

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DE NANOCÁPSULAS DE CASEÍNA CONTENDO O ÓLEO DE CHIA (*SALVIA HISPANICA L.*)¹

DEVELOPMENT, CHARACTERIZATION AND STABILITY OF CASEIN NANOCAPSULES WITH CHIA (*SALVIA HISPANICA L.*) OIL

Maiana da Costa Vieira² e Solange Cristina da Silva³

RESUMO

A chia (*Salvia hispanica L.*) vem sendo estudada principalmente devido à sua qualidade do óleo, onde os principais constituintes são os ácidos graxos poli-insaturados, importantes na prevenção ou para melhorar doenças metabólicas. Devido à sua estrutura poli-insaturada, os ácidos graxos são altamente propensos à oxidação levando a indesejáveis sabores e odores no enriquecimento de produtos alimentares. As proteínas do leite possuem importantes propriedades funcionais, incluindo a sua capacidade para ligarem-se as moléculas hidrofóbicas e de certa forma retardar a oxidação, o que lhes permite servir como materiais excelentes para o encapsulamento. Para melhorar a estabilidade do óleo de chia e manter o valor nutricional em produtos alimentares, bem como melhorar as características sensoriais dos alimentos (cor, sabor, odor e textura), o objetivo deste trabalho foi desenvolver, caracterizar e avaliar a estabilidade de nanocápsulas de caseína com óleo de semente de chia. As nanocápsulas foram preparadas por deposição interfacial da caseína e amostras foram mantidas em temperatura ambiente, sob refrigeração de 40°C, durante 90 dias. Após 30, 60 e 90 dias as amostras foram caracterizadas através da determinação do pH, diâmetro das partículas, índice de polidispersão (IP) e potencial zeta. As amostras se apresentaram estáveis a 4°C e a eficiência de encapsulação foi de 86,53% ± 4,73, demonstrando um bom método para nanoencapsular óleos e prevenir a oxidação dos mesmos, o que poderia ser utilizado enriquecendo produtos alimentares.

Palavras-chave: ácidos graxos poli-insaturados, encapsulação, nanopartículas.

ABSTRACT

Chia (Salvia hispanica L.) has been studied mainly due to the quality of its oil. The main constituents are polyunsaturated fatty acids, important in the prevention or in the improvement of metabolic diseases. Due to their polyunsaturated structure, fatty acids are highly prone to oxidation leading to undesirable flavors and odors in the enrichment of food products. Milk proteins have important functional properties, including their ability to bind hydrophobic molecules and, to some extent, retard oxidation, which enables them to serve as excellent encapsulation material. To improve the stability of chia oil, maintain its nutritional value in food products as well as to improve sensory characteristics of food (color, taste, odor and texture), this research sought to develop, characterize and evaluate the stability of nanocapsules of casein with chia seed oil. The nanocapsules were prepared by interfacial deposition of casein and some samples were kept at room temperature under 40°C for 90 days. After 30, 60 and 90 days the samples were characterized by pH, particle diameter, polydispersity index (IP) and zeta potential. The samples were stable at 4°C and the encapsulation

¹ Pesquisa realizada no Programa de Pós-graduação em Nanociências.

² Aluno de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Nanociências - Centro Universitário Franciscano. E-mail: maianavieira@yahoo.com.br

³ Orientadora. Programa de Pós-graduação em Nanociências - Centro Universitário Franciscano. E-mail: solangecr13@gmail.com

efficiency was $86.53\% \pm 4.73$, which shows this is a good method to nanoencapsulate oils and prevent their oxidation. This technique may be used to enrich food products.

Keywords: *polyunsaturated fatty acids, encapsulation, nanoparticles.*

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia envolve a caracterização, fabricação e/ou manipulação de estruturas, dispositivos ou materiais que medem menos de 100nm, em pelo menos uma dimensão. Quando o tamanho da partícula é reduzido abaixo desse limite, o material resultante apresenta propriedades físicas e químicas que são significativamente diferentes das propriedades dos materiais do composto em macro escala (DUNCAN, 2011; GRUÈRE, 2012).

A nanotecnologia nos últimos anos tem encontrado inúmeras aplicações em diferentes áreas, sendo uma delas a indústria de alimentos (FATHI; MOZAFARIB; MOHEBBIA, 2012). O enriquecimento de alimentos com produtos nutracêuticos é um objetivo importante, porém a sua eficácia na prevenção e recuperação de doenças depende da preservação, da funcionalidade e da biodisponibilidade dos nutracêuticos bioativos (ZIMET; ROSENBERG; LIVNEY, 2011).

Alguns dos benefícios da nanoencapsulação incluem redução das interações do núcleo com fatores ambientais, retardando alterações que podem resultar em perda de aroma, alteração de cor ou perda do valor nutricional e separação de componentes reativos ou incompatíveis (AZEREDO, 2005). Também pode reduzir a taxa de migração do material do núcleo para o ambiente externo (por exemplo, por evaporação, que é muito rápida no caso de compostos de sabor não encapsulados), evitar reações prematuras de um substrato, mascarar compostos de sabor indesejável, promover melhor solubilidade do núcleo e melhor incorporação em sistemas secos (DEPYPERE et al., 2003). Outro importante objetivo é permitir que a liberação do material do núcleo ocorra lentamente com o tempo ou a partir da ocorrência de um certo evento (AZEREDO, 2005).

Atualmente, a tendência dos consumidores sobre a escolha dos alimentos está mais associada com a saúde e ao bem-estar. Por isso, aumentou o fornecimento de produtos que se destacam pelo seu conteúdo em ômega 3, antioxidantes, fibras e outros componentes, já que os consumidores habituais estão aprendendo a reconhecer esses produtos como uma contribuição saudável (MARTÍNEZ et al., 2012).

Os ácidos graxos essenciais são ácidos graxos imprescindíveis ao organismo, que não podem ser sintetizados pelo mesmo, portanto devem ser oferecidos na alimentação. As duas classes de ácidos graxos essenciais são: o ácido graxo ômega 3, representado pelo ácido alfa-linolênico; e o ácido graxo ômega 6, representado pelos ácidos linoleico e araquidônico (CARMO; CORREIA, 2009). Os ácidos graxos da classe ômega 3 participam de processos inflamatórios e estão diretamente relacionados com a resistência imunológica, distúrbios metabólicos (doenças cardiovasculares e diabetes) e doenças neoplásicas (WAITZBERG, 2006).

A *Salvia hispanica L.* ou chia vem sendo estudada principalmente devido à sua qualidade do óleo, a semente tem cerca de 30g de óleo/100g de peso de semente, onde os principais constituintes são os ácidos graxos poli-insaturados (IXTAINA et al., 2011; CAPITANI et al., 2012). Estudos relatam a importância da chia para a prevenção ou melhoria de diversos distúrbios metabólicos incluídos na síndrome metabólica, como diabetes tipo 2, resistência à insulina, hipertensão, obesidade, diminuição da resposta inflamatória e doenças cardiovasculares (ESCALONA-GARCÍA et al., 2016).

Devido à sua estrutura poli-insaturada, os ácidos graxos são altamente propensos à oxidação, levando a indesejáveis sabores e odores no enriquecimento de produtos alimentares. A presença de ácidos graxos ômega 3 é um difícil desafio em sistemas alimentares, protegendo as suas propriedades benéficas e utilizando apenas ingredientes naturais (GUIMARÃES-INÁCIO et al., 2018).

Devido aos principais ácidos graxos do óleo de chia serem voláteis e quimicamente instáveis na presença de luz, oxigênio, umidade e calor, a nanotecnologia aplicada ao encapsulamento é uma alternativa promissora para proteger o óleo contra a oxidação lipídica e para melhorar sua solubilidade e a estabilidade. Desse modo, pode manter o valor nutricional quando adicionado em produtos alimentares, bem como melhorar as características sensoriais (cor, sabor, textura e aroma). O objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento, caracterização e avaliação da estabilidade de nanocápsulas de caseína contendo óleo de semente chia.

MATERIAL E MÉTODOS

PREPARAÇÃO DAS NANOCÁPSULAS DE CASEÍNA COM ÓLEO DE CHIA

As nanocápsulas de caseína contendo óleo de chia (SEIVA BRASILIS LTDA), desenvolvidas no Laboratório de Nanotecnologia da Universidade Franciscana, foram preparadas de acordo com Zimet, Rosenberg e Livney (2011). Foi pesado em balança analítica 1,0 grama de caseína e dissolvida em 100mL de água Milli-Q, homogeneizada com um bastão de vidro e submetida à agitação magnética de 500rpm, durante duas horas, em banho maria a 40°C, protegida da luz, 3ml de óleo de chia foram dissolvidos em 1mL de etanol (Vetec) e adicionado à solução da caseína sob agitação constante.

DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DE PARTÍCULA, ÍNDICE DE POLIDISPERSÃO (IP) E POTENCIAL ZETA

O diâmetro médio das partículas e o índice de polidispersão foram obtidos por espalhamento de luz dinâmico e o potencial zeta das dispersões foi obtido através de eletroforese (Zetasizer® nano-ZS modelo ZEN 3600, Malvern), após diluição das dispersões (500 vezes, V/V) em água Milli-Q® para determinar o diâmetro médio e índice de polidispersão, e em solução de NaCl (Vetec) 10mM para deter-

minar o potencial zeta, previamente filtrada através de membrana 0,20µm. As medidas foram realizadas a temperatura ambiente, a partir de uma média de três determinações, os resultados foram expressos em nanômetros para o tamanho e em milivolts (mV) para o potencial zeta.

EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO DAS NANOCÁPSULAS DE CASEÍNA COM ÓLEO DE CHIA

A eficiência de encapsulação das nanocápsulas foi avaliada de acordo com a metodologia proposta por Rodea-González et al. (2012). Transferiu-se 50mL da suspensão de nanocápsula para um funil de separação, em seguida foi realizada a extração com 15mL de Hexano (Vetec) e o solvente evaporado em rotaevaporador rotatório (Fisatom). A eficiência da encapsulação foi obtida a partir de uma média de três determinações, de acordo com a fórmula a seguir, e o resultado foi expresso em porcentagem.

$$\% \text{ de Encapsulação} = \frac{\text{Óleo de chia total} - \text{Óleo de chia da superfície}}{\text{Óleo de chia total}} \times 100$$

AValiação DA ESTABILIDADE DAS NANOCÁPSULAS DE CASEÍNA COM ÓLEO DE SEMENTE DE CHIA

As amostras de nanocápsulas preparadas foram transferidas para um tubo de ensaio e deixadas à temperatura ambiente, em estufa à 40 °C e em geladeira à 4°C, durante 90 dias. As amostras de nanocápsulas foram avaliadas em diferentes tempos (30, 60 e 90 dias). Os resultados foram analisados utilizando os seguintes parâmetros: pH, diâmetro médio, índice de polidispersão e potencial zeta. O pH foi avaliado através de um pHmetro eletrônico (DM-22 - Digimed), calibrado com solução tampão pH 4,0 e 7,0, diretamente na suspensão coloidal, após a preparação. Foram realizadas medidas em três diferentes amostras e o diâmetro médio, índice de polidispersão e potencial zeta de acordo com o procedimento descrito anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS NANOCÁPSULAS

Os resultados apresentados a seguir são referentes à caracterização das nanocápsulas, preparadas pelo método de deposição interfacial da caseína. Após a preparação, as suspensões de nanocápsulas resultaram em formulações com aparência macroscópica homogênea, aspecto leitoso, branco e com odor característico de leite. As suspensões apresentaram o aspecto visual das suspensões de nanocápsulas semelhante

ao descrito na literatura para diferentes sistemas de nanocápsulas preparadas pelo método de deposição interfacial de polímeros pré-formados (KÜLKAMP et al., 2009). Quando não ocorria a nanoencapsulação adequada, as suspensões resultaram em formulações com aparência macroscópica não homogênea, de coloração amarelada, onde era visível a separação do óleo da suspensão.

A análise do pH é importante para assegurar a estabilidade química do polímero presente nas nanocápsulas, dado que a alteração de pH pode indicar degradação do polímero em solução (MELO et al., 2010). O pH inicial de todas as suspensões (4°C, 40°C e temperatura ambiente) apresentaram resultados próximos da neutralidade, conforme pode ser observado nas tabelas 1, 2 e 3.

De uma forma geral, as nanopartículas obtidas através de diferentes métodos, após a preparação, apresentam diâmetros médios entre 100 e 300nm, com um baixo índice de polidispersão (SCHAFFAZICK et al., 2003). O diâmetro médio de partícula com valores inferiores a 300nm e valores de índice de polidispersão inferiores a 0,3 garantem uma adequada homogeneidade na distribuição do tamanho das partículas (WEISS-ANGELIE et al., 2008).

Todas as suspensões apresentaram valores inferiores a 300nm para diâmetro médio de partícula e valores de índice de polidispersão inferiores a 0,3, sendo que a suspensão a 4°C apresentou diâmetro médio de partícula inicial de $213,57 \pm 22,4$ nm e índice de polidispersão de $0,27 \pm 0,15$; a suspensão a 40°C apresentou diâmetro médio de partícula inicial de $264 \pm 30,9$ nm e índice de polidispersão de $0,29 \pm 0,04$; e a suspensão a temperatura ambiente apresentou diâmetro médio de partícula inicial de $211 \pm 8,28$ nm e índice de polidispersão de $0,29 \pm 0,05$ (Tabela 1 e Figura 1).

O potencial zeta está relacionado com a carga de superfície das nanocápsulas (MOSQUEIRA et al., 2000; MELO et al., 2010), sendo que esse parâmetro pode ser influenciado pela composição da partícula, meio dispersante, pH e força iônica presentes na solução. Normalmente, nanopartículas (dentre elas as nanocápsulas) que apresentam valores de potencial zeta próximos a ± 30 mV possuem boa estabilidade coloidal em solução (MELO et al., 2010). Os valores iniciais de potencial zeta de todas as suspensões indicam uma boa estabilidade das nanocápsulas de caseína com óleo de semente de chia, uma vez que os valores encontrados são maiores que -30mV. A suspensão a 4°C em torno $-35,9$ mV $\pm 4,45$, a suspensão a 40°C em torno $-30,7$ mV $\pm 1,08$ e a suspensão a temperatura ambiente em torno $-31,6$ mV $\pm 3,71$ (Tabelas 1, 2, 3 e Figuras 1 e 2).

Tabela 1 - Caracterização inicial da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a 4°C.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media \pm DP
pH	6,6	6,7	6,6	$6,63 \pm 0,06$
Diâmetro das partículas (nm)	194	238	208	$213,57 \pm 22,4$
Índice de polidispersão	0,152	0,437	0,234	$0,27 \pm 0,15$
Potencial zeta (mV)	-40,7	-31,9	-35,1	$-35,9 \pm 4,45$

Tabela 2 - Caracterização inicial da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a 40°C.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media ± DP
pH	6,6	6,6	6,5	6,56 ± 0,06
Diâmetro das partículas (nm)	287	277,1	229,2	264 ± 30,9
Índice de polidispersão	0,235	0,31	0,314	0,29 ± 0,04
Potencial zeta (mV)	-29,5	-31	-31,6	-30,7 ± 1,08

Tabela 3 - Caracterização inicial da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a temperatura ambiente.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media ± DP
pH	6,6	6,6	6,4	6,53 ± 0,11
Diâmetro das partículas (nm)	218	202	213,7	211 ± 8,28
Índice de polidispersão	0,341	0,334	0,39	0,29 ± 0,05
Potencial zeta (mV)	-27,7	-31,9	-35,1	-31,6 ± 3,71

Figura 1 - Gráfico inicial das suspensões de nanocápsulas referente ao diâmetro médio das partículas e índice de polidispersão.

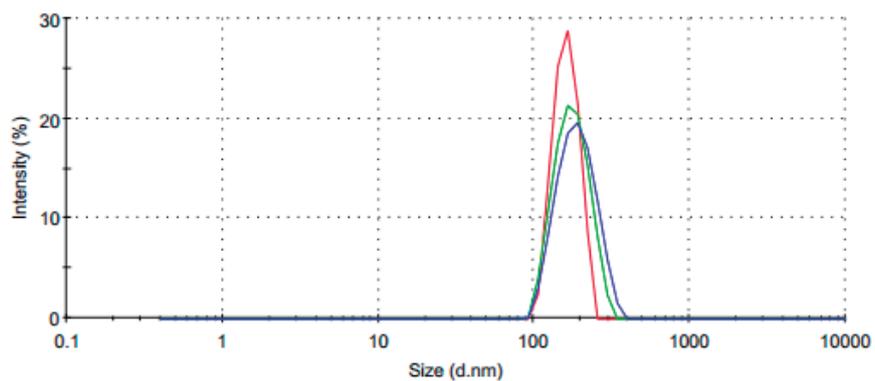
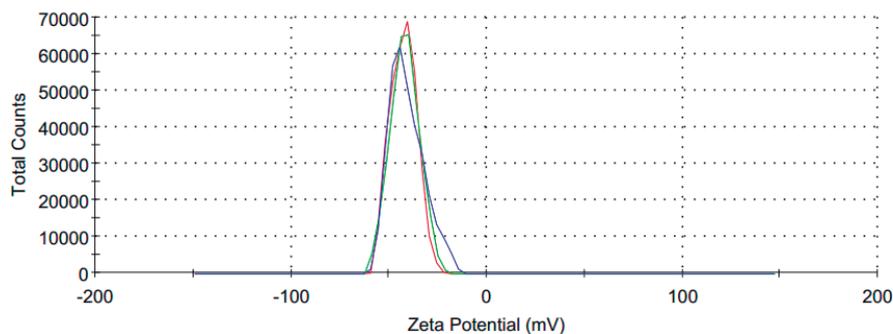


Figura 2 - Gráfico inicial das suspensões de nanocápsulas referente ao potencial zeta das partículas.



Em um estudo desenvolvido por Semo et al. (2007), no qual foram desenvolvidas nanocápsulas de caseína para encapsular vitamina D, uma vitamina lipossolúvel, foi encontrado um diâmetro médio de partículas de 150nm. Zimet e Livney (2009) desenvolveram nanocápsulas de β -lactoglobulina, a principal proteína do soro de leite, juntamente com pectina para encapsular DHA (ácido docosahexaenoico), as quais apresentaram um pH de 4,5 e um diâmetro médio de 240nm e um potencial zeta médio de -50mV.

As soluções em temperatura ambiente, que passaram por aquecimento a 40°C, não mantiveram estabilidade após 30 dias e a solução precipitou, não ficando homogênea e com um mau odor, característico de produto estragado. Já as soluções que foram mantidas sobre refrigeração a 4 °C não apresentaram mudanças significativas de pH durante 30, 60 e 90 dias, a manutenção do pH das formulações demonstra não haver a degradação significativa do polímero, também não apresentou diferença significativa de diâmetro de partículas e potencial zeta durante 30, 60 e 90 dias (Tabelas 4, 5, 6 e Figuras 3 e 4).

Tabela 4 - Caracterização da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a 4°C em 30 dias.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media \pm DP
pH	6,6	6,6	6,5	6,57 \pm 0,04
Diâmetro das partículas (nm)	196	236	215	215,67 \pm 20,0
Índice de polidispersão	0,145	0,245	0,287	0,22 \pm 0,07
Potencial zeta (mV)	-34,4	-35,3	-33,3	-34,3 \pm 1,00

Tabela 5 - Caracterização da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a 4°C em 60 dias.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media \pm DP
pH	6,5	6,6	6,5	6,53 \pm 0,06
Diâmetro das partículas (nm)	196,8	238	202,6	212,46 \pm 22,3
Índice de polidispersão	0,142	0,283	0,249	0,22 \pm 0,07
Potencial zeta (mV)	-38,5	-54,2	-39,2	-43,97 \pm 8,87

Tabela 6 - Caracterização da suspensão das nanocápsulas (pH, diâmetro médio das partículas, índice de polidispersão e potencial zeta) a 4°C em 90 dias.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Media \pm DP
pH	6,6	6,5	6,5	6,57 \pm 0,04
Diâmetro das partículas (nm)	190	243	214	215,67 \pm 20,0
Índice de polidispersão	0,205	0,238	0,131	0,19 \pm 0,05
Potencial zeta (mV)	-37,9	-35,1	-37	-36,7 \pm 1,43

Figura 3 - Gráfico da suspensão de nanocápsulas em temperatura 4°C referente ao diâmetro médio das partículas e índice de polidispersão após 90 dias.

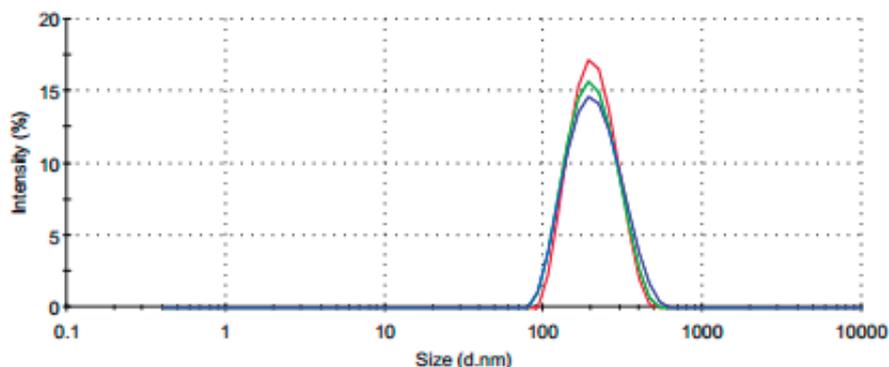
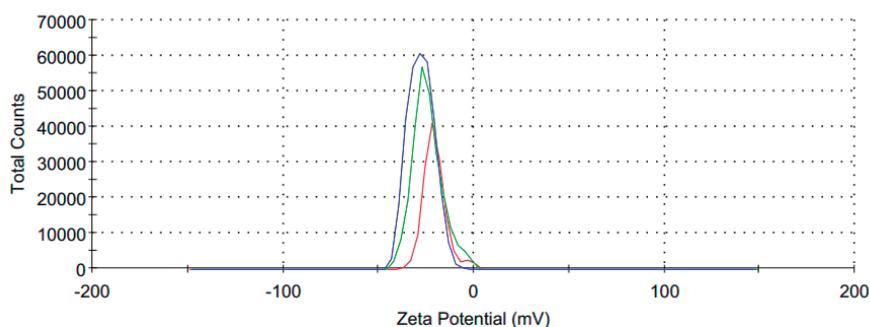


Figura 4 - Gráfico da suspensão de nanocápsulas em temperatura 4°C referente ao potencial zeta das partículas após 90 dias.



Em outro estudo desenvolvido por Zimet, Rosenberg e Livney (2011), em que desenvolveram nanopartículas de caseína com DHA, o diâmetro médio de partículas foi de $288,9 \pm 9,6$ nm, pH de 6,7, semelhantes aos resultados encontrados no presente estudo, porém mostraram estabilidade de 37 dias armazenadas a 4°C, mostrando que os diâmetros hidrodinâmicos dessa formulação são compatíveis com uma suspensão coloidal com nanopartículas.

Shpigelman, Cohen e Livney (2012) nanoencapsularam, com β - lactoglobulina, a Epigallocatequina, um polifenol solúvel em água, sensível à oxidação. Tendo como resultado uma nanocápsula de pH 6,8, tamanho médio das partículas de 200-300nm, também semelhantes aos resultados encontrados neste estudo, e durante 10 dias em temperatura ambiente se mostraram estáveis.

Em um estudo mais recente de Campo et al. (2017), o óleo de semente de chia foi nanoencapsulado utilizando mucilagem de sementes de chia. O tamanho médio de partícula foi de $205 \pm 4,24$ nm e potencial zeta de $-11,58 \pm 1,87$ mV. O óleo nanoencapsulado apresentou maior estabilidade contra a oxidação do que óleo não encapsulado. Os resultados sugerem que a mucilagem de sementes de chia representa uma alternativa promissora para substituir polímeros sintéticos em nanoencapsulação.

Fisberg et al. (2002) adicionaram 1% de EDTA como conservante nas soluções de nanocápsulas de caseína com óleo de semente de chia deixadas em temperatura ambiente. O EDTA é um aditivo

utilizado nos alimentos como antioxidante, conservante, sinergista ou sequestrante, na forma de seus sais - dissódico (etilenodiaminotetraacetato dissódico) e cálcio dissódico (etilenodiaminotetraacetato de cálcio e dissódico), onde o cálcio dissódico é utilizado em alimentos que contenham compostos gordurosos (FISBERG et al., 2002). Após 30 dias o resultado foi o mesmo que as soluções em temperatura ambiente sem conservantes, a solução precipitou e o mau odor foi detectado novamente.

EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO

O resultado encontrado no presente trabalho foi de $86,53\% \pm 4,73$, mostrando um bom método para encapsular o óleo de chia. No estudo de Rodea-González et al. (2012), foi realizado o encapsulamento do óleo de chia através da técnica de *spray-dried*, utilizando misturas da proteína concentrada do soro de leite com goma arábica ou de goma algaroba, onde foram preparadas oito emulsões diferentes, e todas apresentaram eficiência de encapsulação maior que 70%, compatível com o resultado encontrado neste estudo.

Em outro estudo, onde foi realizada a extração do óleo de semente de romã e o encapsulamento por *spray-dried*, foi utilizado leite desnatado em pó como agente de encapsulação e foi encontrada uma eficiência máxima de encapsulação de 95,6%. Verificou-se que a eficiência de encapsulação aumentou com um aumento na concentração do óleo e com o aumento da temperatura utilizada na técnica do *spray-dried* (GOULA; ADAMOPOULOSB, 2012).

No estudo de Frascareli et al. (2012), foi avaliada a influência das condições de processo sobre a microencapsulação do óleo de café por *spray dried*, utilizando goma arábica como agente encapsulante. A eficiência de encapsulação variou 48-82% e foi significativamente influenciada pelo teor de sólidos totais, concentração de óleo em relação aos sólidos totais e temperatura de entrada de ar.

Abreu et al. (2012) desenvolveram nanogéis baseados em quitosana e goma de cajueiro, que foram carregados com óleo de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides Cham*), e obteve-se uma eficiência de encapsulação de 70%. Vários parâmetros, como a concentração da goma do cajueiro e teor do óleo, tiveram influência nas propriedades dos nanogéis.

Carneiro et al. (2013) avaliaram o potencial da combinação de maltodextrina com diferentes materiais de parede (goma arábica, concentrado proteico do soro do leite e dois tipos de amido modificado) para microencapsulação de óleo de linhaça por *spray-dried*, a fim de maximizar a eficiência de encapsulamento e minimizar a oxidação lipídica. Os valores de eficiência de encapsulação variaram desde 62,3% a 95,7%, sendo o menor valor obtido para maltodextrina com concentrado proteico do soro do leite. A combinação de maltodextrina com amido modificado mostrou o melhor resultado da eficiência de encapsulação. Por outro lado, no estudo de estabilidade oxidativa, a combinação de maltodextrina com concentrado proteico do soro do leite teve um melhor resultado para proteger o material ativo contra a oxidação durante o armazenamento.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que as suspensões de nanocápsulas de caseína com óleo de chia apresentaram boa distribuição do diâmetro de partículas e os diâmetros hidrodinâmicos dessa formulação são compatíveis com uma suspensão coloidal com nanopartículas, demonstrando, neste estudo, que a caseína foi eficiente e viável na nanoencapsulação do óleo.

A eficiência de encapsulação do óleo de chia nas nanocápsulas apresentou um valor de 86,53%, demonstrando boa afinidade do óleo com a caseína, e as suspensões de nanocápsulas mantidas a 4°C apresentaram maior estabilidade após os 90 dias, sendo assim, a nanoencapsulação pode ser um bom método para encapsulação do óleo de semente de chia.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. O. M. S. et al. Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 1277-1282, 2012.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

CAMPO, C. et al. Nanoencapsulation of chia seed oil with chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) as wall material: Characterization and stability evaluation. **Food Chemistry**, v. 234, n. 1, p. 1-9, 2017.

CAPITANI, M. I. et al. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, p. 94-102, 2012.

CARMO, M. C. N. S.; CORREIA, M. I. T. D. A Importância dos Ácidos Graxos Ômega-3 no Câncer. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 55, n. 3, p. 279-287, 2009.

CARNEIRO, H.C.F. et al. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, p. 443-451, 2013.

DEPYPERE, F. et al. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Applied Biotechnology Food Science and Policy**, v. 1, n. 2, p. 75-94, 2003.

DUNCAN, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 363, p. 1-24, 2011.

ESCALONA-GARCÍA, L.A. et al. Oxidation kinetics and thermodynamic analysis of chia oil microencapsulated in a whey protein concentrate-polysaccharide matrix. **Journal of Food Engineering**, v. 175, p. 93-103, abr. 2016.

FATHI, M.; MOZAFARIB, M. R.; MOHEBBIA, M. Nanoencapsulation of food ingredients using lipid based delivery systems. **Trends in Food Science & Technology**, v. 23, p. 13-27, 2012.

FISBERG, R. M. et al. Estimativa do consumo de EDTA em escolares. **Nutrire: Revista Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, São Paulo- SP, v. 24, p. 71-83, dez. 2002.

FRASCARELI, E. C. et al. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 413-424, 2012.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A method for pomegranate seed application in food industries: Seed oil encapsulation. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 639-652, 2012.

GRUÈRE, G. P. Implications of nanotechnology growth in food and agriculture in OECD countries. **Food Policy**, v. 37, p. 191-198, 2012.

GUIMARÃES-INÁCIO, A. et al. Evaluation of the oxidative stability of chia oil-loaded microparticles by thermal, spectroscopic and chemometric methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 498-506, jan. 2018.

IXTAINA, V. Y. et al. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 4, p. 166-174, 2011.

KÜLKAMP, I. C. et al. Estabilização do ácido lipoico via encapsulação em nanocápsulas poliméricas planejadas para aplicação cutânea. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2078-2084, 2009.

MARTÍNEZ, M. L. et al. Chia (*Salvia hispanica L.*) oil extraction: Study of processing parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, p. 78-82, 2012.

MELO, N. F. S. et al. Desenvolvimento e caracterização de nanocápsulas de poli (l-lactídeo) contendo Benzocaína. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 65-69, 2010.

MOSQUEIRA, V. C. F. et al. Poly(d,l-lactide) nanocapsules prepared by a solvent displace process: Influence of the composition on physicochemical and structural properties. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 89, p. 614-626, 2000.

RODEA-GONZÁLEZ, D. A. et al. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica*L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 102-109, 2012.

SCHAFFAZICK, S. R. et al. Caracterização e estabilidade físico-química de sistemas poliméricos nanoparticulados para administração de fármacos. **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 726-737, 2003.

SEMO, E. et al. Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 936-942, 2007.

SHPIGELMAN, A.; COHEN, Y.; LIVNEY, Y. D. Thermally-induced β -lactoglobuline EGCG nanovehicles: Loading, stability, sensory and digestive-release study. **Food Hydrocolloids**, v. 29, p. 57-67, 2012.

WAITZBERG, D. L. **Nutrição Oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2006. p. 55-78.

WEISS-ANGELI, V. et al. Nanocapsules of octylmethoxycinnamate containing quercetin delayed the photodegradation of both components under ultraviolet A radiation. **Journal of Biomedical Nanotechnology**, v. 4, p. 80-89, 2008.

ZIMET, P.; LIVNEY, Y. D. Beta-lactoglobulin and its nanocomplexes with pectin as vehicles for w 3 polyunsaturated fatty acids. **Food Hydrocolloids**, n. 23, p. 1120-1126, 2009.

ZIMET, P.; ROSENBERG, D.; LIVNEY, Y. D. Re-assembled casein micelles and casein nanoparticles as nano-vehicles for W-3 polyunsaturated fatty acids. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1270-1276, 2011.