

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUANA LUZ

**EFICIÊNCIA DA ENCAPSULAÇÃO E ESTABILIDADE
OXIDATIVA DO ÓLEO DE CHIA MICROENCAPSULADO POR *SPRAY
DRYING***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA
2016

LUANA LUZ

**EFICIÊNCIA DA ENCAPSULAÇÃO E ESTABILIDADE
OXIDATIVA DO ÓLEO DE CHIA MICROENCAPSULADO
POR *SPRAY DRYING***

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso Superior de Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Fábio Avelino Bublitz
Ferreira

Co-orientador: Prof.^a Deisy Alessandra
Drunkler

MEDIANEIRA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

LUANA LUZ

EFICIÊNCIA DA ENCAPSULAÇÃO E ESTABILIDADE OXIDATIVA DO ÓLEO DE CHIA MICROENCAPSULADO POR *SPRAY DRYING*

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Engenheiro de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Câmpus Medianeira, avaliado pela banca formada pelos professores:

Prof. Fábio Avelino Bublitz Ferreira
Orientador

Prof.^a Deisy Alessandra Drunkler
Co-orientadora

Prof. Glaucia Cristina Moreira

Prof.^a Marinês Paula Corso

***O Termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me acompanhou durante todos os momentos.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Carlos Augusto da Luz e Ilda Diniz dos Santos, que me compreenderam nos momentos de nervosismo, me incentivaram nos momentos mais difíceis e sempre lutaram para que eu continuasse estudando. E a minha irmã, Clara Luz, que sempre me apoiou e viu como um exemplo.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná que me proporcionou inúmeros conhecimentos. E a todos os professores que estiveram dispostos a me ajudar e me tornaram não só um profissional técnico, mas também ético e responsável.

Ao meu professor orientador, Fábio Avelino Bublitz Ferreira pela paciência, orientação e ensinamentos durante todo o trabalho e a professora Deisy Alessandra Drunkler pela ajuda na elaboração desse trabalho.

A empresa Agropecuária Produza S.A., por ter doado o óleo da chia, colaborando com os resultados obtidos no trabalho.

E aos meus amigos, que estiverem comigo me apoiado durante a graduação e tornando essa uma fase muito especial da minha vida.

RESUMO

LUZ, Luana. **Eficiência da encapsulação e estabilidade oxidativa do óleo de chia microencapsulado por *spray drying***. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus – Medianeira, 2016.

A microencapsulação na indústria de alimentos está em constante crescimento e um dos procedimentos mais utilizados para microencapsular é a secagem por *spray drying*. A microencapsulação do óleo da *Salvia hispanica L.*, também conhecida como chia, é realizada principalmente devido à sua composição, que contém os ácidos graxos poli-insaturados. Esses compostos são altamente suscetíveis a processos oxidativos, caso esteja em contato com o calor, luz, oxigênio e/ ou umidade. O objetivo foi analisar a estabilidade oxidativa do óleo encapsulado pelo índice de peróxidos, através do armazenamento durante 30 dias em atmosfera com umidade relativa padronizada em 33% e avaliar a eficiência do processo de encapsulação, juntamente com o rendimento de sólidos. A obtenção das microcápsulas foi realizada utilizando-se a técnica de secagem por atomização e a proteína isolada de soja (PIS) e lecitina de soja como materiais de parede. Para a secagem por *spray drying* utilizou-se um bico atomizador tipo duplo fluido, com orifício de 1,0 mm de diâmetro, com a vazão da alimentação de $0,35 \pm 0,03 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, temperatura do ar de secagem de $124 \text{ }^\circ\text{C}$ e com pressão de ar do compressor de 0,4 MPa. Foi avaliada a atividade de água (A_w) das microcápsulas produzidas, também com o intuito de avaliar estabilidade oxidativa, obtendo-se um valor de $0,38 \pm 0,05$. As microcápsulas obtidas apresentaram superfície íntegra e arredondada, com diâmetro médio de $602,21 \pm 315,16 \text{ }\mu\text{m}$, com presença de óleo no interior e na superfície externa. Os resultados se mostraram baixos para o rendimento de sólidos obtidos após a secagem e para a eficiência de microencapsulação do óleo, obtendo-se valores de 10,26% e 11,41%, respectivamente. Após o processo de secagem, houve um aumento do índice de peróxidos, variando de $1,81 \pm 0,53 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ para $18,50 \pm 4,21 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ para as microcápsulas sem armazenamento. Mesmo não apresentando diferença significativa ($p > 0,05$), o estudo da estabilidade oxidativa mostrou efeito satisfatório, sendo que o índice de peróxidos diminuiu ao longo do tempo, variando de $18,50 \pm 4,21 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ para $13,44 \pm 1,37 \text{ meq} \cdot \text{kg}$ após 30 dias de armazenamento e permanecendo de acordo com o limite estabelecido pela ANVISA.

Palavras-chave: Atomização; Microencapsulação; *Salvia Hispanica L.*; Oxidação.

ABSTRACT

LUZ, Luana. **Encapsulation efficiency and oxidative stability of chia oil microencapsulated by spray drying.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus – Medianeira, 2016.

Microencapsulation in the food industry has been in constantly growing and one of the most technology used for microencapsulating has been the spray drying. The microencapsulation of oil *Salvia hispanica L.*, also known as chia, is perform mainly due to its composition which contains the polyunsaturated fatty acids. These compounds are highly susceptible to oxidative processes, if in contact with heat, light, oxygen and / or moisture. The objective was analyze the oxidative stability of the encapsulated oil peroxide value during 30 days of storage in standard atmosphere with relative humidity of 33% and evaluate the efficiency of the encapsulation process, with the yield of solids. The obtention of microcapsules has been conducted using the spray drying technique and soy protein isolate (SPI) and soybean lecithin as wall materials. For the spray drying was used a double fluid type atomizer nozzle with orifice of 1.0 mm diameter, with the flow rate of feed $0.35 \pm 0.03 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, drying air temperature of 124°C and compressor air pressure of 0.4 MPa. Water activity was evaluated (A_w) for capsules produced, also in order to assess oxidative stability, resulting in a value of 0.38 ± 0.05 . The capsules obtained had integrates and round surface, with an average diameter of $602.2 \pm 1315.16 \mu\text{m}$ with the presence of oil on the inside and on the outside surface. The results shown low yield of solids after drying and microencapsulation efficiency of the oil, give values of 10.26% and 11.41%, respectively. After the drying process, there was an increase of the peroxide value ranging from 1.81 ± 0.53 to $18.50 \pm 4,21 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ capsules without storage. Although there wasn't significant difference ($p > 0.05$), the study of oxidative stability showed satisfactory effect, and the peroxide value decreased over time, ranging from $18.50 \pm 4.21 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ to $13,44 \pm 1.37 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ after 30 days of storage and staying under the limit established by ANVISA.

Keywords: Atomization; Microencapsulation; *Salvia Hispanica L.*; Oxidation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Plantas de Chia (<i>Salvia hispanica L.</i>), planta herbácea.	10
Figura 2- Estrutura do ácido oléico, ácido linoléico e do ácido α linolênico	14
Figura 3- Diagrama da solubilidade da proteína isolada de soja em função do pH.	17
Figura 4- Formação de partícula por <i>spray dryer</i>	18
Figura 5- Ciclone de um equipamento de <i>Spray Dryer</i>	19
Figura 6- Mini Spray Dryer, MSD 1.0 LABMAQ.....	22
Figura 7- Imagem do ciclone do <i>spray dryer</i> após processo de encapsulação.	30
Figura 8 - Imagens das microcápsulas com aumento de 10x utilizando lugol como corante. .	31
Figura 9- Índice de peróxidos para o óleo de chia não encapsulado e encapsulados e armazenados por 0 dias e por 30 dias.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 CHIA	10
3.1.1 Óleo de chia.....	11
3.2 ÁCIDOS GRAXOS.....	13
3.3 ENCAPSULAÇÃO	15
3.3.1 Proteína isolada de soja (PIS).....	16
3.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (<i>SPRAY DRYING</i>).....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 MATERIAL	21
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
4.2.1 Elaboração de cápsulas.....	21
4.2.2 Eficiência da encapsulação.....	23
4.2.3 Análise Morfológica e Determinação do Diâmetro Médio das Microcápsulas	23
4.2.4 Rendimento de sólidos recuperados	24
4.2.5 Avaliação do Perfil Oxidativo do Óleo de Chia.....	24
4.2.6 Atividade de Água.....	25
4.2.7 Análise Estatística	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 EFICIÊNCIA DA ENCAPSULAÇÃO	27
5.2 ANÁLISE MORFOLÓGICA E DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DAS MICROCÁPSULAS	30
5.3 ESTABILIDADE OXIDATIVA.....	32
6 CONCLUSÃO	36
6.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	37
7 REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Transformações em hábitos alimentares, principalmente devido às mudanças na rotina das populações, fazem com que a alimentação se torne cada vez mais defasada em alimentos que tenham o mínimo de nutrientes para uma alimentação saudável. Isso gera interesse, principalmente, pelas indústrias de produtos alimentícios no desenvolvimento de alimentos enriquecidos com apelo funcional e nutricional (GOHARA et al., 2013).

Chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea, nativa do sul do México e norte da Guatemala, onde foi utilizada como medicamento e tintura. Nos últimos anos, sementes de chia estão sendo reintroduzidas nas dietas, a fim de melhorar a saúde humana (GUIOTTO et al., 2013).

As sementes de chia têm cerca de 25-38 % de lipídeos, sendo estes ricos em ácidos graxos poli-insaturados. Os principais componentes são o ácido linoléico (17-26 %) conhecido como ômega 6, e o ácido α -linolênico (50-57 %) conhecido como ômega 3 (AYERZA, 1995). Dietas a base de ácidos graxos poli-insaturados evidenciaram o seu uso com a redução de níveis de colesterol total e triglicerídeos, que são relacionados a doenças cardiovasculares, ateroscleroses, artrite, hipertensão e trombose (MARTINS et al., 2008).

O óleo de semente de chia tem uma composição química variável, devido a vários fatores, tais como ambiente de cultivo e o sistema de extração (COATES; AYERZA, 1998). Em relação a extração do óleo de chia, resultados experimentais mostraram que o rendimento de óleo de chia por prensagem foi menor, quando comparado com a extração com solvente; porém, a extração com solvente afetou negativamente a composição dos constituintes antioxidantes, tais como os tocoferóis e polifenóis (MARTÍNEZ et al., 2012).

Os ácidos graxos são suscetíveis a processos oxidativos que comprometem a concentração e a sua funcionalidade. Para evitar a oxidação, são utilizadas barreiras, como a encapsulação, que devem evitar o contato com oxigênio, a umidade e a luz. Quanto mais insaturações possuírem os lipídios, maior deverá ser a proteção (PACHECO; REGITANO-D'ARCE, 2009).

A encapsulação pode proporcionar uma barreira física entre o composto do núcleo e o meio externo. É uma técnica na qual o líquido resulta em gotas que irão formar partículas sólidas ou compostos gasosos que são aprisionados em filmes finos a partir de uma membrana alimentícia, tornando-as disponíveis para várias aplicações, como para enriquecimento de

alimentos e para conferir sabor e aroma ao produto (POSHADRI; KUNA, 2010; FREITAS, 2005).

Na indústria de alimentos, o procedimento mais utilizado para microencapsulação é a secagem por *spray drying*. Este processo é rentável, flexível e produz partículas de boa qualidade (FRASCARELI et al., 2012). Geralmente é utilizado para garantir uma estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco químico e / ou biológico quanto a degradação e reduzir os custos de armazenagem e transporte (GHARSALLAOUI et al., 2007).

A técnica de *spray drying* inclui estabelecer as condições operacionais que aumentam a recuperação de produto final com a qualidade desejada. A recuperação do produto é determinada principalmente pela eficiência de pó coletado, podendo ocorrer perdas de produto, principalmente pela fixação do pó seco nas paredes do equipamento (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). Proteínas extraídas a partir de soja, trigo e outros vegetais já demonstraram sua capacidade de proteger de forma eficiente vários ingredientes sensíveis, principalmente utilizando a técnica de *spray drying* (NESTERENKO et al., 2014).

A importância de se escolher o material encapsulante se deve à estabilidade dos compostos encapsulados. Deve-se levar em conta a porosidade e solubilidade do núcleo, além das propriedades físicas e químicas da parede como a viscosidade, a insolubilidade e a não reação com o núcleo. Para que se tenha um encapsulante ideal, é necessário uma boa emulsão, baixa higroscopicidade, sabor e odor suaves, fácil reconstituição e baixo custo, mas na prática, muitas vezes, fica inviável atender todos esses requisitos (AZAREDO, 2005).

Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a eficiência da encapsulação utilizando a proteína isolada de soja e a lecitina de soja como materiais de parede no encapsulamento do óleo de chia por *spray drying* e analisar a estabilidade oxidativa do óleo de chia encapsulado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de encapsulação do óleo de chia em proteína isolada de soja e lecitina de soja por *spray drying*, assim como analisar o perfil oxidativo do óleo de chia encapsulado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encapsular o óleo de chia em *spray dryer* utilizando proteína isolada de soja e lecitina de soja;
- Determinar a eficiência da encapsulação e o diâmetro médio das microcápsulas formadas por microscopia;
- Avaliar o rendimento de sólidos recuperados do processo de encapsulação do óleo de chia;
- Analisar o perfil oxidativo do óleo encapsulado.
- Determinar a atividade de água das microcápsulas armazenadas

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CHIA

Chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea (Figura 1), da família *Lamiaceae* e do gênero *Salvia* considerada uma erva anual que floresce no verão, é nativa do sul do México e norte da Guatemala, onde foi utilizada na alimentação, medicação e produção de tintas. Também era usada como oferta ao Deus Nahua e, provavelmente, pela perseguição religiosa não pode ser cultivada por aproximadamente 500 anos na Europa. Atualmente, as sementes de chia estão sendo introduzidas nas dietas, a fim de melhorar a saúde humana (GUIOTTO et al., 2013; TOMBINI, 2013).



Figura 1- Plantas de Chia (*Salvia hispanica L.*), planta herbácea.
Fonte- Gonzalez Jimenez (2012).

Rica nutricionalmente, a chia pode ser considerada um alimento funcional e quando incluída na dieta pode auxiliar na prevenção de problemas cardiovasculares, controle de glicose no sangue, diminuição dos riscos de alguns tipos de câncer, entre outros benefícios (TOMBINI, 2013; MARTÍNEZ-CRUZ; PAREDES-LÓPEZ, 2014).

Tem como principais componentes as proteínas com teor acima de 20 %, sendo mais elevado do que os de outras culturas tradicionais, tais como trigo, milho, arroz e aveia. Além disso, possui uma alta concentração de carboidratos, com cerca de 50% na sua composição, atribuída à elevada quantidade de fibras nas sementes, que contém ainda 22% de lípidos (SARGI et al., 2013).

A semente de chia é uma boa fonte de fibras e compostos fenólicos com capacidade antioxidante. O isolamento e a preparação de compostos bioativos a partir de sementes de chia podem ser usados para produzir antioxidantes naturais que podem substituir completamente o uso de antioxidantes sintéticos ou ainda ingredientes funcionais como o uso da fibra alimentar presente na chia para aplicações comerciais (SALGADO-CRUZ.; CEDILLO-LÓPEZ; BELTRÁN-OROZCO, 2005; REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008).

Recomenda-se ingerir diariamente 1,6g de ácido α -linolênico para homens e 1,1g para mulheres. Um indivíduo precisaria consumir cerca de 15g das sementes de chia por dia para alcançar o recomendado de ácido poli-insaturado (BOARD, 1998; SARGI et al. 2013).

Sua aplicação é bem ampla podendo ser utilizada como semente inteira, farinha, mucilagem e ainda pode-se utilizar o seu óleo. A chia é inserida diretamente em vários alimentos para enriquecimento de produtos, como pães, cereais e emulsões. Além de ser aplicada como suplemento alimentar, para reforçar níveis de ácido α -linolênico. É aplicada na alimentação rural, como na produção de frangos, para o aumento de ômega 3 e ômega 6 na gema do ovo, ou ainda, na produção de suínos e coelhos visando o aumento de ácido graxo poli-insaturado na carne (MOHD ALI et al., 2012).

3.1.1 Óleo de chia

A utilização de plantas como uma fonte de dieta vêm aumentando significativamente. Muitas delas contêm quantidades significativas de óleos, uma concentração elevada de nutrientes e a presença de ácidos graxos desejáveis (IXTAINA et al., 2011).

A chia possui elevado teor de ácidos graxo poli-insaturados cujos os principais componentes são os ácidos linoléico (17-26 %), também conhecido como ômega 6, e o ácido α -linolênico (50-67 %), denominado de ômega 3. Essa proporção de ácido α -linolênico é uma das maiores encontradas em vegetais (AYERZA, 1995). Estudos realizados por Sargi et al.

(2013), determinaram as concentrações de ácido graxo poli-insaturado na chia, obtendo uma concentração de $719,58 \text{ mg.g}^{-1}$ que representa em até 80% dos lipídeos encontrados na chia.

Ainda podem ser encontrados outros ácidos graxos nas sementes da *Salvia hispanica*, como os ácidos palmítico, esteárico e oléico. Porém são componentes encontrados em menor proporção, quando comparados com o ácido linoléico e o ácido α -linolênico (GANZAROLI; TANAMATI; SILVA, 2012).

Estudos realizados em ratos com dieta a base de chia, mostraram que os níveis de triglicérides diminuíram drasticamente e houve aumento do colesterol bom (HDL) após quatro semanas do consumo balanceado da semente ou óleo de chia, evidenciando o uso da chia para prevenção de doenças cardiovasculares, incluindo a aterosclerose e trombose (AYERZA; COATES, 2005).

Como o óleo de semente de chia é um produto natural, tem uma composição química variável, vários fatores podem alterar sua composição, como ambiente de cultivo e o sistema de extração (AYERZA, 1995; COATES; AYERZA, 1998). A qualidade final de um óleo depende de várias etapas da produção, como o cultivo, a extração e o refino (THODE et al., 2014).

Antioxidantes naturais, presentes na composição da chia, protegem os óleos vegetais contra a ação de radicais livres. Esses antioxidantes agem doando hidrogênio ou elétrons para os radicais, principalmente para o óleo de chia que tem uma maior fração lipídica (FERREIRA, 2013). Segundo Marineli et al. (2014) a atividade antioxidante da chia é maior que em outros cereais de grão inteiro como trigo, cevada e sorgo e semelhante ao do farelo de sorgo com alto teor de tanino.

A atividade antioxidante da chia é ocasionada por ácidos fenólicos, caféico e clorogênico, juntamente com os flavonoides, quercetina e kaempferol, sendo esses os principais antioxidantes encontrados na chia (CASTRO-MARTINEZ; PRATT; MILLER, 1986; TOSCO, 2004). Ocorrem diferenças significativas na atividade antioxidante da chia procedente de diferentes locais, devido a composição química das sementes ou a pequenas diferenças nos percursos bioquímicos de reação (DICK et al., 2015).

Segundo Ayerza e Coates (2011), o local onde é realizado o plantio da semente de chia pode alterar a composição do óleo, dependendo de onde é cultivada, a concentração de ácido α -linolênico varia de 56,9 % a 64,8 %, e verifica-se que conforme a concentração de ácido graxo linoléico diminui, há um aumento da concentração de α -linolênico.

Outro fator que influencia na composição do óleo é a forma como é extraído. A extração por solventes, que são menos tóxicos e proporcionam bons rendimentos, quando usada

em baixas quantidades, torna-se um desafio (SILVA; GARCIA; ZANETTE., 2016). Recentes estudos mostraram que o solvente álcool de cereais, se comparado com o hexano, apresenta bom rendimento, além de ser considerado um solvente não tóxico (RISS et al., 2015).

Porém, além da extração por solventes, a extração por prensagem também é utilizada para retirada do óleo de grãos oleaginosos. Tal processo consiste na remoção do óleo a partir da casca pressionada contra um objeto duro, que é colocado principalmente sob uma esponja natural que absorve o óleo. Parâmetros como dimensionamento do eixo e a pressão aplicada pelo equipamento, condições do processo, como temperatura e umidade do grão, podem alterar o rendimento da extração (PIGHINELLI et al., 2008).

3.2 ÁCIDOS GRAXOS

O ser humano, assim como alguns mamíferos, é capaz de sintetizar alguns ácidos graxos saturados e insaturados, mas não é capaz de sintetizar ácidos graxos poli-insaturados, que devem ser obtidos através da alimentação (TAKAHASHI, 2005).

Os ácidos graxos essenciais da família ômega 3 são conhecidos principalmente por estarem presentes em peixes de água fria, representados pelos ácidos docosahexaenóico (DHA) eicosapentanóico (EPA). No entanto, o ômega 3 também pode ser encontrado em plantas, que é o caso da chia, contendo grandes concentrações de ácido α -linolênico em sua composição (SAREMI; ARORA, 2009).

Estudos utilizando ácidos graxos poli-insaturados (ômega 3) mostraram que o ácido pode atrasar a progressão do câncer de cólon e estômago e pode ser uma estratégia importante para atrasar ou até evitar câncer do trato digestório (PARK et al., 2013).

Esses ácidos graxos são muito suscetíveis a processos oxidativos, que comprometem a concentração e a sua funcionalidade. Para evitar o processo de oxidação, são utilizadas barreiras para evitar o contato com oxigênio, a umidade e a luz. Quanto mais insaturações possuírem os lipídios, maior deverá ser a sua proteção (PACHECO; REGITANO-D'ARCE, 2009).

A oxidação lipídica causa a deterioração dos lipídios, diminuindo o tempo de vida e o valor nutritivo dos alimentos, além da possibilidade de gerarem compostos nocivos e formação de sabores e odores desagradáveis (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

A deterioração oxidativa causa a formação de compostos aromáticos voláteis conhecidos como *off flavours* que desenvolvem aromas rançosos e que podem ser retardados ou inibidos por antioxidantes que agem eliminando os radicais livres. Esses radicais livres que são formados pela decomposição dos hidroperóxidos, podem causar danos à saúde, incluindo as enzimas e ao DNA, podendo gerar também substâncias cancerígenas (WANKENNE, 2014).

A formação de peróxidos e hidroperóxidos ocorrem devido há vários mecanismos, como a fotoxidação, autoxidação e oxidação enzimática, que atuam sobre os ácidos graxos poli-insaturados podendo envolver diferentes reações degradativas (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999; PEREIRA, 2008).

A estabilidade oxidativa, depende do grau de saturação dos ácidos graxos presentes. Quando há uma alta concentração de ácido graxo poli-insaturado ocorre uma instabilidade, ocasionando sabores e odores desagradáveis (PACHECO; REGITANO-D'ARCE, 2009).

Na Figura 2 é possível observar as estruturas do ácido graxo monoinsaturado (ácido oléico) e ácidos graxos poli-insaturados (ácido linoléico e ácido α -linolênico). A estabilidade diminui conforme o número de saturações aumenta.

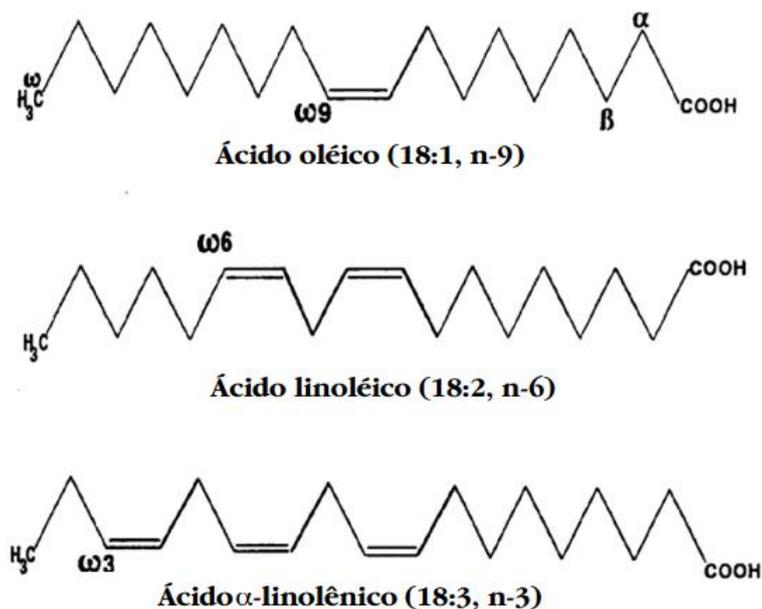


Figura 2- Estrutura do ácido oléico, ácido linoléico e do ácido α linolênico
Fonte- Rose; Connolly (1999).

Para determinar os níveis de oxidação utiliza-se o índice de peróxido, onde todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio são oxidadas, devido à sua ação fortemente oxidante. Estas substâncias são geralmente consideradas como peróxidos ou outros produtos

similares resultantes da oxidação da gordura. Essa metodologia é aplicável à todos os óleos e gorduras (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

3.3 ENCAPSULAÇÃO

A encapsulação é um processo em que pequenas partículas são aprisionadas por um material de parede, auxiliando principalmente na redução da volatilização dos aromas e protegendo o óleo do meio externo, evitando a luz, oxigênio, temperatura e umidade nos compostos ativos (CALVO et. al., 2012; PEREIRA, 2007).

Existem várias técnicas de secagem utilizadas em encapsulamento, que incluem a técnica de *spray drying* (mais comum na indústria de alimentos) *spray chilling* ou *spray cooling*, revestimento de extrusão, revestimento de leito fluidizado, liofilização e separação de suspensão centrífuga (NEDOVIC et al., 2011). A encapsulação de substâncias vem utilizando diferentes técnicas e metodologias, permitindo ainda a combinação de vários tipos de materiais orgânicos e inorgânicos (FREITAS, 2005).

Para a encapsulação de nutrientes alimentares, os materiais de parede mais utilizados são os carboidratos, como amido, maltodextrina e goma arábica, e proteínas do leite ou da soja (AZAREDO, 2005; POSHADRI; KUNA, 2010).

A importância de se escolher o material encapsulante é a estabilidade dos compostos encapsulados. Deve-se levar em conta a porosidade e solubilidade do núcleo, além das propriedades físicas e químicas da parede como a viscosidade, a insolubilidade e não reagir com o núcleo. Para que se tenha um encapsulante ideal, é necessária uma boa formação de filme, baixa higroscopicidade (evitando aglomerações das partículas), baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos, sabor e odor suaves, fácil reconstituição e baixo custo. Na prática, muitas vezes, fica inviável atender todos esses requisitos. Logo usam-se misturas de materiais de parede (AZAREDO, 2005).

São poucos os compostos que são solúveis ou promovem a solubilidade de lipídios, devido à baixa solubilidade e hidrofobicidade desses compostos. Constatou-se que os polissacarídeos foram alguns dos compostos mais usados para esta aplicação (GONZÁLEZ et al., 2016).

Além da escolha do material, um dos passos fundamentais na encapsulação de óleos por *spray drying* é a preparação da emulsão, que desempenha papel importante no teor de óleo de superfície presente no pó final encapsulado (FRASCARELI et al., 2012).

As emulsões são consideradas sistemas termodinamicamente instáveis que tendem a quebrar ao longo do tempo, através de mecanismos de separação, como a gravidade e floculação. A adição de moléculas anfifílicas, denominadas tensoativos, tem a capacidade de reduzir a tensão interfacial entre dois materiais imiscíveis como óleo e água (CRUZ, 2013).

A lecitina é um componente tensoativo bastante utilizado para microencapsular uma matriz lipídica melhorando e aumentando a incorporação do núcleo. Esse efeito é atribuído a formação de micelas no meio da matriz lipídica, permitindo a incorporação (LEONEL, 2008).

3.3.1 Proteína isolada de soja (PIS)

A proteína da soja pode ser considerada uma proteína completa, pela composição da soja, que contém os nove aminoácidos essenciais na proporção correta para a saúde e pode ser comparada com a base proteica de carne, leite e ovos. Essa proteína vem sendo utilizada em produtos alimentícios, em especial como proteína isolada de soja (PIS), que se encontra na forma de um pó de coloração creme e sabor suave (FAYAD, 2010).

Atualmente, há uma ampla utilização de proteínas vegetais como material de parede pelas suas excelentes propriedades tensoativas que permitem conseguir ou manter uma emulsão, o que os torna materiais altamente adequados para a técnica de microencapsulação (GONZÁLEZ et al., 2016). Além do seu baixo custo, grande disponibilidade e biodegradabilidade (SCHMIDT; GIACOMELLI; SOLDI, 2005; FAYAD, 2010).

Essas propriedades funcionais, tais como a capacidade de gelificação são afetadas pelas variações no pH, teor de sal, e a combinação de ingredientes, o que exige maior entendimento das suas propriedades de superfície (MARTIN; BOS; VLIET; 2002).

A PIS é um emulsionante ineficaz perto de seu ponto isoelétrico, onde a solubilidade é baixa, (Figura 3). A utilização do pH ácido em alimentos é uma limitação sobre a utilidade desses emulsionantes na indústria de alimentos. Logo, utilizam-se soluções básicas como meio de se obter uma melhor solubilidade da proteína (SHEPHERD; ROBERTSON; OFMAN, 2000; FAYAD, 2010).

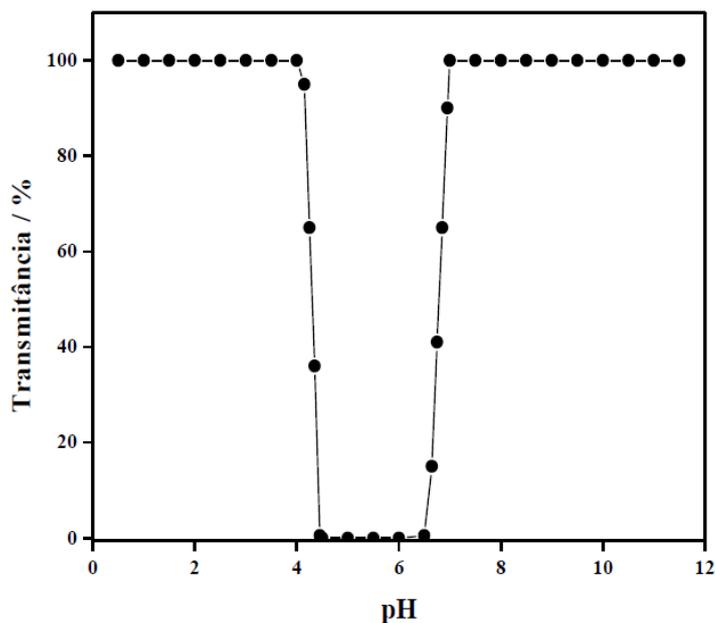


Figura 3- Diagrama da solubilidade da proteína isolada de soja em função do pH.
Fonte- Fayad, 2010.

A utilização da PIS com outros componentes secundários pode aumentar a interação sem quebrar ligações peptídicas, conseqüentemente, melhorando a formação de gel (SCHMIDT; GIACOMELLI; SOLDI, 2005).

3.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (*SPRAY DRYING*)

A secagem por atomização, ou secagem por pulverização (*spray drying*), é o procedimento mais utilizado nas indústrias de alimentos para microencapsulação, podendo obter um pó muito fino (10-50µm) ou partículas maiores (2-3 mm) (FRASCARELI et al., 2012; GHARSALLAOUI et al., 2007).

O processo refere-se à remoção de água de um material fluido (solução, suspensão ou emulsão), através da atomização do material dentro de um sistema com corrente de ar quente adquirindo uma grande área superficial de troca de calor e, por conseqüente, uma alta taxa de evaporação do solvente formando uma partícula sólida (figura 4) (OLIVEIRA, 2007).



Figura 4- Formação de partícula por *spray dryer*.
Fonte- Oliveira; Petrovick, 2010.

Experimentos indicam a presença de duas fases durante a secagem. Na primeira, há a evaporação de água a partir da superfície da gotícula e a concentração de todos os componentes aumenta, sendo que a concentração mais elevada é observada na camada perto da superfície. Durante a segunda fase, a temperatura da partícula aumenta ainda mais, ocasionando a perda de massa por difusão do vapor de água através dos poros da crosta sólida (GAC; GRADÓN, 2013).

Para o fluido entrar no atomizador, podem-se utilizar três tipos de atomizadores: atomizador de pressão em que são necessárias altas pressões, já que o diâmetro do orifício de entrada é muito pequeno, porém do ponto de vista energético é o mais viável; atomizador centrífugo onde o fluido passa através de um disco e entra na câmara de secagem podendo obter-se partículas de diferentes tamanhos; e atomizador duplo fluido em que o fluido se rompe pelo cisalhamento gerado pela diferença de velocidades do fluido e do ar, mesmo sendo o atomizador com maior gasto energético, é utilizado devido à sua grande versatilidade e uniformidade das gotículas, principalmente em laboratórios (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

Na etapa final do processo de secagem por *spray drying* ocorre a separação dos sólidos da corrente de ar que é exercida por um ciclone (figura 5) onde o ar contendo as partículas entram no equipamento em uma trajetória helicoidal, a parte sólida com maior peso cai em um frasco coletor localizado a baixo do ciclone e o ar sai pela abertura superior do equipamento

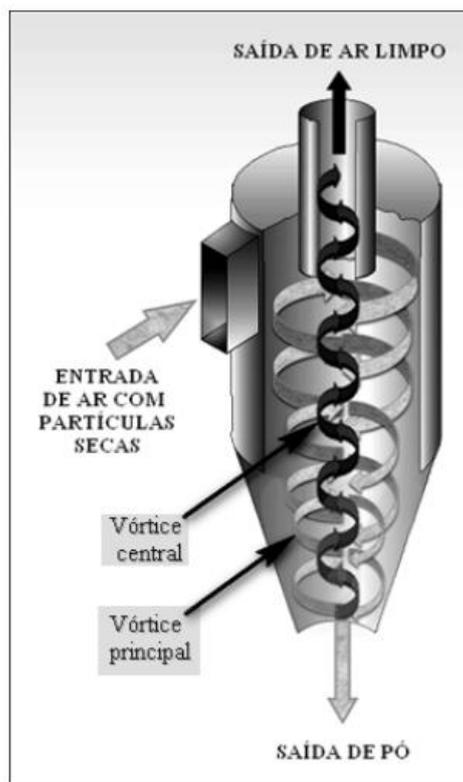


Figura 5- Ciclone de um equipamento de *Spray Dryer*.
Fonte- Cândido, (2000).

Este processo é rentável, flexível e produz partículas de boa qualidade. Geralmente, é utilizada para garantir uma estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco de formação de contaminantes químicos e / ou biológicos quanto a degradações, reduzir os custos de armazenagem e transporte (FRASCARELI et al., 2012; GHARSALLAOUI et al., 2007). Essa secagem vem sendo utilizada desde o final dos anos 1950 para se obter óleos aromáticos com alguma proteção contra a degradação e oxidação dos compostos ativos (GOUIN, 2004).

Variáveis do processo, como, por exemplo, o tempo de residência das partículas no interior da câmara de secagem, as condições de atomização e a temperatura do ar de secagem são difíceis de avaliar em termos gerais, visto que geralmente há necessidade de informações específicas sobre os materiais secos (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004).

Uma limitação dessa secagem é o número de materiais eficientes para encapsulação. Como quase todos os processos por *spray drying* na indústria de alimentos são realizados a partir de formulações de alimentação aquosa, os materiais de revestimento devem ser solúveis em água. No entanto, a adição de uma pequena quantidade de compostos de baixa solubilidade tem um efeito benéfico sobre a estabilidade dos ingredientes encapsulados (GOUIN, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Para a produção das microcápsulas foi utilizado o óleo da semente da chia (*Salvia hispanica L.*) extraído por prensagem e doado pela empresa Agropecuária *Produza S.A.*, localizada em Ciudad del Leste, Paraguai.

Os materiais encapsulantes utilizados foram: proteína isolada de soja (PIS), contendo 87% de proteína e lecitina comercial de soja contendo 85% de emulsificantes, ambas da marca *Linea Verde Alimentos Ltda*, obtidas no comércio local de Medianeira- PR.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Elaboração de cápsulas

A metodologia para encapsulação foi baseada no trabalho de Nesterenko et al. (2014), com adaptações. Para a elaboração da emulsão a ser submetida à secagem por *spray drying*, inicialmente foram preparadas as soluções de proteína isolada de soja (PIS) e de lecitina. A PIS foi previamente dissolvida em água destilada (10% m·m⁻¹), cujo pH foi corrigido para 10 ± 0,5 com NaOH (0,1M) para a máxima solubilização da proteína, a 85°C durante 30 minutos sob agitação magnética constante (Fisatom - 752A). A lecitina de soja, empregada como agente emulsificante, foi previamente dissolvida em água destilada (10% m·m⁻¹) a temperatura ambiente (23 ± 2°C). A seguir, misturou-se a solução de PIS, de lecitina de soja e água destilada em um béquer, com o auxílio de um homogeneizador (Fisatom - 713D). Por fim, adicionou-se vagarosamente o óleo de chia em temperatura ambiente, sob homogeneização a 5.000 rpm, por 40 minutos (Fisatom - 713D). A emulsão resultante apresentou uma relação

material de parede/óleo de chia de aproximadamente 2:1, com 11,5% de sólidos totais, resultando na seguinte composição: 7,57% de PIS, 0,1% de lecitina, 3,83% de óleo, 88,5% de água.

A obtenção das microcápsulas foi realizada por meio da secagem da suspensão por atomização. O processo foi realizado em um secador laboratorial *Mini Spray Dryer* (MSD 1.0, LABMAQ, São José do Rio Preto, SP) (Figura 6) em que a emulsão foi mantida sob aquecimento a 60 °C e em constante agitação, sendo alimentada por uma bomba peristáltica. O *Mini Spray Dryer* é composto por bico atomizador tipo duplo fluido, com orifício de 1,0 mm de diâmetro, com a vazão da alimentação da amostra de $0,35 \pm 0,03 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ e a temperatura do ar de secagem do equipamento a 124 °C e na saída a $64 \pm 4 \text{ °C}$ a pressão de ar do compressor foi de 0,4 MPa e a vazão de ar de atomização para o bico foi de $35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.



Figura 6- Mini Spray Dryer, MSD 1.0 LABMAQ.
Fonte- Autoria Própria.

4.2.2 Eficiência da encapsulação

Para analisar a eficiência da encapsulação foi utilizado o procedimento descrito por González et al. (2012).

O óleo de chia presente na superfície das microcápsulas, portanto não encapsulado, foi avaliado a partir de uma amostra de 5g de microcápsulas, disperso em éter de petróleo e levemente homogeneizado para evitar a deterioração das microcápsulas durante 10 minutos. Em seguida, a solução foi filtrada com auxílio de papel filtro em um balão de ensaio, ambos secos e previamente desengordurados. O filtrado foi evaporado em um rotaevaporador (MOD.802, Fisatam) e em seguida colocado em estufa entre 60-80 °C até se obter peso constante. A determinação da quantidade de óleo na superfície das cápsulas foi realizada em duplicata e calculada com base na diferença entre a massa inicial do balão de ensaio desengordurado e seco e o balão de ensaio contendo o resíduo de óleo extraído.

Já a concentração total de óleo no material encapsulado, também realizada em duplicata, foi obtida por dispersão de 5g de amostra de microcápsulas em 10ml de éter de petróleo e foi colocada no ultrassom (Elma - ELMASONIC P) a 70% da amplitude e frequência de 37 kHz por 10 minutos, para rompimento das microcápsulas e liberação do óleo. Em seguida, foi determinado o teor de lipídios totais, com um sistema de extração de Soxhlet, durante 5 horas à temperatura de 60 °C.

A eficiência de encapsulação, então, foi medida a partir da quantidade de óleo de chia presente na superfície das microcápsulas e o conteúdo total do óleo de chia presente no material atomizado, ou seja, o óleo total do material atomizado (microcápsulas) e o óleo na superfície das microcápsulas, de acordo com a seguinte equação (1):

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Total de óleo (interno e na superfície)} - \text{Óleo na superfície}}{\text{Total de óleo (interno e na superfície)}} \times 100 \quad (1)$$

4.2.3 Análise Morfológica e Determinação do Diâmetro Médio das Microcápsulas

As microcápsulas foram analisadas por microscopia ótica utilizando microscópio ótico Olympus (TVO 63XC) e o programa de captura de imagens DP25 - BSW, em que o *software*

auxilia também no dimensionamento das microcápsulas, através de ferramentas disponíveis no programa, em que foi realizado o dimensionamento de 25 microcápsulas, obtendo-se o diâmetro médio entre elas. Para a preparação das lâminas foram utilizadas técnicas de coloração utilizando lugol e fucsina como corantes para melhor visualização. As lentes utilizadas foram as oculares com aumento de 10 vezes e objetiva com aumento de 4, 10 e 20 vezes.

4.2.4 Rendimento de sólidos recuperados

O rendimento de sólidos recuperados foi calculado para determinar as perdas sofridas durante a secagem por *spray drying*, como descrito por González et al. (2016) na equação (2). O rendimento de sólidos foi calculado pela razão entre a massa de pó recolhido após cada secagem e a quantidade inicial preparada para a emulsão (exceto a água), realizado em quintuplicata.

$$\text{Sólidos Recuperados} = \frac{\text{Massa Final}}{\text{Massa Inicial (base seca)}} \times 100 \quad (2)$$

4.2.5 Avaliação do Perfil Oxidativo do Óleo de Chia

Para a caracterização do potencial das microcápsulas contra a oxidação do óleo de chia encapsulado foi realizada a determinação do índice de peróxidos para o óleo encapsulado e não encapsulado, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004).

Foi solubilizado $5 \pm 0,05$ g da amostra em 10mL de éter de petróleo e colocado no ultrassom (Elma - ELMASONIC P) a 70% da amplitude e frequência de 37 kHz por 10 minutos. Foram adicionados 30 ml da solução ácido acético-clorofórmio, com proporção 3:2, e agitou-se até a dissolução da amostra.

Adicionou-se 0,5 ml da solução saturada de iodeto de potássio (KI) e deixou-se em repouso ao abrigo da luz por um minuto. Acrescentou-se 30 mL de água e 0,5 mL de solução

de amido indicadora e realizou-se a titulação com tiosulfato de sódio 0,1 N até o completo desaparecimento da coloração azul. Preparou-se uma prova em branco, nas mesmas condições e titulou-se.

Pode ser visualizado na equação (3):

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{(A-B) \times N \times f \times 1000}{P} \quad (3)$$

Onde:

A = nº de ml da solução de tiosulfato de sódio (0,1 N) gasto na titulação da amostra;

B = nº de ml da solução de tiosulfato de sódio (0,1 N) gasto na titulação do branco;

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio (0,1 N);

f = fator da solução de tiosulfato de sódio (0,1 N);

P = nº de g da amostra.

Avaliou-se o índice de peróxidos para o óleo de chia e para as microcápsulas de óleo de chia produzidas por *spray drying* e armazenadas durante 0 e 30 dias, realizada em triplicata. Sendo que o dia 0 foi o índice de peróxidos realizado no dia da produção das microcápsulas.

No armazenamento das microcápsulas para esse período de tempo foi utilizado um dessecador com a solução saturada de cloreto de magnésio P. A., proporcionando o equilíbrio da umidade relativa em 33% a 20 °C.

4.2.6 Atividade de Água

Realizou-se a análise de atividade de água (A_w) em triplicata para a amostra armazenada durante 30 dias conforme como descrito por Hijo et. al. (2014), foi realizada em aparelho digital (modelo AquaLab 4TE, marca Decagon Devices, Pullman, USA). As amostras foram dispostas cobrindo todo o fundo do recipiente plástico e as leituras das amostras foram realizadas em temperatura controlada de $23,0 \pm 2,0$ °C.

4.2.7 Análise Estatística

Os resultados obtidos para o do índice de peróxidos foram submetidos à análise de variância e quando detectada diferença significativa (ao nível de 5% de probabilidade) aplicou-se o teste de Tukey, empregando o programa estatístico Minitab, versão 17.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFICIÊNCIA DA ENCAPSULAÇÃO

Para as análises realizadas na determinação da eficiência do processo de encapsulação foram obtidos resultados referentes ao óleo de chia presente apenas na superfície das microcápsulas e ao conteúdo total de óleo no material atomizado em *spray drying*. Primeiramente, quantificou-se a concentração de óleo de chia aderido à superfície externa das microcápsulas, obtendo-se $1,94 \pm 0,08$ g de óleo em 5g de amostra. O segundo passo foi determinar o conteúdo total de óleo nas microcápsulas, ou seja, concentração de óleo aderido na superfície mais a concentração de óleo presente no interior das microcápsulas. A partir desta determinação obteve-se o valor médio de $2,19 \pm 0,04$ g de óleo em 5g de amostra.

Esses valores representam 11,41% de eficiência de encapsulação. Ou seja, 88,59% do óleo presente no material atomizado não foi encapsulado.

A eficiência da encapsulação determina o grau de proteção do óleo de chia retido no interior das microcápsulas e pode ser influenciada por vários fatores, como material encapsulante, relação núcleo:material de parede e teor de sólidos totais (TOSONI; RODRIGUES, 2013).

Segundo Tang e Li (2012), utilizando a PIS como material encapsulante obteve-se uma eficiência de encapsulação entre 33,1 a 51,4%, alterando-se os parâmetros da secagem por *spray drying* e os parâmetros de preparo da emulsão. Sendo obtida a melhor condição do processo através da temperatura do ar de entrada do atomizador de 180 °C, conteúdo de sólidos totais de 20% e a relação núcleo:material de parede de 1:1.

Variando os parâmetros de temperatura do ar de entrada no *spray dryer* e a proporção de núcleo/material de parede Shu e colaboradores (2006), observaram a variação na eficiência de encapsulação entre 12,1 e 82,2%. Uma elevada temperatura de entrada de ar de secagem no *spray dryer* pode ser um interferente, visto que altas temperaturas podem romper o equilíbrio entre a evaporação e a taxa de formação das partículas, reduzindo a eficiência da encapsulação, como por exemplo, para a secagem por *spray drying* do licopeno a uma

temperatura de 210 °C foram observados rendimentos menores de sólidos e eficiência na encapsulação, quando comparado a temperaturas menores de operação (SHU et al., 2006).

Para a encapsulação do óleo de chia foi utilizada a temperatura de ar na entrada no *spray dryer* de 124 °C, temperatura esta, baseada em outros trabalhos que apresentaram uma boa eficiência de encapsulação, como González et al., (2016), que utilizaram a temperatura de 130 °C para encapsulação de óleo de chia utilizando a proteína isolada de soja e maltodextrina como materiais de parede e obtiveram a eficiência acima de $57,3 \pm 2,9$ %. No entanto, o presente estudo não mostrou rendimento comparável.

Segundo Timilsena et al. (2016), a proporção de óleo de chia/material de parede pode ter influência direta na proporção de óleo presente na superfície das microcápsulas. Desempenho satisfatório para o óleo aprisionado no interior das microcápsulas foi analisado quando a proporção de núcleo/material de parede era de 1/2, utilizando proteína isolada de semente de chia e goma de semente de chia como materiais de parede, resultando em uma eficiência de $93,9 \pm 4,6\%$. Além disso, pode-se constatar que concentrações maiores de material de parede aumentariam a viscosidade da emulsão, diminuindo essa eficiência. Porém, neste trabalho, mesmo se utilizando uma proporção de 1/2 não se obteve resultado semelhante para a eficiência da encapsulação (TIMILSENA et al., 2016).

Foi observado que após a preparação das emulsões as microcápsulas resultaram em formulações com aparência homogênea, com uma coloração branca e aparentemente sem macromoléculas suspensas. Aspecto visual semelhante foi descrito por Vieira (2014), analisando suspensões de nanocápsulas de óleo de chia para avaliar a eficiência da encapsulação. Para Frascareli et al. (2012), se a emulsão for estável e apresentar condições ótimas de viscosidade e tamanho das gotas, a eficiência de encapsulação pode ser melhorada. O preparo da emulsão é um dos mais importantes e críticos passos no processo de microencapsulação de óleos (GONZÁLEZ et al., 2016).

Em experimentos realizados para microencapsulação de oleoresina de tomate, foi possível evidenciar que a utilização de um homogeneizador de alta pressão auxiliou no rompimento das partículas, melhorando a emulsificação e obtendo uma eficiência de até 85% na encapsulação (LI et al., 2015). Resultado semelhante foi observado por Timilsena et al. (2016), onde se aplicou altas pressões, obtendo emulsões mais finas para microencapsulação de óleo de chia.

Em pesquisa realizada por Shu et al. (2006), observou-se que o aumento da pressão de homogeneização, que variou de 0 a 60 MPa, resultou em um incremento do rendimento de sólidos e eficiência da encapsulação. A principal contribuição de aumentar a pressão de

homogeneização pode ser atribuída ao aumento de partículas nas emulsões e diminuição do tamanho das gotas da emulsão, o que pode aumentar a taxa de transferência de massa e a evaporação de água durante a atomização.

A aplicação de proteínas vegetais na microencapsulação ainda tem interferentes, resultantes da solubilidade das proteínas de origem vegetal, que é normalmente baixa em água, sendo necessário modificar as propriedades destas proteínas. Além da baixa solubilidade, a alta viscosidade da PIS, gera outro interferente, onde uma estratégia para reduzir essa viscosidade, segundo Nesterenko et al. (2012), seria a utilização da hidrólise enzimática e / ou tratamento de N-acilação que resulta em uma diminuição do tamanho das gotas e na viscosidade das emulsões formadas, melhorando a eficiência de microencapsulação.

Para o presente estudo a solubilidade da PIS foi melhorada com o reajuste do pH com NaOH (0,1M) para a máxima solubilização da proteínas e foi realizado o aquecimento (60 °C) da emulsão durante a alimentação do atomizador, com o objetivo de diminuir a viscosidade da emulsão. Resultado semelhante foi encontrado por Shu et al. (2006) que observaram aumento do rendimento de sólidos e eficiência da encapsulação por *spray drying* aumentando a temperatura de alimentação.

Já para os cálculos de rendimento de sólidos, a média da quantidade de sólidos totais recolhidos no final do processo por *spray drying* foi de $10,26 \pm 2,50$ %, obtendo grandes perdas durante a secagem. Como 88,6% do óleo ficou concentrado na parte exterior das microcápsulas, esse material oleoso ficou aderido à superfície do equipamento, (Figura 7). A baixa recuperação por *spray drying* pode ser atribuída pela quantidade de pó retido no ciclone e que não foi coletado no final do processo, ou seja, o pó fica nas paredes do equipamento. Resultado semelhante foi observado por Kaushik et al. (2016), para microencapsulação de óleo de linhaça.



Figura 7- Imagem do ciclone do *spray dryer* após processo de encapsulação.
Fonte- Autoria própria.

Essa adesão das partículas à parede ocorre devido às condições de secagem e a natureza dos materiais secos (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). O rendimento de sólidos por *spray drying* é mais baixo se comparado com outras técnicas de secagem, como a liofilização. Além disso, a escala, tipo do equipamento de secagem e o tempo de secagem, podem alterar o rendimento final (GONZÁLEZ et al., 2016).

5.2 ANÁLISE MORFOLÓGICA E DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DAS MICROCAPSULAS

Com base nas imagens produzidas (Figura 8) logo após a encapsulação, é possível observar o óleo na superfície das microcapsulas em que pequenas gotículas separadas entre si, são característica dos compostos lipídicos.

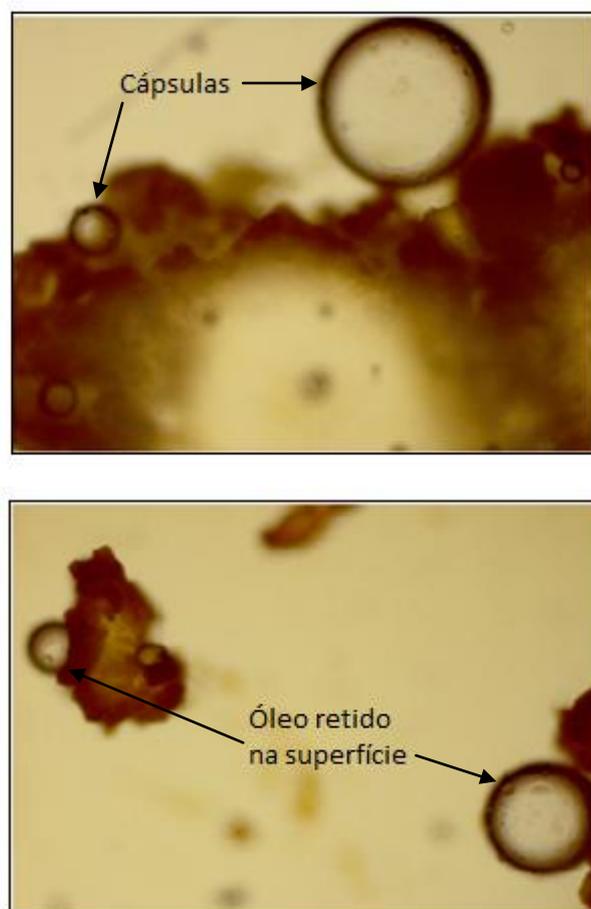


Figura 8 - Imagens das microcápsulas com aumento de 10x utilizando lugol como corante.
Fonte- Autoria Própria.

O teor de óleo presente na superfície do pó final encapsulado pode ser resultado da preparação da emulsão. Esses teores podem ser influenciados por parâmetros importantes para a formação da emulsão, como concentração de sólidos totais, teor de óleo, estabilidade, entre outros fatores (FRASCARELI et al., 2012).

As microcápsulas obtiveram uma estrutura exterior arredondada e que podem ser analisadas utilizando as técnicas de coloração. O diâmetro médio das microcápsulas foi de $602,21 \pm 315,16 \mu\text{m}$, com partículas variando de 200 a 1000 μm . Resultado semelhante foi obtido por Gan, Cheng e Easa (2008), variando de 1 e 1000 μm para microencapsulação de óleo de peixe por técnica de coacervação.

Segundo Gac e Gradoñ (2013), a principal vantagem da utilização da secagem por *spray drying* é a uniformidade da forma e diâmetro das partículas obtidas. As partículas produzidas por meio de outros métodos, como a cristalização, normalmente não apresentam uniformidade semelhante.

O diâmetro das partículas é influenciado por variáveis do sistema de secagem, como o bico atomizador, taxa de distribuição de líquido, pressão do compressor de ar e sólidos totais da emulsão. Emulsões com maiores teores de sólidos apresentaram viscosidade aparente mais elevada, fato que resulta na formação de fendas e fissuras na superfície das cápsulas (RODEA-GONZÁLEZ et al., 2012)

5.3 ESTABILIDADE OXIDATIVA

Na Tabela 1, estão apresentados os índices de peróxidos resultantes da avaliação da estabilidade oxidativa do óleo de chia não encapsulado e encapsulado e armazenado por 0 e 30 dias, em temperatura ambiente (23 ± 2 °C) e com umidade relativa de 33%.

Tabela 1 – Índice de peróxidos para óleo de chia, óleo de chia encapsulado por *spray drying* e óleo de chia encapsulado por *spray drying* e armazenado por 30 dias.

Condição de tratamento	Índice de Peróxidos (meq/Kg) *
Óleo de Chia	$1,809 \pm 0,534^a$
Óleo de Chia encapsulado	$18,500 \pm 4,210^b$
Óleo de Chia encapsulado e armazenado por 30 dias	$13,436 \pm 1,370^b$

*Média \pm Erro padrão da média. Letras iguais, na mesma coluna, indicam não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as amostras.

Através da análise de variância verificou-se que as amostras encapsuladas não apresentam diferenças significativas entre si para o índice de peróxidos, em um nível de confiança de 95 % ($p \geq 0,05$). Esta observação sugere que com o armazenamento de 30 dias em atmosfera controlada não houve um aumento no índice de peróxido, ou seja, através do processo de encapsulação por *spray drying*, aplicou-se uma barreira física, possivelmente, efetiva contra a oxidação lipídica do óleo de chia. Entretanto, para a amostra não encapsulada, verificou-se que existe diferença significativa (p -valor $\geq 0,05$) quando comparadas às amostras armazenadas a 0 e 30 dias, demonstrando a instabilidade oxidativa após o preparo da emulsão e o processo de secagem por *spray drying*.

Ressalta-se que a inferência feita acima, com relação ao potencial de proteção das microcápsulas contra a oxidação lipídica só poderá ser verdadeira se desconsiderado o fato de

que a maior parte do óleo (88,6%) estava depositado sob a superfície externa das microcápsulas.

A análise de índice de peróxidos realizada para as microcápsulas no dia da encapsulação (dia 0 do armazenamento) resultou em $18,50 \pm 4,21$ meq · Kg⁻¹. Já para o óleo não encapsulado, também realizado no dia 0, o índice de peróxidos foi de $1,81 \pm 0,53$ meq · Kg⁻¹. Esse resultado contrasta com González et al. (2016), em que não houve nenhuma diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre as amostras secas por *spray drying* em temperatura de entrada do ar de secagem de 130 °C e o óleo de chia não encapsulado.

Segundo Serfert, Drusch e Schawarz (2009), a preparação, homogeneização e atomização da emulsão são parâmetros que influenciam diretamente na oxidação lipídica logo após o encapsulamento. Através da intensa agitação mecânica sofrida durante o preparo da emulsão, ocorre incorporação de ar e maior contato dos lipídios com o oxigênio. Para contornar este problema, os autores adicionaram antioxidantes ao óleo de peixe para reduzir o desenvolvimento de peróxidos no processo de homogeneização.

O comportamento do índice de peróxidos nas diferentes situações testadas está representado pela Figura 9. Foi observado que o óleo de chia encapsulado no dia 0 de armazenamento excedeu o limite superior de índice de peróxidos (15,0 meq · Kg⁻¹) estabelecido pela ANVISA e pelo *Codex Alimentarius* para óleos prensados a frio, classificando, desta forma, o óleo como não adequado para consumo humano. Já para 30 dias de armazenamento o índice está abaixo de 15,0 meq · Kg⁻¹ (BRASIL, 2005; *CODEX ALIMENTARIUS*, 1999).

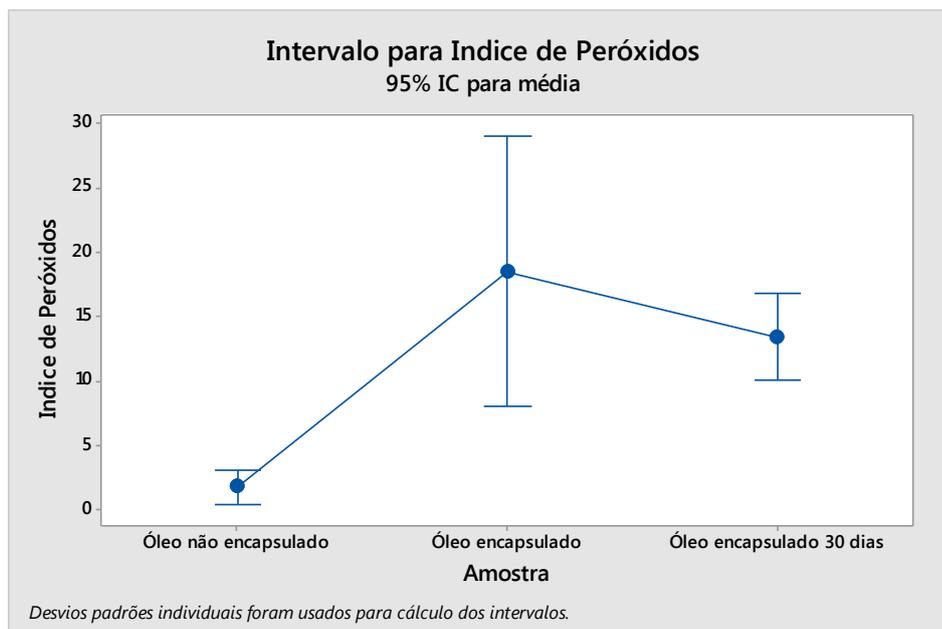


Figura 9- Índice de peróxidos para o óleo de chia não encapsulado e encapsulados e armazenados por 0 dias e por 30 dias.

Fonte- Autoria própria.

Para as microcápsulas submetidas ao armazenamento durante 30 dias, o índice de peróxidos, apesar de não apresentar diferença significativa ($p \geq 0,05$), mostrou uma tendência de diminuição. Isso pode ocorrer porque os peróxidos são compostos instáveis e se decompõem, gerando produtos secundários de oxidação, como aldeídos, cetonas, hidroxiácidos, hidrocarbonetos e polímeros, além de que no início da reação de rancidez oxidativa, a velocidade de formação de peróxidos é maior que a de decomposição (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

A estabilidade oxidativa é melhorada em virtude da chia conter componentes antioxidantes tais como tocoferóis, polifenóis e carotenóides, que podem manter ou reduzir os valores de peróxidos, que são reações causadas por radicais livres, que por sua vez, são responsáveis pela oxidação dos lipídios (MARINELI et al., 2014). A composição desses antioxidantes pode ser alterada pela forma com que é realizada a extração do óleo. Como o óleo analisado foi obtido através de prensagem a frio, houve uma conservação dos antioxidantes presentes (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008).

Além disso, o óleo de chia na superfície das microcápsulas é um fator crítico para a estabilidade oxidativa, porque expõe o óleo ao oxigênio, visto que, proporcionar uma barreira física entre o composto e o núcleo é a principal aplicação da microencapsulação (TIMILSENA et al., 2016).

Segundo Silva, Borges e Ferreira (1999), a umidade também pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos, cujos experimentos realizados evidenciaram que valores de atividade de água entre 0,2 e 0,3 reduziram o processo de oxidação. Caso a umidade fosse próxima a zero, favoreceria a migração do oxigênio e caso a umidade fosse alta propiciaria um aumento das reações de oxidação enzimática. Em ambas as situações ocorreriam o aumento da velocidade de oxidação. Para este experimento a atividade de água média das microcápsulas foi de $0,38 \pm 0,05$.

Outro fator que influencia na estabilidade oxidativa é a proporção de núcleo/material de parede. Estudo realizado para microencapsulação de óleo de soja utilizando a PIS, com a concentração de proteína semelhante à utilizada no presente trabalho, demonstrou que a proporção de núcleo/material de parede que teve maior estabilidade ao armazenamento foi de 1:2 (TANG; LI, 2013). Já Kaushik et al. (2016), observaram que conforme houve o aumento na concentração de material de parede (1:4), ocorreu um aumento na estabilidade oxidativa para o óleo de linhaça microencapsulado por *spray drying*.

Para o presente trabalho, a proporção de aproximadamente 1:2 (núcleo:material de parede) se mostrou satisfatória para o armazenamento, comparando o dia 0 e 30 dias.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que foi possível realizar a encapsulação do óleo de chia utilizando PIS e lecitina de soja como materiais de parede, através da técnica de *spray drying*. Porém, a maior parte do óleo de chia presente no material seco, encontrou-se aderido à superfície externa das microcápsulas e, portanto, em contato direto com o oxigênio. Com isso, foi verificada uma baixa eficiência no processo de encapsulação (11,41%). Essa eficiência na encapsulação possivelmente pode ser melhorada através do processo de preparação e homogeneização da emulsão, além dos parâmetros para a atomização da emulsão por *spray drying*.

Através da análise microscópica, foi observado que as microcápsulas apresentaram morfologia homogênea, superfície arredondada, com presença de óleo em sua superfície externa e diâmetro médio de $602,21 \pm 315,16 \mu\text{m}$.

Analisando a estabilidade oxidativa para o óleo de chia encapsulado, ficou evidente o aumento no índice de peróxidos após o processo de encapsulação, ocasionado possivelmente no preparo e/ou na atomização da emulsão. Através da análise estatística observou-se que houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre as amostras encapsuladas para a amostra de óleo não encapsulada.

Na observação das microcápsulas armazenadas, foi verificada uma estabilidade durante o armazenamento, onde o índice de peróxidos diminuiu ao longo do tempo, porém, não diferindo estatisticamente ($p \geq 0,05$). Essa redução provavelmente ocorreu pela instabilidade dos peróxidos e formação de compostos secundários de oxidação, resultando em um índice de peróxido abaixo de $15,0 \text{ meq} \cdot \text{Kg}^{-1}$, estando de acordo com o preconizado pela ANVISA.

6.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Aplicação das microcápsulas para enriquecimento de alimentos, avaliando o sabor residual do óleo de chia e a aceitabilidade através de análise sensorial do produto.
- Realizar o preparo da emulsão utilizando um homogeneizador de alta pressão e/ou com maiores rotações.
- Otimização de parâmetros empregados durante o processo de atomização, tais como: proporção núcleo/material de parede, tipo de material encapsulante, temperatura de entrada do ar de secagem, velocidade do fluxo de alimentação e diâmetro do bico atomizador.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, (ANVISA). Ministério da Saúde. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 270. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2005.

AYERZA, Ricardo; COATES, Wayne. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. **Nutrition Research**, v. 25, n. 11, p. 995-1003, 2005.

AYERZA, Ricardo; COATES, Wayne. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1366-1371, 2011.

AYERZA, Ricardo. Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 72, p. 1079-1081, 1995.

AZAREDO, Henriette M. C. de. "Drying Technology : An International Journal." **Trends in Food Science and Technology**, p.138–55, 2005.

BOARD, I. Dietary Reference Intakes. **Institute of Medicine Food and Nutrition**. 1998.

CALVO, Patricia; CASTAÑO, Ángel. L.; LOZANO, Mercedes; GONZÁLEZ-GÓMEZ, David. Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 256-261, 2012.

CÂNDIDO, Maria G. L. C. da. **Ciclones de recirculação para captura de poeiras finas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) Universidade do Porto, Porto, 2000.

CASTRO-MARTINEZ, R.; PRATT, D. E.; MILLER, E. E. Natural Antioxidants of Chia Seeds. In: world conference on emerging technologies in the fats and oils industry. Edited by the **American Oil Chemists' Society**, Champaign, Illinois, USA. p. 392-396, 1986.

COATES, Wayne; AYERZA Ricardo. Commercial production of chia in Northwestern Argentina. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 75, n. 10, p. 1417-1420, 1998.

Codex Alimentarius Commission. Codex Stan 19. **Edible fats and oils not covered by individual standards.** 1999.

CRUZ, Kelle G. **Sistemas microemulsionados à base de tensoativos hidrocarbônicos para aplicação como suportes para dispersão de compostos antibióticos.** Dissertação (Mestrado em Agroquímica) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

DICK, M., BATISTA, A. C. F., RIOS, A. O., & FLÔRES, S. H. Composição centesimal, compostos fenólicos e atividade antioxidante de semente de chia brasileira e mexicana. **Instituto de Ciência e Tecnologia dos Alimentos (ICTA) (UFRGS).** Porto Alegre – RS. 2015.

FAYAD, Samira J. **Obtenção e caracterização de micro e nanopartículas a base de proteína isolada de soja.** Dissertação (Mestre em química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2010.

FERREIRA, Tânia R. B. **Caracterização nutricional e funcional da farinha de chia (*Salvia hispanica*) e sua aplicação no desenvolvimento de pães.** Tese de Doutorado (Ciência e tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. Piracicaba - SP, 2013.

FRASCARELI, Elen C.; SILVA, V. M.; TONON, Renata V.; & HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 3, p. 413-424, 2012.

FREITAS, Sergio. L. P. **Novel strategies and technologies for the aseptic microencapsulation of pharmaceutical compounds.** 2005. Tese de Doutorado., Naturwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 16012, 2005.

GAC, Jakub M.; GRADÓN, Leon. A distributed parameter model for the spray drying of multicomponent droplets with a crust formation. **Advanced Powder Technology**, v. 24, n. 1, p. 324-330, 2013.

GAN, Chee-Yuen; CHENG, Lai-Hoong; EASA, Azhar M. Evaluation of microbial transglutaminase and ribose cross-linked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 4, p. 563-569, 2008.

GANZAROLI, Jéssica F; TANAMATI Augusto; SILVA Marcos V. da Avaliação do teor de lipídios totais da composição em ácidos graxos de semente de *Salvia Hispânica L* (chia). **XVII Seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR.** Campo Mourão – PR, 2012.

GHARSALLAOUI, Adem; ROUDAUT, Gaelle; CHAMBIN, Odile; VOILLEY, Andrée; SAUREL, Rémi. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

GOHARA, Aline K.; SOUZA, Aloisio H.; RODRIGUES, Ângela C.; STROHER, Gisely L.; GOMES, Sandra; SOUZA Nilton E. Chemometric methods applied to the mineral content increase in chocolate cakes containing chia and azuki. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 5, p. 771-776, 2013.

GONZÁLEZ, Agustin; MARTÍNEZ, Marcela L.; PAREDES, Alejandro J.; LEÓN, Alberto E.; RIBOTTA, Pablo D. Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica L.*) oil microencapsulation. **Powder Technology**, v. 301, p. 868-875, 2016.

GONZALEZ JIMENEZ, Francisco E. Caracterizacion de compuestos fenolicos presentes en la semilla y aceite de chia (*Salvia Hispanica L.*) Mediante Electroforesis Capilar. **Tese de Doutorado**. 2012.

GUIOTTO, Estefanía N.; IXTAINA, Vanesa. Y.; TOMÁS, Mabel C.; NOLASCO, Susana M. **Moisture-dependent engineering properties of chia (*Salvia hispánica L.*) seeds**. INTECH Open Access Publisher, 2013.

GOUIN, Sebastien. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in food science & technology**, v. 15, n. 7, p. 330-347, 2004.

GOULA, Athanasia M.; ADAMOPOULOS, Konstantinos G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2004.

HARTMAN, Leopold; LAGO, R. C. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory practice**, n. 22, p. 475-6 passim, 1973.

HIJO, Ariel A. C. T.; MARQUES Gerson R.; BORGES Soraia V.; COSTA Joyce M. G. S. da. Caracterização Físico-Química de Ovo em Pó Produzido Por Spray Drying. **XXIII Congresso Da Pós-Graduação da UFLA**, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 Ed., 1 Ed. digital. São Paulo: 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1. **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 245-246.

IXTAINA, Vanesa Y.; JULIO, Luciana M.; WAGNER, Jorge R.; NOLASCO, Susana M.; TOMÁS, Mabel C. . Physicochemical characterization and stability of chia oil microencapsulated with sodium caseinate and lactose by spray-drying. **Powder Technology**, v. 271, p. 26-34, 2014.

IXTAINA, Vanesa Y.; MARTÍNEZ, Marcela L.; SPOTORNO, Viviane; MATEO, Carmen M.; MAESTRI, Damián M.; DIEHL, Bernd W. K.; NOLASCO, Susan M.; TOMÁS, Mabel C. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 2, p. 166-174, 2011.

KAUSHIK, Pratibha; DOWLING, Kim; MCKNIGHT, Stafford; BARROW, Colin J.; ADHIKARI, Benu. Microencapsulation of flaxseed oil in flaxseed protein and flaxseed gum complex coacervates. **Food Research International**. 2016.

LEONEL, Alda J. **Produção e caracterização de partículas lipídicas constituídas por ácidos graxos, gordura vegetal hidrogenada e lecitina na encapsulação de um composto hidrofílico de baixa massa molar**. Dissertação (Mestre em Alimentos e Nutrição) Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2008.

LI, Chen; WANG, Jie; SHI, Jing; HUANG, Xingjian; PENG, Qiang; XUE, Feng. Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolate-gum aracia conjugates as emulsifier and coating materials. **Food Hydrocolloids**. v. 45, p. 301-308, 2015.

MARINELI, Rafaela S. da; MORAES, Érica A.; LENQUISTE, Sabrina A.; GODOY, Adriana T.; EBERLIN, Marcos N.; MARÓSTICA, Mário R. J. R. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1304-1310, 2014.

MARTIN, A. H.; BOS, M. A.; VLIET, V. T. Interfacial rheological properties and conformational aspects of soy glycinin at the air/water interface. **Food Hydrocolloids**, 16, 63–71. 2002.

MARTINS, Marcos B.; SUAIDEN, André S.; PIOTTO, Raquel F.; BARBOSA, Marcelo. Propriedades dos ácidos graxos poli-insaturados Omega 3 obtidos de óleo de peixe e óleo de linhaça. **J. Health Sci. Inst**, v. 26, n. 2, p. 153-156, 2008.

MARTÍNEZ, Marcela L.; MARÍN, Maria A.; FALLER, Camila M. S.; REVOL, Juliana; PENCI, Maria C.; RIBOTTA, Pablo D. Chia (*Salvia hispanica L.*) oil extraction: Study of processing parameters. **LWT-Food Science and Technology**, 47(1), 78-82. 2012.

MARTÍNEZ-CRUZ, Oliviert; PAREDES-LÓPEZ, Octavio. Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica L.*) by ultra high performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1346, p. 43-48, 2014.

MATA, Merm; MEDEIROS, Sheila S. A.; DUARTE, Maria E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 1 p. 59-70, 2005.

MOHD ALI, Norlaily; YEAP, Swee K.; YONG Ho, Wan; BEH Boon K., TAN Sheau W.; TAN Soon G.. The promising future of chia, *Salvia hispanica L.* **BioMed Research International**, 2012.

NEDOVIC, Viktor; KALUSEVIC, Ana; MANOJLOVIC, Verica; LEVIC, Steva; BUGARSKI, Branko. An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1806-1815, 2011.

NESTERENKO, Alla; ALRIC Isabelle; SILVESTRE Françoise; DURRIEU, Vanessa. Influence of soy protein's structural modifications on their microencapsulation properties: α -Tocopherol microparticle preparation. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 387-396, 2012.

NESTERENKO, Alla; ALRIC, Isabelle; VIOLLEAU, F.; SILVESTRE, Françoise; DURRIEU, Vanessa. The effect of vegetable protein modifications on the microencapsulation process. **Food Hydrocolloids**, v. 41, p. 95-102, 2014.

OLIVEIRA, Olivia W.; PETROVICK, Pedro R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista brasileira de farmacognosia**. São Paulo, SP. Vol. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, Ulisses C. F. de. **Desenvolvimento de um secador spray para obtenção de pós finos de precursores de nióbio**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal- RN, 2007.

PACHECO, Selma G. A.; REGITANO-D'ARCE, Marisa A. B. Estabilidade oxidativa de óleo de peixe encapsulado em diferentes tipos de embalagem em condição ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 927-932, 2009.

PARK, Jong-Min; KWON, Sung-hun; HAN, Young-Min; HAHM, Ki-Baik; KIM, Eun-Hee. Omega-3 polyunsaturated Fatty acids as potential chemopreventive agent for gastrointestinal cancer. **Journal of cancer prevention**, v. 18, n. 3, p. 201, 2013.

PEREIRA, Taize. Microencapsulação do óleo eugenol pelo método de spray drying. 2007. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharel em Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PEREIRA, Vinicius R. **Ácido Ascórbico – características, mecanismos de atuação e aplicações na indústria de alimentos**. Trabalho acadêmico (Graduação) - Curso de Bacharelado em Química de Alimentos. Universidade Federal De Pelotas, Pelotas, 2008

PIGHINELLI, Anna L. M. T.; PARK, Kil J.; RAUEN, Ana M.; BEVILAQUA, Gabriela; GUILLAUMON FILHO, João A. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller. **Food Science and Technology**. Campinas, São Paulo. 2008.

POSHADRI, A.; KUNA, Aparna Microencapsulation technology: A review. **Journal of Research ANGRAU**, v. 38, n. 1, p. 86-102, 2010.

REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Chemistry**, v. 107, n. 2, p. 656-663, 2008.

RISS, H.; CARNIEL, T. K.; FARINA, C. F.; ROSO, A. K.; SILVA, L. L.; MELLO, J. M. M.; DALCANTON, F. Extração de óleo de chia (*salvia hispanica* l.) Via sohxlet. p. 1716-1721. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. São Paulo: Blucher, 2015.

RODEA-GONZÁLEZ, Dulce A.; CRUZ-OLIVARES, Julian; ROMÁN-GUERRERO, Angélica; RODRÍGUEZ-HUEZO, Maria E.; VERNON-CARTER, Eduardo J.; PÉREZ-ALONSO, César. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 102-109, 2012.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L.A.P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações. **Jornada Científica da Fazu/Faculdades Associadas de Uberaba**, Uberaba, MG v. 5, 2006.

ROSE, David P.; CONNOLLY, Jeanne M. Omega-3 fatty acids as cancer chemopreventive agents. **Pharmacology & therapeutics**, v. 83, n. 3, p. 217-244, 1999.

SALGADO-CRUZ, M.; CEDILLO-LÓPEZ, D.; BELTRÁN-OROZCO, M. Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chia (*Salvia hispanica*) y de la fibra dietaria obtenida de la misma. In: **Resúmenes Extendidos del VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Tercer Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos**. 2005.

SAREMI, Adonis; ARORA, Rohit. The utility of omega-3 fatty acids in cardiovascular disease. **American Journal of Therapeutics**, v. 16, n. 5, p. 421-436, 2009.

SARGI, Sheisa. C.; SILVA, Beatriz C.; SANTOS, Hevelyse M. C.; MONTANHER, Paula F.; BOEING, Joana S.; JÚNIOR, S.; VISENTAINER, Jesuí V. Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, n. 3, p. 541-548, 2013.

SERFERT, Y.; DRUSCH, S.; SCHWARZ, K. Chemical stabilisation of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenisation, microencapsulation and storage. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1106-1112, 2009.

SCHMIDT, V.; GIACOMELLI, C.; SOLDI, V. Thermal stability of films formed by soy protein isolate–sodium dodecyl sulfate. **Polymer Degradation and Stability**, v. 87, n. 1, p. 25-31, 2005.

SHEPHERD, R.; ROBERTSON, A.; OFMAN, D. Dairy glycoconjugate emulsifiers: casein–maltodextrins. **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 4, p. 281-286, 2000.

SILVA, Francisco A. M.; BORGES, M. Fernanda M.; FERREIRA, Margarida A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, C.; GARCIA, V. A. S.; ZANETTE, C. M. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction using different organic solvents: oil yield, fatty acids profile and technological analysis of defatted meal. **International Food Research Journal**, 2016.

SHU, Bo; YU, Wenli; ZHAO, Yaping; LIU, Xiaoyong. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 664-669, 2006.

TAKAHASHI, N. S. Importância Dos Ácidos Graxos Essenciais, 2005.

TANG, Chuan-He; LI, Xin-Rong. Microencapsulation properties of soy protein isolate and storage stability of the correspondingly spray-dried emulsions. **Food research international**, v. 52, n. 1, p. 419-428, 2012.

TIMILSENA, Yakindra P.; ADHIKARI, Raju; BARROW, Colin J.; ADHIKARI, Benu. Microencapsulation of chia seed oil using chia seed protein isolate-chia seed gum complex coacervates. **International journal of biological macromolecules**. v. 91, p. 347-357, 2016.

THODE, Sérgio F.; CABRAL, Gabrielle B.; MARANHÃO, Fabíola S. da; SENA, Marcelo F. M.; SILVA, Elmo R. da. Deterioração de óleos vegetais expostos a diferentes condições de armazenamento. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. 2014.

TOMBINI, Jessica. Aproveitamento tecnológico da semente de chia (*Salvia hispanica* L.) na formulação de barra alimentícia. 2013.

TOSCO, Giovanni. Os Benefícios da “Chia” em Humanos e Animais. **Atualidades Ornitológicas**, n. 119, p. 7, 2004.

TOSONI, Solange F.; RODRIGUES, Vanessa C. **Características físico-químicas e antioxidantes de própolis microencapsulada com diferentes tipos de materiais encapsulantes**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

VIEIRA, Maiana C. da. **Desenvolvimento de barras de cereais contendo nanocápsulas de caseína com óleo de semente de chia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Tecnológicas) – Centro Universitário Franciscano de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2014.