apenas o parâmetro  $L^*$  diferiu entre as amostras, sendo superior na amostra F2.

**Tabela 7 - Parâmetros instrumentais de cor do miolo dos *cupcakes* controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C**

| Tratamento | 0 dias                     | 3 dias                      | 6 dias                      | 9 dias                     |
|------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|            | $L^*$                      |                             |                             |                            |
| C          | 69,70 <sup>aB</sup> ± 0,99 | 72,67 <sup>bA</sup> ± 1,59  | 72,79 <sup>cA</sup> ± 0,74  | 73,14 <sup>bA</sup> ± 1,46 |
| F1         | 70,55 <sup>aB</sup> ± 1,27 | 74,29 <sup>abA</sup> ± 2,95 | 74,43 <sup>bA</sup> ± 0,96  | 74,55 <sup>bA</sup> ± 1,04 |
| F2         | 71,04 <sup>aB</sup> ± 0,61 | 77,02 <sup>aA</sup> ± 1,76  | 76,74 <sup>aA</sup> ± 0,55  | 78,38 <sup>aA</sup> ± 0,64 |
|            | $a^*$                      |                             |                             |                            |
| C          | -7,29 <sup>bB</sup> ± 0,11 | -7,63 <sup>bA</sup> ± 0,17  | -7,68 <sup>cA</sup> ± 0,07  | -6,50 <sup>aA</sup> ± 2,91 |
| F1         | -7,38 <sup>bA</sup> ± 0,13 | -7,63 <sup>bA</sup> ± 0,28  | -7,43 <sup>bA</sup> ± 0,16  | -7,56 <sup>aA</sup> ± 0,09 |
| F2         | -6,48 <sup>aB</sup> ± 0,09 | -6,90 <sup>aA</sup> ± 0,23  | -6,96 <sup>aA</sup> ± 0,04  | -7,00 <sup>aA</sup> ± 0,13 |
|            | $b^*$                      |                             |                             |                            |
| C          | 22,90 <sup>aC</sup> ± 0,28 | 30,37 <sup>aB</sup> ± 0,28  | 29,97 <sup>abB</sup> ± 0,41 | 31,34 <sup>aA</sup> ± 0,92 |
| F1         | 22,93 <sup>aC</sup> ± 0,42 | 30,01 <sup>aB</sup> ± 0,84  | 30,45 <sup>aAB</sup> ± 0,59 | 31,46 <sup>aA</sup> ± 0,70 |
| F2         | 22,61 <sup>aC</sup> ± 0,26 | 29,59 <sup>aB</sup> ± 0,47  | 29,73 <sup>bB</sup> ± 0,25  | 31,17 <sup>aA</sup> ± 0,62 |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 6)**

**Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas minúsculas na mesma coluna, para um mesmo intervalo de tempo, indicam diferença significativa entre as amostras pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas maiúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa para uma mesma amostra em dias diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A atividade de água das amostras de *cupcakes* nos diferentes tempos de armazenamento são apresentadas na Tabela 8. No tempo zero as amostras não diferiram entre si, porém, aos 3 dias de armazenamento observa-se que a amostra F2 exibiu o menor valor de  $A_w$ , seguida da formulação controle e a F1 o maior valor. F2 se manteve com o menor valor de  $A_w$  durante os 6 e 9 dias de armazenamento. Estes

resultados sugerem que a presença dos materiais encapsulantes, isolado proteico de soro de leite e maltodextrina, podem ter contribuído com a redução do conteúdo de água livre ao longo do armazenamento.

**Tabela 8 - Atividade de água dos *cupcakes* controle (C), adicionados de óleo de chia livre (F1) e adicionados de óleo de chia microencapsulado (F2), durante 9 dias de armazenamento a 18 °C**

| Tratamento | 0 dias                   | 3 dias                   | 6 dias                   | 9 dias                    |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| C          | 0,89 <sup>a</sup> ± 0,02 | 0,88 <sup>b</sup> ± 0,00 | 0,88 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,88 <sup>a</sup> ± 0,01  |
| F1         | 0,89 <sup>a</sup> ± 0,04 | 0,89 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,88 <sup>a</sup> ± 0,00 | 0,87 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| F2         | 0,87 <sup>a</sup> ± 0,03 | 0,86 <sup>c</sup> ± 0,01 | 0,86 <sup>b</sup> ± 0,00 | 0,85 <sup>b</sup> ± 0,01  |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 6)**

**Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas na mesma coluna, para um mesmo intervalo de tempo, indicam diferença significativa entre as amostras pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 5.4.2 Oxidação lipídica e teor de ômega 3

Os resultados da oxidação lipídica dos *cupcakes* estão apresentados na Tabela 9 pelos coeficientes de extinção específica ( $K_{232}$ ,  $K_{270}$  e  $\Delta K$ ). De acordo com Almeida *et al.* (2018) a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados ocorre com formação de hidroperóxidos e deslocamento das duplas ligações, conseqüentemente formação de dienos conjugados, que absorvem a 232 nm e os trienos que são produtos secundários que absorvem a 270 nm, sendo representados por acetonas ou as cetonas insaturadas. Foi possível observar diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos apenas no tempo de 9 dias. O parâmetro  $K_{232}$  foi inferior na amostra F2, similar à F1, ambos diferindo da amostra controle, indicando que nos *cupcakes* adicionados de óleo de chia livre e encapsulado os dienos conjugados produzidos pela oxidação foram superiores na amostra controle. A amostra F2 também exibiu o menor valor do parâmetro  $K_{270}$  aos 9 dias de armazenamento, similar à F1, diferindo da amostra controle ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 9 - Valores médios para parâmetros  $K_{232}$ ,  $K_{270}$  e  $\Delta K$  para as diferentes amostras de *cupcakes* (C: controle; F1: com adição de óleo de chia livre; F2: com adição de microcápsulas de óleo de chia)**

| $K_{232}$    |                            |                            |                           |
|--------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Tempo (dias) | C                          | F1                         | F2                        |
| 1            | 3,58 <sup>aB</sup> ± 0,05  | 3,91 <sup>aA</sup> ± 0,28  | 4,34 <sup>aA</sup> ± 0,15 |
| 3            | 4,04 <sup>aAB</sup> ± 0,32 | 4,09 <sup>aA</sup> ± 0,10  | 4,06 <sup>aA</sup> ± 0,03 |
| 9            | 4,41 <sup>aA</sup> ± 0,09  | 4,11 <sup>bA</sup> ± 0,04  | 4,00 <sup>bA</sup> ± 0,08 |
| $K_{270}$    |                            |                            |                           |
| Tempo (dias) | C                          | F1                         | F2                        |
| 1            | 1,20 <sup>aA</sup> ± 0,01  | 1,41 <sup>aA</sup> ± 0,16  | 1,52 <sup>aA</sup> ± 0,07 |
| 3            | 1,41 <sup>aA</sup> ± 0,20  | 1,46 <sup>aA</sup> ± 0,09  | 1,45 <sup>aA</sup> ± 0,04 |
| 9            | 1,67 <sup>aA</sup> ± 0,04  | 1,55 <sup>abA</sup> ± 0,01 | 1,49 <sup>bA</sup> ± 0,06 |
| $\Delta K$   |                            |                            |                           |
| Tempo (dias) | C                          | F1                         | F2                        |
| 1            | 0,46 <sup>aA</sup> ± 0,01  | 0,62 <sup>aA</sup> ± 0,15  | 0,71 <sup>aA</sup> ± 0,05 |
| 3            | 0,61 <sup>aA</sup> ± 0,16  | 0,69 <sup>aA</sup> ± 0,08  | 0,67 <sup>aA</sup> ± 0,06 |
| 9            | 0,84 <sup>aA</sup> ± 0,03  | 0,75 <sup>aA</sup> ± 0,04  | 0,71 <sup>aA</sup> ± 0,07 |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 2). Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa entre tratamentos diferentes para um mesmo período de tempo pelo teste de Tukey (p > 0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para uma mesma amostra em dias diferentes pelo teste de Tukey (p > 0,05)**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Quando são comparados os diferentes tempos de armazenamento para uma mesma amostra observa-se diferença significativa apenas para a amostra controle para o coeficiente  $K_{232}$  aos 9 dias de armazenamento, em que o índice aumentou significativamente ao longo do tempo. Estes resultados demonstram que o comportamento oxidativo entre as amostras diferiu, aumentando na amostra controle, enquanto que para as amostras adicionadas de óleo livre ou encapsulado não variou com o tempo.

Na Tabela 10 são apresentados os valores para o teor de ômega 3 das amostras de *cupcakes* nos tempos 0 e 9 dias de armazenamento. Observa-se que a adição de óleo de chia livre e microencapsulado resultaram no aumento do teor de ômega 3 aos *cupcakes*, sendo o teor de ácido  $\alpha$ -linolênico superior nestas amostras se comparadas à controle (p ≤ 0,05). De acordo com a legislação sobre declaração da rotulagem nutricional (BRASIL, 2020), o alimento pode ser considerado como sendo “fonte de ômega 3” caso apresente uma concentração igual a 300 mg de ácido  $\alpha$ -linolênico por porção de referência. Portanto, nas condições estudadas e considerando a porção de referência para *cupcakes* de 60 g de acordo com a legislação (BRASIL, 2020), pode-se dizer que as duas formulações adicionadas de óleo de chia, livre ou microencapsulado, exibiram teores superiores a 300 mg de ômega 3 por porção de referência, portanto, podem ser consideradas como fonte

deste ácido graxo. Em contrapartida, a formulação controle também exibiu teor de ácido graxo ômega 3. Estes resultados demonstram que os ingredientes utilizados, tais como os ovos e a margarina, acabaram contribuindo com a agregação de ômega 3, além do óleo de chia. Nos diferentes tempos de armazenamento as amostras não tiveram alteração significativa em seus teores de ômega 3, em todas as condições experimentais.

**Tabela 10 - Valores médios para o ácido  $\alpha$ -linolênico (ômega 3) para as diferentes amostras de cupcakes (C: controle; F1: com adição de óleo de chia livre; F2: com adição de microcápsulas de óleo de chia)**

| Tratamento | 0 dias                           | 9 dias                           |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| C          | 434,54 <sup>cA</sup> $\pm$ 11,98 | 401,78 <sup>cA</sup> $\pm$ 12,28 |
| F1         | 785,92 <sup>aA</sup> $\pm$ 18,26 | 795,29 <sup>aA</sup> $\pm$ 5,36  |
| F2         | 668,22 <sup>bA</sup> $\pm$ 11,17 | 662,31 <sup>bA</sup> $\pm$ 3,75  |

**Resultados expressos como média  $\pm$  desvio padrão (n = 3). Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa entre tratamentos diferentes para um mesmo período de tempo pelo teste de Tukey (p > 0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para uma mesma amostra em dias diferentes pelo teste de Tukey (p > 0,05)**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 5.4.3 Perfil de textura

Os parâmetros avaliados na análise de perfil de textura (TPA): firmeza, adesividade, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade, coesividade e resiliência, estão apresentados na Tabela 11. Observa-se que a firmeza foi superior para a amostra que continha óleo de chia microencapsulado, fato que pode estar relacionado a proteína do soro de leite que consta na microcápsula que, de acordo com Marvic *et al.* (2022), pode exercer influência na textura do bolo que pode ser explicado pela alta capacidade de retenção de água da proteína de soro de leite, que reduz o teor de água disponível necessária para dissolver os açúcares, então cristaliza durante o cozimento do bolo, portanto afetando a textura do produto final.

**Tabela 11 - Perfil de textura das amostras de *cupcakes* controle (C), *cupcakes* adicionados de óleo de chia livre (F1) e *cupcakes* adicionados de óleo de chia encapsulado (F2)**

| Amostra | Firmeza (N)        | Adesividade          | Elasticidade        | Mastigabilidade (g)   | Gomosidade (g)        | Coesividade         | Resiliência         |
|---------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| C       | 10,62 <sup>b</sup> | -1,28 <sup>b</sup> ± | 0,89 <sup>b</sup> ± | 540,89 <sup>b</sup> ± | 605,84 <sup>b</sup> ± | 0,56 <sup>a</sup> ± | 0,24 <sup>a</sup> ± |
|         | ± 1,42             | 0,25                 | 0,02                | 78,52                 | 83,26                 | 0,04                | 0,02                |
| F1      | 10,95 <sup>b</sup> | -1,22 <sup>b</sup> ± | 0,94 <sup>a</sup> ± | 620,40 <sup>b</sup> ± | 660,23 <sup>b</sup> ± | 0,59 <sup>a</sup> ± | 0,23 <sup>a</sup> ± |
|         | ± 0,86             | 0,24                 | 0,03                | 53,07                 | 61,25                 | 0,01                | 0,01                |
| F2      | 15,76 <sup>a</sup> | -0,09 <sup>a</sup> ± | 0,89 <sup>b</sup> ± | 838,33 <sup>a</sup> ± | 942,17 <sup>a</sup> ± | 0,59 <sup>a</sup> ± | 0,24 <sup>a</sup> ± |
|         | ± 3,08             | 0,03                 | 0,03                | 128,41                | 150,57                | 0,07                | 0,03                |

**Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = 6)**

**Médias acompanhadas de letras diferentes sobrescritas na mesma coluna indicam diferença significativa entre as amostras pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05)**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Observa-se que a amostra que obteve maior valor de firmeza (F2) também obteve maior valor para adesividade, mastigabilidade e gomosidade, corroborando também com o reportado por Marvic *et al.* (2022), que afirmam que quando a estrutura da amostra é menos aerada se torna mais resistente à compressão, levando não apenas ao aumento da dureza, mas também ao aumento da gomosidade e mastigabilidade. As amostras não diferiram entre si quanto aos parâmetros de coesividade e resiliência, exibindo valores similares aos reportados por Marvic *et al.* (2022) e Gómez *et al.* (2007), para bolos adicionados de proteína do soro de leite e bolos adicionados de hidrocoloides, respectivamente.



## 6 CONCLUSÃO

O processo de microencapsulação de óleo de chia em isolado proteico de soro de leite e maltodextrina por *spray-drying* mostrou-se viável, com alto teor de óleo retido e boa eficiência de encapsulação, não afetando o teor de ômega 3 do óleo encapsulado. As análises termogravimétricas e espectroscópicas sugeriram que o óleo de chia foi eficientemente encapsulado. A morfologia das microcápsulas revelou estrutura esférica com presença de rugosidades.

A medida instrumental de cor revelou que as amostras adicionadas de óleo de chia microencapsulado exibiram crosta mais escura, possivelmente relacionada a incidência da reação de Maillard, favorecida pela presença de isolado proteico de soro de leite e maltodextrina nas microcápsulas. Além disso, o perfil de textura indicou que adição das microcápsulas nos *cupcakes* resultaram em bolos com textura mais firme e aderente, fato que também pode estar relacionado a composição dos materiais de parede das microcápsulas.

Os *cupcakes* adicionados de óleo de chia microencapsulado diferiram da amostra controle nos índices de oxidação  $K_{232}$  e  $K_{270}$  apenas aos 9 dias de armazenamento, exibindo valores de oxidação inferiores. O teor de ácido  $\alpha$ -linolênico das amostras revelou que a adição do óleo de chia livre ou microencapsulado resultou em aumento significativo no conteúdo de ômega 3, mantendo-se estável ao longo do tempo de armazenamento de 9 dias.

Sugere-se em estudos futuros avaliar condições mais extremas de armazenamento, com temperatura superior, bem como, a avaliação sensorial dos produtos elaborados.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, S., *et al.* Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and Trends-A Review. **Food Reviews International**, v. 28, n. 4, p. 343-374, 2012.
- AHMADIAN, Z., NIAZMAND, R., POURFARZAD, A., Microencapsulation of Saffron Petal Phenolic Extract: Their Characterization, In Vitro Gastrointestinal Digestion, and Storage Stability. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 10, p. 2745-2757, 2019.
- AKBARBAGLU, Z., *et al.* Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. **Food Chemistry** v. 359, 2021.
- ALCÂNTARA, M. A., *et al.* Influence of the emulsion homogenization method on the stability of chia oil microencapsulated by spray drying. **Powder Technology**, v. 354, n. 1, p. 877-885, 2019.
- ALMEIDA, M. M. C., *et al.* Textural, Color, Hygroscopic, Lipid Oxidation, and Sensory Properties of Cookies Containing Free and Microencapsulated Chia Oil. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 926-939, 2018.
- ALVARENGA BOTREL, D., *et al.* Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated orégano essential oil. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 11, p. 2289-2296, 2012.
- ANANTH, D. A., *et al.* Phytochemical composition and antioxidant characteristics of traditional cold pressed seed oils in South India. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 17, p. 416-421, 2019.
- BAE, E. K., LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. 8, p. 549-560, 2008.
- 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.
- BODOIRA, R. M., *et al.* Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 107-113, 2017.
- CAMPELO, P. H., *et al.* Effect of dextrose equivalent on physical and chemical properties of lime essential oil microparticles. **Industrial Crops and Products**, p. 105-114, 2017.
- CEYLAN, H., BILGIÇLI, N., CANKURTARAN, T. Improvement of functional cake formulation using Jerusalem artichoke flour as inulin source and resistant starch (RS4). **LWT- Food Science and Technology**, v. 145, 2021.
- CHANG, C., NICKERSON, M. T. Encapsulation of omega 3-6-9 fatty acids-rich oils using protein-based emulsions with spray drying. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 8, p. 2850-2861, 2018.

- COMUNIAN, T. A., FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 442-457, 2016.
- DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; BHASKER RAO, K. U. Microencapsulation technology and applications. **Defence Science Journal**, v. 59, n. 1, p. 82-95, 2009.
- FAN, L. *et al.* Development and characterization of soybean protein isolate and fucoidan nanoparticles for curcumin encapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 169, p. 194-205, 2021.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; *et al.* The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. **Food Hydrocolloids**, v. 24, p. 336-340, 2010.
- FERRARI, R. A.; DE SOUZA, W. L. Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 106-111, 2009.
- FERNANDES, S. S. *et al.* Effect of the spray drying conditions on the physicochemical and structural characteristics and the stability of chia oil microparticles. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 138, p. 1-14, 2021.
- FIRTIN, B., *et al.* Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies. **LWT- Food Science and Technology**, v. 134, 2020.
- FORSYTHE, S. J., *Microbiologia da segurança dos alimentos*. 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- FRITZEN-FREIRE, C. B., *et al.* Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306-312, 2012.
- GHARSALLAOUI, A., *et al.* Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International** v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.
- GÓMEZ, M., *et al.* Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 167-173, 2007.
- GONZÁLEZ, A., *et al.* Effects on bread and oil quality after functionalization with microencapsulated chia oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4903-4910, 2018.
- GOUIN, S. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, p. 330-347, 2004.
- GUO, J., *et al.* Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying. **LWT- Food Science and Technology**, v. 132, 2020.
- HARTMAN, L; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, n. 8, p. 475-476, 1973.
- IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ, **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1ª Edição Digital, 4. ed, São Paulo, 2008. 1020 p.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 5509: animal and vegetable fats and oils: preparation of methyl esters of fatty acids**. London, UK: International Organization for Standardization; 1978.

IXTAINA, V. Y., *et al.* Physicochemical characterization and stability of chia oil microencapsulated with sodium caseinate and lactose by spray-drying. **Powder Technology**, v. 271, p. 26-34, 2015.

JYOTHI, S. S.; *et al.* Microencapsulation: a review. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 3, p. 509-531, 2012.

KARRAR, E. *et al.* Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gurun seed oil using a spray-drying method. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 171, p. 208-216, 2021.

KOÇ, M., *et al.* Microencapsulation of Extra Virgin Olive Oil by Spray Drying: Effect of Wall Materials Composition, Process Conditions, and Emulsification Method. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 2, 301–318, 2015.

KORMA, S. A., *et al.* Spray-dried novel structured lipids enriched with medium-and long-chain triacylglycerols encapsulated with different wall materials: Characterization and stability. **Food Research International**, v. 116, p. 538-547, 2019.

LUZ, L. **Eficiência da encapsulação e estabilidade oxidativa do óleo de chia microencapsulado por spray drying**. 2016. 47 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

MADENE, A., *et al.* Flavour encapsulation and controlled release - A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 1-21, 2006.

MAHDAVI, S. A., *et al.* Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509–518, 2014.

MARAVIC, N., *et al.* Effect of Sourdough and Whey Protein Addition on the Technological and Nutritive Characteristics of Sponge Cake. **Foods**, 2022.

ROCHA, G. S., *et al.* Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. **Food and Bioprocess Processing**, p. 37-42, 2012.

SALEHI, F.; KASHANINEJAD, M. Texture profile analysis and stress relaxation characteristics of quince sponge cake. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, p. 1203-1210. 2018.

SCREMIN, F. R., *et al.* Synthesis and characterization of protein microcapsules for eugenol storage. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, n. 1, p. 653-660, 2018.

SIERRA, L., *et al.* Dietary intervention with salvia hispânica (chia) oil improves vascular function in rabbits under hypercholesterolaemic conditions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 14, p. 641-649, 2015.

SOLEIMANIFAR, M., JAFARI, S. M., ASSADPOUR, E. Encapsulation of olive leaf phenolics within electrosprayed whey protein nanoparticles; production and characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 101, p. 105572, 2019.

SOUZA, M. F. **Perfil de ácidos graxos do óleo de chia encapsulado em partículas de ácido esteárico**, trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SUFREDINI, S. **Encapsulação de extrato de açaí (*Euterpe oleraceae* martius) a base de alginato pelo método de gelificação iônica para indicador de qualidade de alimentos**. 2019. 67 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Bacharelado em Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

TIMILSENA, Y. P., *et al.* Advances in microencapsulation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs)-rich plant oils using complex coacervation: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 69, p. 369-381, 2017.

TIMILSENA, Y. P. *et al.* Investigation of oil distribution in spray-dried chia seed oil microcapsules using synchrotron-FTIR microspectroscopy. **Food Chemistry**, v. 275, p. 457-466, 2019.

ULLAH, R., *et al.* Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 4, p. 1750-1758, 2016.

YAN, C., *et al.* Microencapsulation for Food Applications: A Review. **ACS Applied Bio Materials**, v. 5, p. 5497-5512, 2022.

YOUNG, S. L., SARDA, X., ROSENBERG, M. Microencapsulating Properties of Whey Proteins. 1. Microencapsulation of Anhydrous Milk Fat. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 10, p. 2868-2877, 1993.

ZHOU, D. *et al.* Preparation of walnut oil microcapsules employing soybean protein isolate and maltodextrin with enhanced oxidation stability of walnut oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 83, p. 292-297, 2017.