



LUCAS SILVEIRA TAVARES

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA
MUCILAGEM E DE SUBPRODUTOS DA
SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica* L.)**

LAVRAS - MG

2016

LUCAS SILVEIRA TAVARES

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM E DE
SUBPRODUTOS DA SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jaime Vilela de Resende

LAVRAS - MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Tavares, Lucas Silveira.

Extração e Caracterização da Mucilagem e de Subprodutos da
Semente de Chia (*Salvia hispanica* L.) / Lucas Silveira Tavares. –
Lavras: UFLA, 2016.

109 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador (a): Jaime Vilela de Resende.

Bibliografia.

1. Reologia. 2. Rendimento. 3. Microscopia. 4. Composição. 5.
Emulsão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

LUCAS SILVEIRA TAVARES

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM E DE
SUBPRODUTOS DA SEMENTE DE CHIA (*Salvia hispanica* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 03 de agosto de 2015.

Dra. Lanamar Almeida-Carlos	UFSJ
Dra. Kelen Cristina dos Reis	GAMMON
Dra. Sandra Maria Pinto	UFLA
Dra. Carolina Valeriano de Carvalho	UFLA

Dr. Jaime Vilela de Resende
Orientador

LAVRAS-MG

2015

DEDICO

A minha amada esposa, Ívina Catarina de Oliveira Guimarães, aos meus pais, Eliane Silveira Tavares e José Candido Tavares, *in memoriam*, aos meus avôs Geraldo e Candoca, minhas avós, Maria e Marieta, ao tio Geraldinho, e ao querido amigo, João Paulo Lemos.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui os meus sinceros agradecimentos a todos os que contribuíram para este trabalho. Um agradecimento especial é devido ao Professor Dr. Jaime Vilela de Resende pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação e, sobretudo pela confiança demonstrada.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade concedida para realização do doutorado.

Aos funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos, Tales, Creusa, Tina, Lucilene e demais funcionários que direta ou indiretamente contribuíram para o bom andamento deste trabalho.

À CAPES pela bolsa de doutorado concedida.

À banca examinadora.

RESUMO

As sementes de Chia (*Salvia hispanica* L.) são uma fonte natural de ácidos graxos ômega 3, antioxidantes, proteínas, vitaminas, minerais, fibra dietética e mucilagem. Quando imersas em água, suas sementes geram uma solução altamente viscosa devido à liberação de mucilagem, de carboidratos complexos, de alto peso molecular, com ampla aplicação na indústria de alimentos. Nesse sentido, este estudo trata do desenvolvimento de um novo método de extração da mucilagem da semente de chia baseado em processos mecânicos a baixas temperaturas, avaliando seu rendimento, comportamento reológico, composição e estrutura, assim como dos subprodutos derivados do processo de extração. Para tanto, foi avaliada a composição centesimal da matéria-prima (semente de chia) de cultivo nacional provenientes do município de Entre-Ijuís/RS, Brasil, assim como o rendimento da mucilagem em função de diferentes razões semente:água. O novo método baseia-se na extração por prensagem a frio e secagem por liofilização. Foram realizadas análise da composição centesimal, coloração, reologia, microestrutura (microscopia eletrônica de varredura/MEV), do perfil de minerais (microanálise de raios-x/MAX) e do perfil de ácidos graxos por cromatografia da semente de chia, das mucilagens e subprodutos. Para avaliação das propriedades tecnológicas avaliou-se a capacidade, estabilidade e microestrutura da emulsão. A mucilagem de sementes de chia cultivadas no Brasil foi extraída com sucesso pelo novo método. Os parâmetros ótimos do processo ocorreram à temperatura de 27 °C com proporção semente:água de 1:20, apresentando rendimento de 8,46%. De maneira geral, não houve diferença estatística no comportamento reológico (índice de comportamento de fluxo, viscosidade aparente e varredura de frequência), coloração e rendimento entre as mucilagens obtidas na razão semente:água 1:20, 1:30 e 1:40. Estas apresentaram comportamento não newtoniano, sendo o modelo que melhor explicou os dados experimentais foi a Lei da Potência. Os diferentes processos de extração levaram a alterações na composição das mucilagens e de seus resíduos. De maneira geral, a semente de chia, sua mucilagem e subprodutos apresentaram altos teores de proteínas, minerais, fibras e ácidos graxos poli-insaturados, podendo ser utilizados, por exemplo, em produtos de panificação, bebidas em pó, sorvetes, iogurtes, dentre outros. Através da MEV foi possível observar que a rede macromolecular formada pelo material fibroso contido na mucilagem manteve sua estrutura durante o processo de ultracongelamento e liofilização. A MAX tornou possível a identificação de elementos minerais na semente de chia e seus subprodutos. O método de extração não influencia significativamente na capacidade emulsificante da goma, apresentando uma média de 98%. A mucilagem obtida por extração a frio foi mais estável, apresentando 45% de estabilidade e gotículas com tamanhos desuniformes.

Palavras-chave: Reologia. Rendimento. Microscopia. Composição. Emulsão.

ABSTRACT

Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) are a natural source of Omega 3 fatty acids, antioxidants, proteins, vitamins, minerals, dietary fiber and mucilage. When immersed in water, the seeds produce a highly viscous solution because due to the release of mucilage, high molecular weight complex carbohydrates with wide application in the food industry. Thus, this study is about developing a new method for extracting mucilage of chia seeds based on mechanical processes at low temperatures, evaluating its performance, rheological properties, composition and structure, as well as by-products of the extraction process. For that, it was evaluated the chemical composition of the raw material (chia seed) of national culture from the city of Entre-Ijuís / RS, Brazil, as well as the yield of mucilage for different seed:water ratio. The new method is based on extraction by cold pressing and drying by lyophilization. Analysis was made of the chemical composition, color, rheology, microstructure (scanning electron microscopy/SEM), the mineral profile (X-ray microanalysis) and the fatty acid profile by chromatography of chia seed, mucilage and by-products. To evaluate the technological properties the capacity, stability and microstructure of the emulsion were assessed. The chia seed mucilage cultivated in Brazil was successfully extracted by the new method of extraction at low temperatures. The optimal process parameters occurred at 27 °C with seed: water ratio of 1:20, with yield of 8.46%. Overall, there was no statistical difference in rheological behavior (flow behavior index, viscosity and scan frequency), color and yield among the mucilage obtained in the seed:water ratio of 1:20, 1:30 and 1:40. These showed non-Newtonian behavior, with the Power-law model was the one that best explained the experimental data. The results obtained for chia seed composition are in accordance with its profile. The different extraction processes led to changes in the composition of mucilage and their by-products. In general, chia seed, its mucilage and byproducts had interesting properties for food industry, such as high levels of protein, minerals, fibers and polyunsaturated fatty acids, that can be used, for example, in bakery products, powdered drinks, ice creams, yogurts, among others. The SEM allowed the observation of macroscopic fibrous structure of mucilage obtained through cold extraction process, indicating that the macromolecular network formed by fibrous material contained in mucilage maintained its structure in the process of deep freezing and lyophilization. The X-ray microanalysis made it possible to identify the mineral elements in chia seed and its byproducts. The extraction method did not significantly influence the emulsifying ability of gum, with an average of 98%. The mucilage obtained by cold extraction was more stable, with 45% of stability and droplets of disuniform sizes.

Keywords: Rheology. Yield. Microscopy. Composition. Emulsion.

LISTRA DE FIGURAS

Figura 1	Chia (<i>Salvia Hispanica</i> L.), a) planta herbácea; b) Sementes de chia (<i>Salvia Hispanica</i> L.).....	20
Figura 2	Imagens óticas da semente de chia.....	22
Figura 3	Estruturas dos ácidos graxos.....	23
Figura 4	Determinação da estrutura dos componentes do polissacarídeo constituinte da mucilagem das sementes de chia.....	25
Figura 5	Classificação dos tipos de fluidos segundo comportamento reológico.....	32
Figura 6	Fluxograma para extração e caracterização dos subprodutos da semente de chia.....	38
Figura 7	Valores de índice de comportamento de fluxo em relação às concentrações.....	56
Figura 8	Valores de índice de consistência em relação às concentrações.....	57
Figura 9	Reogramas da relação taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento.....	58
Figura 10	Reogramas da relação viscosidade e taxa de deformação...	60
Figura 11	Relação entre a concentração das gomas e a viscosidade aparente.....	63
Figura 12	Reogramas obtidos pelas curvas de escoamento com aumento e redução da tensão de cisalhamento aplicada sob taxa de deformação constante.....	64
Figura 13	Reogramas obtidos pela relação G' e G'' com a frequência para os diferentes métodos de extração das mucilagens a frio.....	67
Figura 14	Reogramas obtidos pela relação G' e G'' com a frequência para as diferentes concentrações da mucilagem obtida a frio.....	70
Figura 15	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) na semente de chia e seus subprodutos.....	81
Figura 16	Tabela periódica dos elementos químicos.....	85
Figura 17	Microanálise de Raios-X para mapeamento de minerais na semente de chia e seus subprodutos.....	86
Figura 18	Emulsões antes e depois da centrifugação.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Fontes de hidrocoloides comercialmente importantes.....	17
Tabela 2	Conteúdo de ácidos graxos (g/kg do total de ácidos graxos) no óleo de chia.....	24
Tabela 3	Rendimento de mucilagem extraído em diferentes métodos de extração e proporção água:semente.....	50
Tabela 4	Parâmetros de viscosidade, índice de consistência e índice de comportamento de fluxo.....	54
Tabela 5	Valores do índice de comportamento de fluxo.....	55
Tabela 6	Valores de viscosidade aparente sob taxa de cisalhamento de 100s ⁻¹	62
Tabela 7	Tixotropia em função dos diferentes métodos de extração e concentração.....	65
Tabela 8	Valores médios calculados de L*,a* e b* das mucilagens obtidas em diferentes métodos de extração na concentração de 1% (g/100g água).....	73
Tabela 9	Composição centesimal das mucilagens e subprodutos obtidos da semente chia em diferentes métodos de extração.....	76
Tabela 10	Composição de minerais da semente de chia e seus subprodutos (g/100g do total de minerais) em diferentes métodos de extração.....	89
Tabela 11	Composição de ácidos graxos da semente de chia e seus subprodutos (g/kg do total de ácidos graxos) em diferentes métodos de extração.....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Mucilagens: definição, funções e aplicabilidade.....	16
2.2	Histórico da Chia (<i>Salvia hispanica</i> L.).....	18
2.3	Características físicas da semente.....	19
2.4	Composição química da semente e mucilagem.....	23
2.5	Resíduos do processamento da semente de chia.....	26
2.6	Aspectos nutricionais da semente, mucilagem e resíduos da chia.....	27
2.7	Aplicações da semente, mucilagem e subprodutos da chia.....	29
2.8	Reologia.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Sementes de Chia.....	37
3.2	Extração da mucilagem.....	37
3.2.1	Extração a quente.....	37
3.2.2	Extração a frio.....	39
3.2.3	Rendimento da mucilagem.....	39
3.2.4	Reconstituição das mucilagens.....	39
3.3	Reologia.....	40
3.3.1	Tixotropia.....	41
3.3.2	Curva de fluxo.....	41
3.3.3	Varredura de frequência.....	41
3.4	Coloração.....	42
3.5	Caracterização da matéria-prima e subprodutos.....	42
3.5.1	Composição centesimal.....	42
3.5.1.1	Umidade.....	43
3.5.1.2	Lipídeos.....	43
3.5.1.3	Proteína bruta.....	43
3.5.1.4	Cinzas.....	44
3.5.1.5	Fibra bruta.....	44
3.5.1.6	Extrato não nitrogenado.....	44
3.5.2	Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	44
3.5.3	Microanálise de Raios-X.....	45
3.5.4	Perfil de ácidos graxos.....	46
3.6	Propriedades tecnológicas.....	47

3.6.1	Elaboração das emulsões.....	47
3.6.2	Capacidade emulsificante.....	48
3.6.3	Estabilidade da emulsão.....	48
3.6.4	Microscopia ótica.....	49
3.7	Análise estatística.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1	Extração da mucilagem.....	50
4.2	Reologia.....	52
4.2.1	Caracterização do comportamento reológico.....	52
4.2.2	Tixotropia.....	63
4.2.3	Varredura de frequência.....	66
4.3	Coloração.....	73
4.4	Caracterização da matéria-prima e subprodutos.....	74
4.4.1	Composição centesimal da semente de chia.....	75
4.4.2	Composição centesimal das mucilagens e subprodutos.....	76
4.4.3	Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	80
4.4.4	Microanálise de Raios-X.....	84
4.4.5	Composição de ácidos graxos.....	90
4.5	Propriedades tecnológicas.....	92
4.5.1	Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão.....	93
4.5.2	Microscopia ótica.....	94
5	CONCLUSÃO.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

A Chia (*Salvia hispanica* L.) é uma planta herbácea anual que pertence à família *Lamiaceae*, sendo nativa do Sul do México e Norte da Guatemala (IXTAINA; NOVASCO; TOMÁS, 2010). A semente de Chia foi um importante alimento para os povos pré-Colombianos na América, incluindo as populações Maias e Astecas, assumindo uma maior relevância que o milho, feijão e outros cereais (AYERZA; COATES, 2004). Com o tempo sua utilização foi sendo abandonada, mas no final do último século houve novamente interesse em sua utilização, devido principalmente ao seu valor nutricional.

Ressalta-se o elevado teor de óleo da semente (aproximadamente 40% do peso da semente), sendo quase 60% de ácido graxo α -linolênico (ômega-3) e também de fibra dietética (mais de 30% do peso total) (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008).

Suas sementes são uma fonte natural de ácidos graxos ômega 3, antioxidantes, proteínas, vitaminas, minerais e fibra dietética (IXTAINA et al., 2011; CAPITANI; NOLASCO; TOMÁS, 2013). Por ainda apresentar um elevado valor nutricional, os resíduos obtidos no processo de extração do óleo de chia são considerados subprodutos (RAMOS, 2013). Por outro lado, não há evidência que a semente de chia inteira ou moída cause efeitos adversos ou alergênicos (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY - EFSA, 2009), assim, a semente de chia e seus derivados são fontes promissoras de alimentos (MUÑOZ, 2012).

Devido ao seu elevado valor nutritivo, a semente de chia está sendo utilizada como suplemento nutricional, assim como na elaboração de barras de cereais, cereais consumidos no café da manhã e *cookies* nos EUA, América Latina e Austrália (DUNN, 2010; MUÑOS, 2012). Por outro lado, os subprodutos da semente da chia obtidos após extração do óleo também exibem algumas

propriedades funcionais interessantes com amplo potencial para utilização na indústria de alimentos.

Quando muitas sementes são imersas em água, uma solução altamente viscosa é formada devido à liberação de mucilagem pela parede celular externa das células epidérmicas. Trata-se de um carboidrato complexo de alto peso molecular, é um importante componente da semente devido a seu papel fisiológico (MARIN FLORES et al., 2008). Segundo Muñoz et al. (2012), esta mucilagem parece estar firmemente ligada à semente, o que dificulta sua extração. Estudos preliminares da extração da mucilagem obtidos através de variados processos encontraram rendimentos que variaram de 5 % a 15,5 % (AYERZA; COATES, 2001; MARIN FLORES et al., 2008; MUÑOZ et al., 2012; REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008). De acordo com Muñoz (2012), essas grandes variações de rendimentos estão relacionadas aos métodos de extração e hidratação. A extração da mucilagem pode ser feita diretamente da semente inteira, da semente triturada, do resíduo da extração de óleo, dentre outros.

A extração de óleo a partir de matrizes vegetais por vezes é realizada com o auxílio de solventes orgânicos. Entretanto, o processo de eliminação do solvente requer temperaturas relativamente altas, o que pode causar a degradação de compostos de interesse presentes nos extratos, além de poder deixar resíduos no produto e ser prejudicial ao meio ambiente (GUINDANI, 2014). Dessa forma, torna-se oportuno o desenvolvimento de métodos alternativos, ambientalmente corretos, que preservem as características da mucilagem e que seja livre de resíduos indesejáveis como os solventes.

Neste sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de um método de extração da mucilagem da semente de chia, baseado em processos mecânicos a baixas temperaturas, avaliando seu rendimento, composição, comportamento reológico, estrutura e propriedades tecnológicas, assim como dos subprodutos derivados do processo de extração.

1.1 Objetivos

A seguir serão apresentados os fins que se deseja atingir neste trabalho, os quais estão estabelecidos em formas de metas gerais e específicas conforme a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um novo método de extração da mucilagem da semente de chia, baseado em processos mecânicos a baixas temperaturas, avaliando seu rendimento, composição, comportamento reológico, estrutura e propriedades tecnológicas, assim como dos subprodutos derivados do processo de extração.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência do método de extração em função de diferentes razões semente: água.

- Avaliar o comportamento reológico das mucilagens obtidas nos diferentes processos de extração.

- Determinar e comparar a composição centesimal da semente chia, mucilagens e subprodutos derivados do processo de extração.

- Avaliar a microestrutura das mucilagens e subprodutos derivados do processo de extração.

- Aplicar a microanálise de raios-x (MAX) para verificar diferenças no perfil de minerais da semente chia, mucilagens e subprodutos derivados do processo de extração.

- Determinar o perfil de ácidos graxos da semente chia, mucilagens e subprodutos derivados do processo de extração.

- Determinar a capacidade, estabilidade e microestrutura de emulsões elaboradas a partir de mucilagens obtidas nos diferentes processos de extração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mucilagens: definição, funções e aplicabilidade

Segundo Jahanbin et al. (2012), o termo mucilagem depara com denominações na literatura como gomas, coloides hidrofílicos (ou hidrocoloides) ou ainda polissacarídeos solúveis em água. Nesse sentido, a literatura sobre mucilagens, gomas, estabilizantes, hidrocoloides e espécies de similar função ou estrutura, encontra muita dificuldade para definir seus termos.

Mucilagens são um grupo diverso de polímeros de cadeia longa caracterizados por suas propriedades de formar dispersões viscosas e ou géis quando dispersas em água. Estes materiais foram inicialmente encontrados em exsudados de árvores ou arbustos, extratos de plantas ou algas, farinhas de sementes ou grãos, gomas de processos fermentativos e muitos outros produtos naturais. A ocorrência de um grande número de grupos hidróxilas visivelmente aumenta sua afinidade por ligar-se a moléculas de água, tornando-as compostos hidrofílicos. Além disso, elas produzem uma dispersão que é intermediária entre uma solução verdadeira e uma suspensão, e exibe propriedades de coloide. Considerando as duas propriedades, elas são apropriadamente chamadas de coloides hidrofílicos ou hidrocoloides (MILANI; MALEKI, 2012).

As gomas apresentam uma composição heterogênea. Observa-se posteriormente à hidrólise dos polissacarídeos complexos os componentes arabinose, galactose, glucose, manose, xilose e vários ácidos urônicos, os quais são os mais comuns. Estes últimos podem formar sais com cálcio, magnésio e outros cátions; as substituições com éter metílico e éster sulfato modificam ainda mais as propriedades hidrófilas de alguns polissacarídeos naturais (ZÓIA, 2011).

As mucilagens de maior relevância comercial e sua origem estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 Fontes de hidrocoloides comercialmente importantes

Origem	Fonte	Nome
Botânica	Árvores	Celulose
	Gomas exsudadas de árvores	Goma arábica, goma karaya, goma ghatti, goma tragacanto
	Plantas	Amido, pectina, celulose
	Sementes	Goma guar, goma alfarroba, goma tara, goma tamarindo
Algas	Tubérculos	Konjac manana
	Algas Vermelhas	Agar, carragena
	Algas Marrons	Alginato
Microbiana		Goma xantana, curdlana, dextrana, goma gelana, celulose
Animal		Gelatina, caseinato, proteína de soro de leite, quitosana

Fonte: Fani (2012)

As propriedades funcionais dos hidrocoloides são influenciadas pelo tamanho e orientação molecular, ligações iônicas e de hidrogênio, tamanho da partícula, temperatura, concentração e outros fatores. A localização espacial dos monômeros constituintes e a existência ou não de ramificações são muito relevantes (ZÓIA, 2011).

As mucilagens realizam, no mínimo, três funções no processamento dos alimentos: são emulsificantes, estabilizantes e espessantes. Além disso, algumas mucilagens também são agentes gelificantes, formadores de corpo, agentes de suspensão e aumentam a capacidade de dispersão de gases em sólidos ou líquidos (FANI, 2011).

Na indústria de alimentos, a relevância da utilização dos hidrocoloides consiste, principalmente, nas suas capacidades de aumentar a viscosidade e

formar gel e seus efeitos estabilizantes de dispersões. Essas propriedades podem ser obtidas somente após a dissolução da goma no meio aquoso (ZÓIA, 2011).

As gomas são hoje vastamente utilizadas em um grande número de setores industriais para realizar uma série de funções, como espessar e/ou gelificar soluções aquosas, estabilizar espumas, modificar e/ou controlar as propriedades de fluxo e a textura dos alimentos líquidos e das bebidas, inibir a formação de cristais de gelo e de açúcar e controlar a liberação de sabores, assim como modificar as propriedades de deformação de produtos semissólidos (FANI, 2012).

2.2 Histórico da Chia (*Salvia hispanica* L.)

A chia (*Salvia hispânica* L.), também conhecida como “salvia espanhola”, “artemisa espanhola”, “chia mexicana” ou “chia negra”, é uma planta herbácea, da família das lamiaceas, originária das áreas montanhosas do Oeste e Centro do México (OROZCO; ROMERO, 2003).

Na era pré-colombiana as sementes de chia foram consideradas um alimento muito importante para os povos da América Central, adquirindo uma importância superior a do milho, feijão e outros cereais. Tecochtlan, a capital do Império Asteca, recebia anualmente grandes quantidades de sementes de chia, como tributo de nações conquistadas. Estas sementes eram também uma das ofertas aos deuses Astecas (AYERZA; COATES, 2004). Devido a sua utilização em cerimônias pagãs, os espanhóis tentaram erradicá-la e trouxeram novas cultivares provenientes do Novo Continente. Segundo os antigos maias, o nome “chia” significava “força”. Era considerada como um superalimento, pois acreditava-se suprir as necessidades nutricionais diárias de uma pessoa (AYERZA; COATES, 2009). Com o declínio das práticas religiosas, a utilização de sementes de chia, por esses povos, foi quase extinta há cerca de 500 anos (AYERZA; COATES, 2004).

Para as tribos astecas, as sementes de chia eram empregadas não só como alimento, assim como na elaboração de medicamentos e tintas. Tem sido tradicionalmente consumida no México e no Sudoeste dos Estados Unidos, em uma quantidade menor na América do Sul, mas não é amplamente conhecida na Europa. A chia tem sido pesquisada e indicada em função do seu teor de óleo, proteína, antioxidantes e teor de fibra dietética (AYERZA, 1995; BUSHWAY; BELYEA; BUSHWAY, 1981; TAGA; MILLER; PRATT, 1984).

Seu cultivo ocorre, sobretudo, em regiões tropicais e subtropicais. Apesar de pouco tolerante ao frio, a chia pode ser cultivada em estufas, como é o caso em algumas regiões Europeias (HUXLEY, 1992).

Embora a chia não seja muito conhecida como alimento, sua produção global está aumentando devido a seus benefícios à saúde e popularidade (MUÑOZ, 2012).

Na culinária, a chia tem sido empregada na forma de semente inteira, farinha, mucilagem e óleo. Ultimamente, esta tem sido cultivada principalmente no México, Bolívia, Equador e Guatemala (MARTÍNEZ et al., 2012).

2.3 Características físicas da semente

A fruta da *Salvia hispanica* consiste de quatro pequenas castanhas, similar a um aquênio indeiscente, as quais contêm uma única semente (IXTAINA; NOVASCO; TOMÁS, 2010). Sua planta-mãe é sensível à luz solar, gera pequenas sementes brancas e pretas que alcançam a maturação, geralmente no outono (CAPITANI et al., 2012), conforme pode ser observado na Figura 1.

Segundo Ramos (2013), apesar da planta produzir dois tipos de semente, brancas e pretas, a maioria da produção de chia contém uma baixa percentagem de sementes brancas. De um modo geral, a chia disponível comercialmente

apresenta uma mistura das duas sementes. No entanto, existe também possibilidade de aquisição das sementes de cores separadas.

As sementes da chia são pequenas e de forma oval, variando a cor do café escuro ao bege, com pequenas manchas escuras, apesar de algumas apresentarem cor cinza ou branca (MUÑOZ et al., 2012). De acordo com Ixtaína, Nolasco e Tomás (2008), as características físicas das sementes são: comprimento (L) = 2,11; largura (W) = 1,32 e espessura (T) = 0,81 mm (sementes escuras); L = 2,15; W = 1,40 e T = 0,83 mm (sementes claras).

Figura 1 Chia (*Salvia Hispanica* L.), a) planta herbácea; b) Sementes de chia (*Salvia Hispanica* L.)



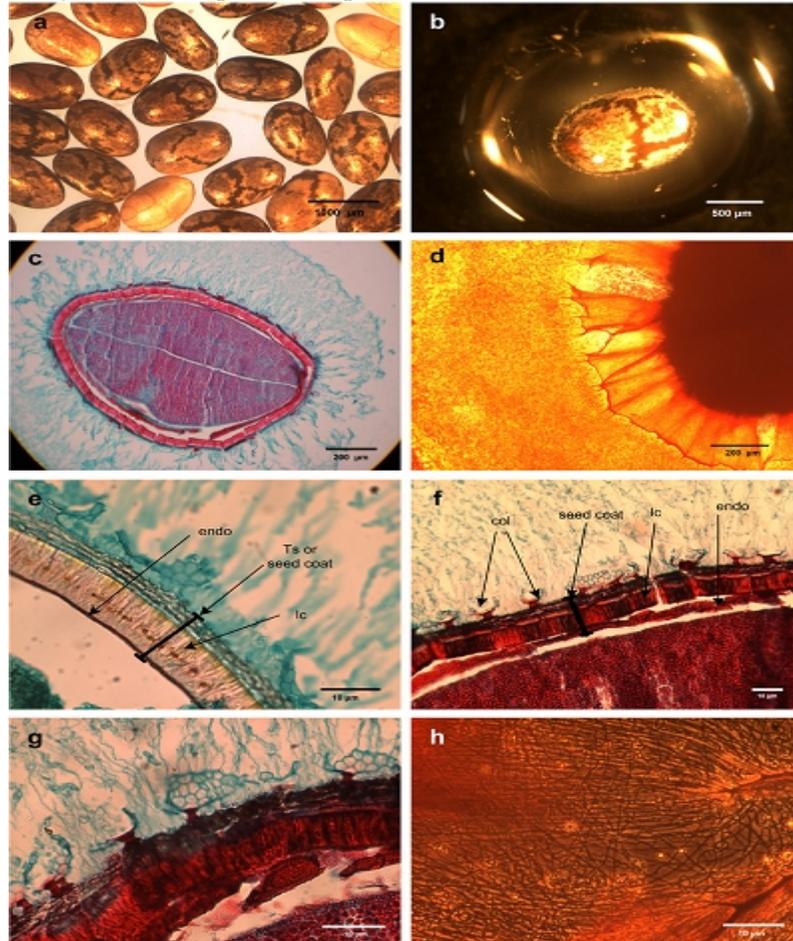
Quando muitas sementes são imersas em água, uma solução altamente viscosa é formada, e o mesmo fenômeno ocorre quando a mucilagem é hidratada (MUÑOZ et al., 2012). Segundo Scheer (2001), o mesmo fenômeno de formação de gel pode ocorrer dentro do estômago, quando alimentos contendo estas fibras gomosas ou mucilagem são consumidos.

A mucilagem é uma fonte apreciável de fibra dietética. Devido à sua capacidade de absorção de água, quando a umidade relativa aumenta, a semente de chia (Figura 2 a) tem tendência a aumentar de volume. Na Figura 2 (b, c) observa-se uma película transparente existente na semente hidratada. Essa

película na forma de um gel transparente mucilaginoso atinge espessura máxima após 2h de hidratação. Na Figura 2 (d), observam-se duas camadas, uma interior, constituída por estruturas ramificadas e uma externa. Na Figura 2 (e) observa-se em detalhe a estrutura do revestimento da semente. Esta é composta por três camadas: uma camada exterior (z), onde se encontra a mucilagem; uma camada intermediária (y), composta por células pouco estruturadas com uma fibra semelhante e o endocarpo (x). Quando a semente entra em contato com a água, começam a se desenrolar pequenos filamentos na superfície [Figura 2 (c e d)]. Quando as sementes ficam totalmente hidratadas estes filamentos agregam-se [Figura 2 (f e g)], distribuindo-se uniformemente sobre a superfície à volta da semente (MUNOZ et al., 2012).

A mucilagem na forma completamente hidratada forma uma cápsula contínua e transparente com a espessura média de aproximadamente $414 \pm 35 \mu\text{m}$. Esse gel transparente mucilaginoso alcança sua viscosidade máxima após 2h de hidratação (MUÑOZ et al., 2012).

Figura 2 Imagens óticas da semente de chia. a) Semente inteira seca: sementes beges e escuras. b) Semente inteira hidratada formando cápsula mucilaginosa em volta da semente. (c–h) Secção histológica da semente inteira fixada sobre água. (c e d) A parede celular externa das células epidérmicas foi estourada liberando a mucilagem que cerca a semente. e) Revestimento de semente: as três camadas de células retangulares formando revestimento de semente são observadas; endo: correspondem a camada do endocarpo; lc: camada esclereide. f) Col: Columela uniformemente distribuída na superfície; revestimento de semente: testa; lc: camada esclereide; endo: camada endocarpo g) Material de parede celular ligado à columela e pequenos agrupamentos de células esféricas. h) A presença de agregados ramificados alongados, de comprimento a partir da semente é observada



Fonte: Muñoz (2012).

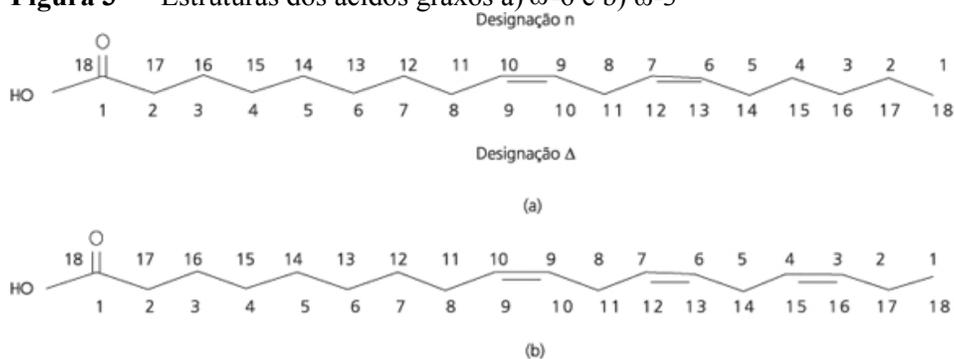
A mucilagem está presente no interior do tegumento da célula epidérmica de sementes maduras de chia que quando entram em contato com a água se expande imediatamente causando a ruptura da camada de célula primária que se projeta a partir dessas células epidérmicas vizinhas, assim circundando a semente (MUÑOZ et al., 2012).

2.4 Composição química da semente e mucilagem

A semente de chia contém cerca de 30% de óleo, os quais consistem principalmente de ácidos graxos insaturados (TAGA; MILLER; PRATT, 1984). Dentre estes, possui altos teores de ácidos graxos essenciais, especialmente ácido linoleico (ω -6) e α -linolênico (ω -3), essenciais para a manutenção das funções celulares normais, além de apresentarem atividades anti-inflamatória e cardioprotetora (JEONG et al., 2010).

Os ácidos graxos ω -3 e ω -6 apresentam insaturações separadas por um carbono metilênico, com a primeira insaturação no terceiro e no sexto carbono, respectivamente, sendo a cadeia enumerada a partir do grupo metil terminal (MARTIN et al., 2006). A Figura 3 representa as estruturas dos ácidos linoleico e α -linolênico.

Figura 3 Estruturas dos ácidos graxos a) ω -6 e b) ω -3



Fonte: Martin et al. (2006)

Os ácidos graxos poli-insaturados, ácido α -linolênico e ácido linoleico inibem a proliferação de linfócitos e citocinas pró-inflamatórias, incidência de doenças cardiovasculares e mantêm a integridade das membranas celulares e dos neurotransmissores (LUDWIG et al., 2013).

Ácidos graxos insaturados ômega-3 são nutricionalmente importantes para uma boa saúde, e são especialmente benéficos para os indivíduos que sofrem de doenças do coração, diabetes e distúrbios do sistema imunológico (MCCLEMENTS; DECKER; WEISS, 2007)

O resultado das análises do perfil de ácidos graxos do óleo da semente de chia obtidos por Ayerza (1995), Ayerza e Coates (2004), Coates e Ayerza (1996), Heuer, Yaniv e Ravina (2002) e Peiretti e Gai (2009) estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 Conteúdo de ácidos graxos (g/kg do total de ácidos graxos) no óleo de chia

	Peiretti e Gai (2009)	Ayerza (1995)	Ayerza e Coates (2004)	Coates e Ayerza (1996)	Heuer, Yaniv e Ravina (2002)
C16	71 ± 0.64	62–71	66–77	64–79	76–87
C18	33 ± 0.41	31–37	27–36	24–32	26–30
C18:1n-9	60 ± 0.48	73–82	68–133	60–66	61–63
C18:2n-6	188 ± 0.25	198–208	180–211	170–201	174–187
C18:3n-3	641 ± 0.87	607–634	542–642	632–678	635–651
P/S^a	7.9 ± 0.66	7.6–8.8	6.7–8.7	7.7–9.3	7.3–7.8
n-6/n-3	0.29 ± 0.00	0.31–0.33	0.29–0.38	0.25–0.32	0.27–0.29

^aPoli-insaturados/Saturados.

Fonte: Peiretti e Gai (2009)

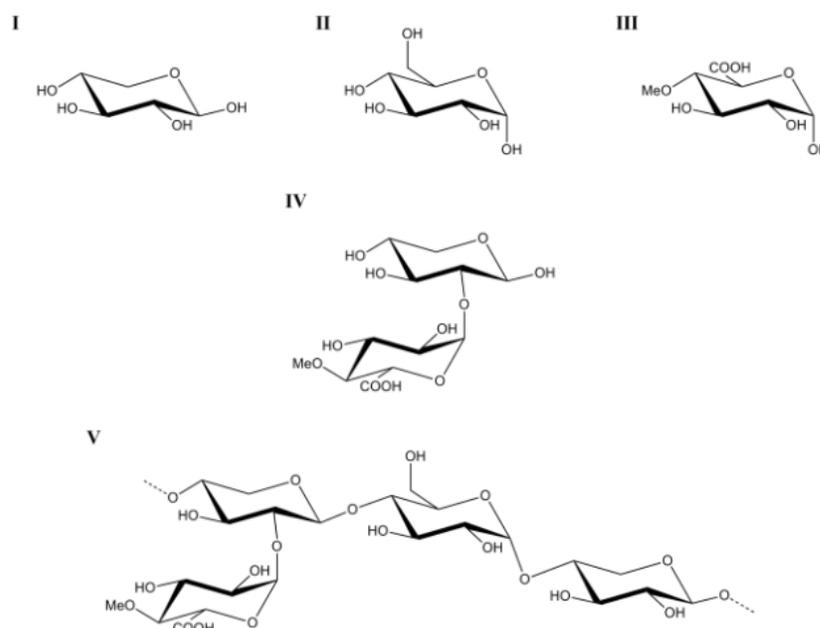
Ayerza e Coates (2011) relataram que o óleo da chia contém a proporção mais elevada de ácido α -linolênico (60 %) que qualquer outra fonte vegetal conhecida.

A semente de chia contém de 5 a 6% de mucilagem que pode ser usada como fibra dietética (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008). Estudos preliminares da extração da mucilagem encontraram rendimentos que variaram de 5 % a 15,5 % (AYERZA; COATES, 2001; MARIN FLORES et al., 2008; MUÑOZ et al., 2012; REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008).

O percentual de proteínas da semente de chia é semelhante ao da lentilha (23 %), ervilha (25 %) e grão de bico (21 %) (OLIVOS-LUGO; VALDIVIA-LÓPEZ; TECANTE, 2010).

Na Figura 4 estão representados os componentes da estrutura do polissacarídeo constituinte da mucilagem das sementes de chia (RAMOS, 2013).

Figura 4 Determinação da estrutura dos componentes do polissacarídeo constituinte da mucilagem das sementes de chia. I β -D-xilose ; II α -D-glucose; III ácido 4-O-metil- α -D-glucorónico; IV ácido aldobiurónico; V tetrassacárido (unidade estrutural)



Fonte: Ramos (2013)

Segundo Muñoz et al. (2012) a mucilagem parece estar firmemente ligada à semente, o que leva à dificuldade de separá-la da semente.

Segundo Coates (2012), a farinha de chia é também rica em minerais, que expressa em termos de teor de cinzas, esta composição é representada essencialmente pela presença de fósforo (770,30 mg/100g), potássio (653 mg/100g), cálcio (569,80 mg/100g), magnésio (334,50 mg/100g), ferro (7,72 mg/100g), zinco (5,68 mg/100g), manganês (3,28 mg/100g) e cobre (1,66 mg/100g).

2.5 Resíduos do processamento da semente de chia

Os resíduos da semente da chia obtidos após extração do óleo são boas fontes de proteínas (19-23%) (CRAIG; SONS, 2004). Vazquez-Ovando et al. (2010) observaram da farinha de chia (desengordurada) de diferentes origens, teores proteicos entre 28,14% (m/m) e 44,62% (m/m). A farinha de chia desengordurada é majoritariamente obtida na sequência do processo de extração do óleo de chia, sendo por isso considerada um subproduto, que ainda assim apresenta um elevado valor nutricional (RAMOS, 2013).

A extração de óleo a partir de matrizes vegetais por vezes é realizada com o auxílio de solventes orgânicos. Entretanto, o processo de eliminação do solvente é um processo que requer temperaturas relativamente altas, o que pode causar a degradação de compostos de interesse presentes nos extratos, além de poder deixar resíduos no produto e ser prejudicial ao meio ambiente (GUINDANI, 2014).

De acordo com Capitani et al. (2012), o método de extração dos lipídeos também afeta a quantificação proteica. Os autores observaram um teor proteico de 41,36% (m/m) de proteína quando a extração de lipídeos foi feita por solventes e 35% (m/m) quando tal processo foi feito por extração sob pressão.

Os subprodutos da semente da chia obtidos após extração do óleo também são boas fontes de proteínas, fibra dietética (33,9-39,9%) e compostos com atividade antioxidante (REYES-CAUDILLO; TECANTE; VALDIVIA-LÓPEZ, 2008).

2.6 Aspectos nutricionais da semente, mucilagem e resíduos da chia

Devido ao fato de que os alimentos que contêm fibras naturais são parte integrante de uma alimentação saudável, os produtores de alimentos buscam cada vez mais as fontes de matérias-primas naturais (FANI, 2012).

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente tendência para o consumo de alimentos funcionais. Muitos destes produtos são de origem vegetal e apresentam na sua composição química, elevados teores de fibras, vitaminas, minerais, ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), ácido α -linolênico (ω -3), antioxidantes, dentre outros (RAMOS, 2013).

Apesar de ser consumida desde a antiguidade pelos Astecas, nos últimos anos essa semente ganhou elevada notabilidade por suas características nutricionais, sendo rica em fibras, proteínas, minerais e ácidos graxos, os quais podem ser responsáveis pela diminuição do risco de doenças cardiovasculares. Além disso, seu consumo passou a ser relacionado amplamente com a perda de peso, o que aumentou ainda mais o interesse por essa matéria-prima (FERREIRA, 2013).

Recentemente, o óleo de semente de chia tem recebido grande atenção da população, uma vez que pode enriquecer a nutrição humana, sendo uma fonte natural de ácidos graxos ω -3, ω -6 e antioxidantes (GUINDANI, 2014).

Sementes de chia têm sido estudadas principalmente devido à qualidade do seu óleo. A semente contém entre 0,25 e 0,38 g de óleo/g de semente, em que os constituintes principais são os triglicerídeos, nos quais os ácidos graxos poli-

insaturados (ácido α -linolênico e ácido linoleico) estão presentes em quantidades elevadas (IXTAÍNA et al., 2011).

Sinais como perda de cabelo, problemas de pele podem representar indícios de um déficit dos níveis de consumo de ω -3. As doses diárias recomendadas deste ácido poli-insaturado são de 17g/dia para os homens e 12g/dia para as mulheres com idades entre os 19 aos 50 anos (SCHIFF, 2009).

A semente de chia contém a proporção mais elevada de ácido graxo α -linolênico (~ 60 %) que pode ser encontrada em fonte de origem vegetal (AYERZA; COATES, 2011).

O ácido graxo α -linolênico é poli-insaturado e pertence à família ω -3, sendo essencial para o crescimento normal e desenvolvimento do corpo humano e desempenha um importante papel na prevenção e tratamento de doenças relacionadas à artéria coronária, hipertensão, diabetes, artrite, doenças inflamatórias e autoimunes e câncer (SIMOPOULOS, 2002).

A chia também é uma importante fonte de compostos fenólicos, que agem como antioxidantes naturais, possuem propriedades anti-inflamatórias, antitrombóticas e anti-tumorais (ALI et al., 2012).

O gel formado pela mucilagem cria uma barreira física entre carboidratos e as enzimas digestivas que os quebram, assim diminuindo a conversão de carboidratos em açúcares enquanto aumenta a sensação de saciedade (RUBIO, 2002). É este um dos principais atributos das sementes de chia que as tornam tão populares em dietas de emagrecimento (VAZQUEZ-OVANDO et al., 2009).

O consumo de fibra na dieta humana tem um impacto considerável, traduzindo-se este em efeitos benéficos para a saúde. De acordo com Ixtaina (2010) os teores de fibra das sementes de chia– entre 18% e 30% - são cerca de 9% superiores aos de outros cereais como a cevada, trigo, aveia, milho e arroz.

O consumo de chia por conter elevados teores de fibra total, pode ser uma alternativa importante para aumentar a ingestão deste componente (RAMOS, 2013).

Seja pela ação do volume físico ou pela produção de ácidos graxos de cadeia curta, as vantagens para a saúde são várias. A ingestão de fibras (20g a 30g por dia em humanos) pode eliminar a constipação fecal e a retenção de água. A fermentação produzindo ácidos graxos de cadeia curta também pode ajudar, uma vez que o propionato estimula a atividade muscular do cólon e incentiva a expulsão do bolo fecal (FANI, 2012).

De acordo com Ayerza e Coates (2005), a ingestão de chia por ratos reduziu o teor de triglicéridios e aumentou os níveis de HDL no sangue.

Embora a chia não seja cultivada comercialmente como uma fonte de proteína, o seu perfil de aminoácidos não possui fatores limitantes na dieta de um adulto (BUSHWAY; BELYEA; BUSHWAY, 1981).

2.7 Aplicações da semente, mucilagem e subprodutos da chia

As sementes de chia, atendendo à sua riqueza nutricional, são já utilizadas como suplementos na produção de pão, barras energéticas, bolachas e outros alimentos funcionais (RAMOS, 2013).

A semente de chia é rica em vitaminas e minerais como riboflavina, niacina, tiamina, cálcio, fósforo, potássio, zinco e cobre. Consequentemente, a chia é um alimento de grande interesse para enriquecimento de diversos produtos, tais como alimentos infantis, assados, barras de cereais, iogurte, molhos, entre outros (JUSTO et al., 2007).

Em estudo realizado por Moreira et al. (2013), foram observadas melhorias nas propriedades reológicas de farinha de nozes utilizada em massas para produtos sem glúten ao adicionar 4,0% de farinha de chia à massa, associada à goma guar, tragacanto e hidróxipropilmetilcelulose em diferentes concentrações.

Estudando a substituição de ovos e óleo por gel feito a partir da semente da Chia em formulações de bolo, Borneo, Aguirre e León (2010) observaram

que substituindo 25% tanto dos ovos quanto do óleo, obtém-se características físico-químicas e sensoriais próximas às características do controle, obtendo aceitabilidade muito próxima.

Olivos-Lugo, Valdivia-López e Tecante (2010) realizaram a caracterização da fração proteica extraída da semente de chia, em que concluíram que a boa capacidade de retenção de água (4,06 g de água/g de proteína) e a excelente capacidade de retenção de óleo (4,04 g de óleo/g de proteína) da proteína isolada poderia ser útil para melhorar a estrutura de emulsões alimentícias, como em produtos panificados e embutidos.

Atualmente, o óleo da semente de chia não é amplamente utilizado comercialmente, embora tenha características que são adequadas para aplicações industriais e podem contribuir para o aumento do valor nutricional das dietas humanas (IXTAINA et al., 2011).

Muñoz et al. (2012) obtiveram filmes com boas propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor de água usando mucilagem da chia e soro lácteo na proporção de 1:3 e 1:4, respectivamente, obtendo, segundo os autores, um produto com possíveis usos como embalagens para alimentos.

A semente ainda não demonstrou os problemas associados com outras fontes de ácidos graxos poli-insaturados, tais como a linhaça e produtos marinhos, em relação ao sabor de peixe, perda de peso animal e problemas digestivos (AYERZA; COATES; LAURIA, 2002).

O percentual de proteínas habilita a semente de chia para a sua utilização como fonte de nutrientes para animais e seres humanos, já que a semente contém todos os aminoácidos essenciais necessários para a nutrição humana (RUPFLIN, 2011).

O consumo das sementes de chia proporciona inúmeros benefícios à saúde e ela ainda é fonte potencial de peptídeos bioativos, tais como hidrolisados de proteínas (SEGURA-CAMPOS et al., 2012).

A chia e seus subprodutos apresentam propriedades antioxidantes, propriedades funcionais e capacidade de formação de emulsões estáveis também foram mantidas. Estas características tornam subprodutos da chia interessantes na fabricação de produtos, tais como sobremesas, bebidas, pães, geleias, emulsões, biscoitos, entre outros (CAPITANI et al., 2012).

Na culinária, a chia tem sido utilizada como semente inteira, farinha, mucilagem e óleo. A importância da chia para os mexicanos pré-colombianos em bebidas e alimentos é um ponto abordado por muitos autores. A prática comum de torrefação e moagem das sementes para obtenção de uma farinha conhecida como “Chianpinolli” imitou o processamento dos grãos de milho e muitas vezes, as duas sementes eram processadas simultaneamente (CAHILL, 2003).

2.8 Reologia

A grande maioria das aplicações de polissacarídeos na indústria de alimentos está relacionada à capacidade que eles possuem de alterar, drasticamente, as suas propriedades físicas quando em solução, resultando em soluções de alta viscosidade ou criando redes intermoleculares coesivas. Nesses casos, o conhecimento do comportamento reológico das soluções de polissacarídeos é de fundamental importância no projeto, na avaliação e na modelagem de processos. Além disso, as propriedades reológicas também são um indicador da qualidade do produto e desempenham um papel fundamental na análise das condições de escoamento em processos alimentícios, como pasteurização, evaporação e secagem (FANI, 2012).

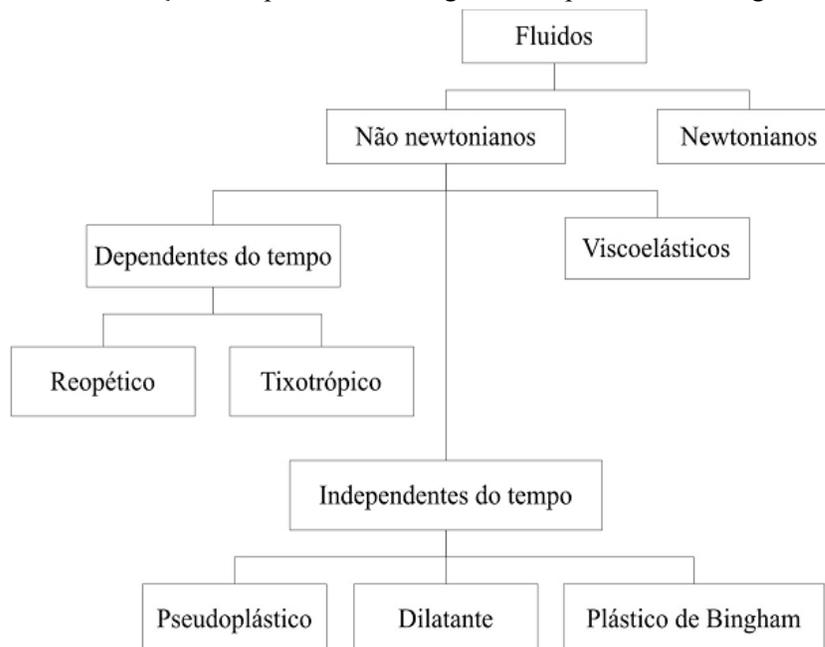
O conhecimento do comportamento reológico de um fluido é indispensável nas operações unitárias da indústria do processamento de alimentos. Esses processos geralmente envolvem o transporte de fluidos, que é realizado mediante bombas. O comportamento reológico, o qual influencia

fortemente nas perdas por atrito, define a potência e o tipo de bomba requerida pelo sistema (GOTSCHLICH, 2011).

Os fluidos podem ser classificados em Newtonianos ou não Newtonianos. Nos fluidos Newtonianos as propriedades reológicas são independentes da taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento, dependendo somente da temperatura e da composição. Exemplos de fluidos Newtonianos são: leite líquido, sucos de frutas (clarificados), solução de sacarose, substâncias de baixo peso molecular e gases (RAO, 1986).

Os fluidos são classificados segundo a relação entre a tensão de cisalhamento a que está sujeito ao fluido e à taxa de cisalhamento, ou taxa de deformação gerada. A Figura 5 demonstra a classificação dos fluidos de acordo com o comportamento reológico.

Figura 5 Classificação dos tipos de fluidos segundo comportamento reológico.



Fonte: Adaptado de Gotschlich (2011)

Os fluidos Newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação. A equação matemática de um fluido newtoniano é:

$$\tau = \mu\gamma \quad \text{Equação (1)}$$

em que:

τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻²=Pa]

γ = taxa de deformação [s⁻¹]

μ = viscosidade absoluta [Pa.s]

O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos Newtonianos, enquanto que para fluidos não Newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é viscosidade aparente. A viscosidade aparente de fluidos não Newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento. Os fluidos onde a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, são chamados pseudoplásticos. Muitos fluidos alimentares apresentam esse tipo de comportamento, entre eles, os sucos concentrados e purês de frutas (VASQUEZ, 2003).

Um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento dos fluidos em amplas faixas da taxa de deformação é o modelo da Lei da potência ou de Ostwald-Dewaele (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 1960):

$$\tau = k\gamma^n \quad \text{Equação (2)}$$

em que:

k = índice de consistência [Pa.sⁿ]

n = índice de comportamento do escoamento [adimensional]

Para fluidos pseudoplásticos, o índice de comportamento do escoamento do fluido (n) é menor que a unidade. O valor de n decresce com o aumento do conteúdo de sólidos sendo pouco afetado pela temperatura. O índice de consistência (k) aumenta com o conteúdo de sólidos e geralmente decresce com a temperatura (VASQUEZ, 2003).

Existem fluidos não Newtonianos independentes do tempo que não podem ser representados pelo Modelo da Lei da Potência, pois devido a sua estrutura interna, que impede a deformação, necessita de uma tensão inicial para começar o escoamento. Abaixo dessa tensão o material exhibe características de um sólido e permanece em repouso, e só começa a escoar acima do valor da tensão inicial (VASQUEZ, 2003). O modelo usado para descrever o comportamento desse tipo de fluido é o Modelo de Herschel-Bulkley:

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad \text{Equação (3)}$$

em que:

τ = tensão de cisalhamento [$\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$]

τ_0 = tensão inicial [$\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$]

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}]

k = índice de consistência [Pa.s^n]

n = índice de comportamento do escoamento [adimensional]

Fluidos não newtonianos com propriedades de escoamento dependentes do tempo, que não possuem propriedades elásticas, são subdivididos em tixotrópicos e reopéticos (GOTSCHLICH, 2011). Estes podem ser divididos em duas categorias:

i) Fluido Tixotrópico – são aqueles em que a viscosidade aparente diminui com o tempo de cisalhamento, quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidas constantes. A tixotropia pode ser explicada

pela ocorrência de rupturas estruturais reversíveis, ou seja, a estrutura se recupera com a retirada da tensão aplicada.

ii) Fluido Reopético – são aqueles em que a viscosidade aparente aumenta com o tempo de cisalhamento, mantidas as outras condições constantes (VASQUEZ, 2003).

Muitas dispersões apresentam não apenas um potencial para orientação das moléculas ou partículas, mas também para interações moleculares dependentes do tempo. Esse fato faz com que as ligações criem uma determinada estrutura formada por ligações fracas, as quais se rompem facilmente quando a dispersão é submetida ao cisalhamento por um longo período de tempo. A viscosidade diminui com o tempo de cisalhamento até que atinja o nível mais baixo possível para uma determinada taxa de cisalhamento. Esse comportamento é característico de um fluido tixotrópico. A tixotropia descreve um fenômeno reológico de grande importância industrial (ALBANO, 2012).

Nos ensaios oscilatórios, os materiais são submetidos à deformação (em instrumentos de taxa controlada) ou tensão (em instrumentos de tensão controlada), que varia harmonicamente com o tempo. Este procedimento de ensaio é o método dinâmico mais comum para estudar o comportamento viscoelástico dos alimentos. Os resultados são muito sensíveis à composição química e à estrutura física, de modo que os mesmos são úteis em uma variedade de aplicações, incluindo avaliação da força do gel, acompanhamento da gelatinização do amido, dentre outros (STEFFE, 1996).

Os ensaios reológicos oscilatórios contribuem para a avaliação da estabilidade de emulsões, uma vez que fornecem parâmetros associados ao comportamento estrutural do material, pois neste tipo de ensaio, utiliza baixas taxas de deformação. Como respostas desses ensaios, são obtidos os módulos elástico (G') e viscoso (G''), que são analisados em função da frequência (SATO; CUNHA, 2007).

De acordo com Rao e Tattiyakul (1999), três tipos de testes reológicos dinâmicos podem ser conduzidos para obter as propriedades viscoelásticas dos alimentos, que são:

i) Varredura da frequência, em que o módulo de armazenamento (G') e o módulo de dissipação (G'') são determinados em função da frequência à uma temperatura fixa.

ii) Estudo da temperatura, no qual G' e G'' são determinados em função da temperatura à uma dada frequência.

iii) Variação de G' e G'' em função do tempo à uma temperatura e frequência constantes.

Segundo Steffe (1996) há numerosas áreas onde dados reológicos são necessários na indústria de alimentos:

i) cálculos de engenharia de processos que envolvem uma variedade de equipamentos, como tubulações, bombas, extrusoras, misturadores, trocadores de calor, viscosímetros e outros;

ii) determinação da funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto;

iii) controle de qualidade de produtos finais ou intermediários;

iv) teste de vida de prateleira;

v) avaliação da textura do alimento com análise sensorial;

vi) análises de equações reológicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Sementes de Chia

As sementes são de cultivo nacional provenientes do município de Entre-Ijuís/RS, Brasil, safra 2013. Estas foram limpas manualmente para retirada de materiais estranhos tal como pedras, ciscos e sementes quebradas. As sementes foram armazenadas em recipientes plásticos fechados hermeticamente e armazenados a 5 °C até uso posterior.

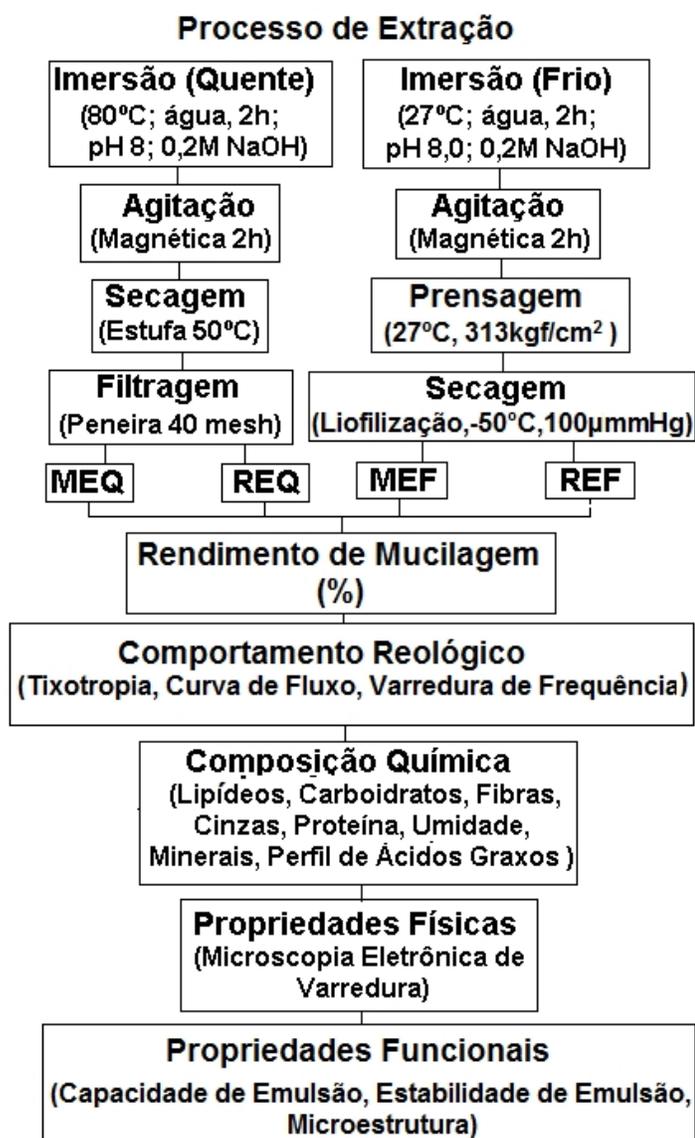
3.2 Extração da mucilagem

O processo de extração e caracterização da mucilagem e seus subprodutos podem ser observados na Figura 6.

3.2.1 Extração a quente

A extração da mucilagem a quente foi baseada na metodologia proposta por Muñoz et al. (2012), seguindo os parâmetros obtidos pelos autores para extração de máximo rendimento. Amostras de 100g de sementes inteiras foram adicionadas em recipientes contendo água destilada na proporção semente:água de 1:40. O pH foi ajustado e mantido no valor 8, e a temperatura mantida a $80 \pm 1,5$ °C utilizando um controlador de temperatura. As misturas foram agitadas magneticamente e hidratadas por 2h. Então a suspensão aquosa foi espalhada em uma bandeja de secagem e exposta a temperaturas de 50 °C por 48h. A mucilagem foi separada da semente por peneiramento em uma tela de malha 40, obtendo-se em seguida o peso da mucilagem.

Figura 6 Fluxograma para extração e caracterização dos subprodutos da semente de chia (MEQ: Mucilagem da Extração a Quente; REQ: Resíduo de Extração a Quente; MEF: Mucilagem da Extração a Frio, REF: Resíduo de Extração a Frio)



3.2.2 Extração a frio

Amostras de 100g de sementes inteiras foram adicionadas em recipientes contendo água destilada na proporção semente:água de 1:10, 1:20, 1:30 e 1:40. O pH foi ajustado e mantido no valor 8 e a temperatura mantida a 27 °C utilizando um controlador de temperatura. As misturas foram agitadas magneticamente e hidratadas por 2h. Após a hidratação realizou-se o congelamento das amostras em um ultrafreezer Sanyo VIP™ Séries (modelo MDF-U53VA) a -86 °C. Já congelados os subprodutos foram secos em liofilizador modelo L101 (Liobras do Brasil Ltda.), sendo realizadas três repetições. A temperatura de operação do liofilizador foi de -50 °C. O término da secagem foi estabelecido após o equipamento atingir a pressão de 100µmmHg, pressão ocorrida após 72h de operação. Após a secagem obteve-se prontamente a mucilagem a qual foi pesada em seguida para cálculo do rendimento.

3.2.3 Rendimento da mucilagem

O rendimento da extração da mucilagem obtida pelos processos de extração a frio e a quente são determinados pela Equação 4:

$$\text{RM (\%)} = \frac{\text{Peso Mucilagem}}{\text{Peso Semente}} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

3.2.4 Reconstituição das mucilagens

Depois de obtidas as mucilagens pelos dois métodos de extração, estas foram reconstituídas em água destilada em diferentes concentrações para análise reológica.

Foram preparadas dispersões em cinco concentrações diferentes da mucilagem obtida por processo de extração a frio, razão Semente: Água 1:20: 1,00; 2,00; 3,00; 4,00 e 5,00 (g de pó/ 100 g de goma). A goma obtida no processo de extração a quente, razão Semente: Água 1:40, foi preparada na concentração de 1,00 g de pó/ 100 g de goma. As gomas foram preparadas com água destilada a 80 °C, sendo agitadas por 30 minutos com auxílio de uma barra magnética em agitador magnético e mantidas em BOD a 4 °C por 24 horas para total hidratação.

3.3 Reologia

O estudo do comportamento reológico das dispersões foi conduzido utilizando-se o reômetro HAAKE RheoStress 6000 (*Thermo Scientific*) acoplado a um controlador de temperatura HAAKE UTM Controller (*Thermo Scientific*). As análises foram realizadas com placas paralelas com 34,997 mm de diâmetro com GAP de 1mm.

Nos ensaios oscilatórios, primeiramente foram realizadas varreduras de tensão para a determinação do intervalo de viscoelasticidade linear.

Com um valor de tensão fixo dentro do intervalo de viscoelasticidade linear, varreduras de frequência de 1,0 a 10 Hz foram efetuadas à temperatura de 20 °C. Para a análise da tixotropia foram aplicadas rampas de rotação variando-se a taxa de deformação.

Foi realizada a análise da influência da temperatura na viscosidade aparente das dispersões, variando-se a temperatura de 10 a 90 °C.

A análise do comportamento reológico das gomas foi feita em todos os tratamentos, com duas repetições cada. Cada teste foi realizado em duplicata.

3.3.1 Tixotropia

A verificação da existência da tixotropia foi feita através da avaliação das curvas de escoamento obtidas variando-se a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) durante um período de tempo, mantendo-se a temperatura constante a 20 °C.

Os parâmetros de programação utilizados para quantificar o valor de tixotropia foram:

- (i) rampa de aumento de taxa de deformação de 0 a 300 (s^{-1}) por um período de 2 minutos;
- (ii) rampa de redução da taxa de deformação de 300 a 0 (s^{-1}) por um período de 2 minutos.

3.3.2 Curva de fluxo

A curva de fluxo foi obtida através de uma curva de escoamento variando-se a taxa de deformação de 0 a 300 s^{-1} durante um período de 2 minutos à temperatura de 20 °C.

3.3.3 Varredura de frequência

A varredura de frequência foi realizada através de um teste oscilatório com tensão de cisalhamento fixa de 0,01 Pa variando-se a frequência entre 1 a 10 Hz. A tensão de cisalhamento de 0,01 Pa foi determinada através de pré-testes verificando-se a viscoelasticidade linear.

O teste de viscoelasticidade linear mostra a máxima tensão que se pode aplicar a um material sem que ocorra a ruptura da sua estrutura interna.

Na região viscoelástica linear não é observada dependência da deformação e da tensão em relação à frequência.

A obtenção das leituras foi realizada de forma logarítmica.

3.4 Coloração

Os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* foram medidos por refratometria, utilizando-se colorímetro marca Minolta, modelo CR 400, no sistema da *Commission Internationale de Eclairage* (CIE). A coordenada L^* mede a claridade ou luminosidade da amostra, variando entre o preto (0) e o branco (100). As coordenadas a^* e b^* definem a cromaticidade da amostra, sendo que o a^* corresponde à variação de cor do vermelho (+100) ao verde (-80) e o b^* indica a variação de cor da amostra do azul (-50) ao amarelo (+70). Os valores de a^* e b^* obtidos pela leitura das dispersões foram empregados no cálculo da cromaticidade e da tonalidade, conforme recomendações de McGuire (1992).

3.5 Caracterização da matéria-prima e subprodutos

A seguir serão apresentados os parâmetros utilizados para caracterização da matéria-prima e subprodutos da semente de Chia, sendo estes a composição centesimal, caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microanálise de Raios-X e Perfil de Ácidos Graxos.

3.5.1 Composição centesimal

A chia e seus subprodutos foram caracterizados física e quimicamente quanto aos parâmetros, umidade, lipídeos, proteína, cinzas, fibra bruta e extrato não nitrogenado.

Todos os parâmetros foram analisados no Laboratório Central de Análises do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA.

3.5.1.1 Umidade

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico com secagem em estufa de esterilização regulada a 65 °C, por 48 horas (tempo gasto para atingir o peso constante), de acordo com metodologia proposta pela Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem (% ou g de umidade/100 g de produto).

3.5.1.2 Lipídeos

O teor de lipídeos da semente de chia e seus subprodutos foram determinados pelo método de Soxhlet, utilizando-se éter etílico como solvente, conforme metodologia descrita pela AOAC (1990), expressando-se os resultados em porcentagem (% ou g de lipídeos/100 g de produto).

3.5.1.3 Proteína bruta

Para a determinação do conteúdo de proteína bruta presente no hidrocoloide e seus subprodutos, adotou-se o método microkjeldhal, utilizando-se o fator de conversão (de nitrogênio em proteína) igual a 6,25, de acordo a AOAC (1990). Os resultados foram dados em porcentagem (% ou g de proteína bruta/100 g de produto).

3.5.1.4 Cinzas

O conteúdo de cinzas, ou resíduo mineral fixo, foi determinado pelo método gravimétrico, baseado na determinação da perda de peso do material submetido ao aquecimento a 550 °C, como descrito em AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem (% ou g de cinzas/100 g de produto).

3.5.1.5 Fibra bruta

O conteúdo de fibra bruta foi extraído por hidrólise ácida e quantificada por gravimetria, de acordo com metodologia proposta por Kammer e Ginkel (1952), com os resultados dados em porcentagem (% ou g de fibra bruta/100 g produto).

3.5.1.6 Extrato não nitrogenado

O extrato não nitrogenado foi determinado pela diferença entre 100 e a soma dos demais componentes centesimais: umidade, lipídeos, proteína bruta, cinzas e fibra bruta, de acordo com a AOAC (1990).

3.5.2 Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras foram preparadas e fotografadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural – LME da UFLA, Lavras- MG. A semente de chia, suas mucilagens e subprodutos obtidos foram montados em suportes de alumínio *stubs* com fita de carbono, revestidos por uma película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em MEV LEO Evo40. Diversas

imagens das amostras foram registradas digitalmente, em aumentos variáveis, e processadas no Software Photopaint[®] do pacote Corel Draw 12[®].

3.5.3 Microanálise de Raios-X

A chia e seus subprodutos foram aderidos sobre suportes de alumínio "*stubs*" com o auxílio de fita adesiva de carbono dupla-face e devidamente identificados. Esses espécimes foram mantidos em dessecador contendo sílica gel por 24 horas para desidratação. Posteriormente, foram levados ao aparelho "*sputtering*" (MED 010) (Balzers, Liechtenstein) e cobertos com camada de carbono. Posteriormente, as amostras foram observadas em MEV (Leo Evo 40 XVP) (Leo Electron Microscopy, Cambridge, UK), acoplado ao sistema de detecção MAX: EDS-X Flash Detector 5010 (Bruker, Berlin, Germany) e analisado usando o software, ESPIRIT 1.9 (Bruker).

Foram delimitados perfis sobre as amostras representando áreas homogêneas. Nesses perfis foi realizado mapeamento qualitativo dos elementos minerais constituintes dos tecidos das amostras. Também foi quantificada a distribuição dos elementos minerais ao longo de uma linha (100 pontos) traçada no perfil. As imagens foram geradas e capturadas digitalmente, nas condições de trabalho de 20 Kv, distância de 8,5 mm, aumento de ± 80 vezes e Kcps variando entre 3 e 4.

Os dados da quantificação dos nutrientes minerais (%) por ponto foram tabulados utilizando-se o software Microsoft[®] Excel[®] 2010. Os minerais que apresentaram variação na sua distribuição ao longo do perfil foram selecionados e preparados gráficos de distribuição desses elementos. As imagens foram diagramadas no Software Photopaint[®] do pacote Corel Draw 12[®] e os gráficos preparados utilizando-se o programa SigmaPlot[®] versão 12.0.

3.5.4 Perfil de ácidos graxos

Os ácidos graxos foram extraídos das amostras de acordo com a metodologia proposta por Folch, Lees e Sloane-Stanley (1957). Para tanto, foram homogeneizados 5 gramas de amostra liofilizadas com 50 mL de solução clorofórmio/metanol (2:1) + butilhidroxitolueno ($0,025\text{g.L}^{-1}$) por aproximadamente 3 minutos em politron na velocidade média. Após homogeneização, a amostra foi filtrada utilizando filtros semiquantitativos (de filtração rápida), transferindo-se o filtrado ao funil de separação (500 mL), ao qual foram acrescentados 10 mL de solução de cloreto de potássio (KCl 0,72%); após agitação manual, a solução permaneceu em repouso por 3 horas. Após o repouso, foi observada a formação de duas fases com diferentes polaridades (polar e apolar). A parte polar foi descartada do funil de separação, restando apenas a parte apolar. À parte remanescente foram acrescentados 6 mL de solução de cloreto de potássio (KCl 0,72%), permanecendo 12 horas em repouso. Após esse período, novamente foi descartada a parte polar, recolhendo-se a parte apolar em balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com clorofórmio.

Para a esterificação, 5 mL da solução obtida ao final das etapas anteriormente descritas foram transferidos para tubo de centrífuga falcon. Logo em seguida, o clorofórmio foi evaporado em banho-maria (45-55 °C) com nitrogênio gasoso. Foram adicionados 4 mL de NaOH 0,5M em metanol, levando-se, na sequência, a amostra ao banho fervente por 5 minutos, resfriando-se o material em água gelada. Em seguida, foram adicionados 5 mL de reagente esterificante, o qual foi levado por mais 5 minutos ao banho fervente e novamente resfriado em água gelada. Após resfriamento, foram adicionados 4 mL de NaCl saturado e 5 mL de hexano. Os sistemas ficaram em repouso por 10 minutos. A parte sobrenadante foi recolhida para frasco âmbar. Evaporou-se o hexano com nitrogênio gasoso, em banho-maria a 45-55 °C.

Os ésteres resultantes da etapa de esterificação foram submetidos à análise de cromatografia gasosa em aparelho SHIMADZU GC 2010, com detector de ionização em chama (FID), utilizando-se coluna capilar (100m x 0,25 mm x 0,2µm). Foram utilizadas as seguintes condições cromatográficas:

- Injetor: trabalhando no modo “*split*”, utilizando o hélio com gás de arraste, num fluxo de 1,09 mL.min⁻¹. Injetando 1µL de amostra, sendo o tempo de corrida de 60 min.

- Coluna: temperatura inicial de 140 °C, mantendo-se nessa temperatura por 5 minutos, elevando-se a uma taxa de 4 °C.min⁻¹ até 240 °C. A fase estacionária da coluna foi composta por bis-cianopropil polisiloxano.

A identificação dos ácidos graxos foi feita por comparação dos tempos de retenção dos ésteres contidos por padrão Supelco TM 37 FAME MIX com as amostras.

3.6 Propriedades tecnológicas

A seguir serão apresentados os processos e parâmetros utilizados na determinação das propriedades tecnológicas da mucilagem da semente de Chia, tal como a Elaboração das Emulsões, Capacidade Emulsificante, Estabilidade da Emulsão e Microscopia Ótica.

3.6.1 Elaboração das emulsões

As emulsões foram preparadas contendo 10g de óleo de soja comercial (Mazola) e 40g de mucilagem. A amostra foi submetida a um agitador mecânico (Marca Ika Labortechnik RW.20) por 5 minutos e em seguida foi homogeneizada em um triturador (Tecnal TE102) na velocidade de 20500 rpm por 5 minutos.

3.6.2 Capacidade emulsificante

A capacidade de formação de emulsão foi determinada segundo Lima Júnior et al. (2013). Foi preparada uma emulsão contendo 10g de óleo de soja comercial (marca Mazola) e 40g de goma. A amostra foi submetida a um agitador mecânico (Marca Ika Iabortechnik, modelo RW.20, Alemanha) por 5 minutos e em seguida foi homogeneizada em um triturador (marca Tecnal, modelo TE102, Brasil) na velocidade de 20500 rpm por 5 minutos. A capacidade de emulsão foi determinada pela Equação 5.

$$CE(\%) = \frac{\text{Volume de Emulsão}}{\text{Volume Total de Fluido}} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Em que o volume de emulsão, é o volume após a agitação mecânica e homogeneização e o volume total do fluido é o volume após o óleo de soja e a goma serem pesados juntos.

3.6.3 Estabilidade da emulsão

Processos de desestabilização pela ação da gravidade são acelerados quando as amostras são submetidas à centrifugação, permitindo avaliar a estabilidade das emulsões frente a este tipo de procedimento (BONTORIM, 2009).

A estabilidade da emulsão, formada a partir da goma dos hidrocoloides, foi determinada segundo Lima Júnior et al. (2013). As emulsões preparadas foram deixadas em repouso por 30 minutos. Posteriormente as amostras foram levadas a uma centrífuga refrigerada (Labor SP-701, Presidente Prudente - SP, Brasil) com rotação programada em 2700 rpm (1271 x g) por 10 minutos, temperatura de 20 °C e medido o volume final. A estabilidade da emulsão e dada pela Equação 6.

$$EE(\%) = \frac{\text{volume de emulsão final}}{\text{volume total de fluido}} \times 100 \quad \text{Equação (6)}$$

Em que o volume de emulsão final, é o volume após a desestabilização da mesma na centrífuga e o volume total do fluido é o volume após o óleo de soja e a goma serem pesados juntos.

3.6.4 Microscopia ótica

A microestrutura e a estabilidade das emulsões foram analisadas através de um microscópio óptico (ML Meiji 5000, Meiji Techno América, Santa Clara, CA, EUA), com uma câmera de vídeo em anexo (Cole-Palmer 49901-35, Cole-Palmer, Vernon Hills, IL, EUA). O microscópio se encontra no Laboratório de Refrigeração de Alimentos, do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. Foram feitas imagens da emulsão após o seu preparo e após a centrifugação para determinação da estabilidade. As imagens foram obtidas utilizando-se a objetiva de aumento de 10x.

3.7 Análise estatística

Para avaliar as diferenças na composição centesimal utilizou-se o Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC), com 3 repetições por tratamento.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o teste de Scott-Knott ou regressão, dependendo da finalidade da análise, adotando-se 5% como nível crítico de probabilidade para ocorrência do erro tipo I, por meio do *software* estatístico SAS licenciado pela Universidade Federal de Lavras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Extração da mucilagem

Observa-se a partir da Tabela 3 o rendimento de extração de mucilagem (%) em função da razão semente:água em diferentes processos. Não houve diferença estatística entre os tratamentos com proporção semente:água 1:20, 1:30 e 1:40, os quais apresentaram os maiores rendimentos, 8,46%, 8,65% e 8,31%, respectivamente. Estes valores ótimos são superiores aos observados por Reyes-Caudillo, Tecante e Valdivia-López (2008), 6%, Ayerza e Coates (2001), 5% e Muñoz et al. (2012), 6.97%, porém inferiores aos observados por Marin Flores et al. (2008) de 15,1% (todos apresentam, pelo menos, uma etapa a quente).

Tabela 3 Rendimento de mucilagem extraído em diferentes métodos de extração e proporção água:semente

Método de Extração	Razão Chia:Água	Rendimento de Mucilagem (%)
MEF	1:10	4,76a
MEF	1:20	8,46c
MEF	1:30	8,65c
MEF	1:40	8,31c
MEQ	1:40	6,42b

^{a-c} Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatística ($p < 0,05$).

Legenda: MEF: Mucilagem Extração a Frio; MEQ: Mucilagem Extração a Quente.

Os resultados sugerem que a partir da razão semente:água 1:20 não se observa ganhos significativos no rendimento até a razão estudada de semente:água 1:40. Este efeito pode estar relacionado ao fato de que a separação da mucilagem da semente é feita através de prensagem controlada entre 281,7 a 313kgf/cm² nestes tratamentos, o que auxilia a separação entre a mucilagem e a semente se

comparado ao método de peneiramento das sementes para separação da mucilagem. Munõz et al. (2012), estudando o rendimento de extração da mucilagem de semente de chia observaram rendimento ótimo de 6,97% à temperatura de 80 °C, pH 8,0 e razão semente:água 1:40, onde a separação da mucilagem foi feita por peneiramento. Nestas mesmas condições de processo, observou-se neste estudo rendimento de 6,42%, resultado semelhante ao obtido pelos autores.

Já o tratamento de razão semente:água 1:10 foi o que apresentou o menor rendimento, com rendimento médio de 4,76%. Este resultado pode estar associado ao mecanismo de liberação da mucilagem quando em contato com a água, dependente do nível de hidratação. Vázquez-Ovandro et al. (2009) observaram capacidade de absorção máxima de água em uma fração fibrosa extraída da semente chia de 11,73g de água/g amostra. Segundo os autores, a hidratação é inicialmente um fenômeno superficial, mas em maiores níveis de hidratação a absorção pode ocorrer dentro da estrutura, o que leva ao inchaço e eventual solubilização do material fibroso. Neste sentido, a razão semente:água de 1:10 pode não ter sido suficiente para completa hidratação da semente, limitando assim o processo de extração. Segundo Muñoz et al. (2012), a mucilagem está presente no interior do tegumento da célula epidérmica de sementes maduras de chia, que quando entram em contato com a água, se expande imediatamente causando a ruptura da camada de célula primária que se projeta a partir destas células epidérmicas vizinhas, assim circundando a semente. Para Windsor et al. (2000), possivelmente a mucilagem situa-se no exterior das células que formam o revestimento da semente, chamados de células mucilaginosas.

No processo de extração a quente houve dificuldade em separar a semente da bandeja, a qual aderiu fortemente, assim como em peneirar a semente. A mucilagem seca por liofilização não adere à superfície do recipiente de secagem, sendo removida prontamente sem qualquer esforço.

Por ser prontamente solúvel em água fria, incolor, inodora, atuar como espessante e apresentar pH ótimo de extração próximo ao neutro (pH 8,0), a mucilagem obtida no processo de extração a frio apresenta características ideais para ser aplicada como espessante de água e alimentos líquidos no tratamento de pacientes com disfagia, termo médico para dificuldade em engolir. De acordo com Cichero (2013), líquidos espessados são frequentemente utilizados no tratamento da disfagia para melhorar o controle de bolus e para ajudar a impedir a aspiração. Uma gama de amidos e gomas tem sido historicamente utilizada para espessar líquidos. Estes espessantes com características e usos específicos atingem elevados preços de mercado.

4.2 Reologia

A seguir serão apresentados os parâmetros utilizados no estudo do comportamento reológico da mucilagem da semente de Chia.

4.2.1 Caracterização do comportamento reológico

Os dados obtidos foram ajustados aos modelos reológicos Lei de Newton, Lei da Potência e Herschell-Buckley.

Na Tabela 4 encontram-se os dados de viscosidade (μ) obtidos através da Lei de Newton, índice de consistência (K) e índice de comportamento de fluxo (n) obtidos através da Lei da Potência, além dos dados índice de consistência (K), índice de comportamento de fluxo (n) e tensão inicial (t), obtidos pelo modelo Herschell-Buckley. Esses parâmetros foram obtidos ajustando-se os dados experimentais de taxa de deformação e tensão de cisalhamento das curvas ascendentes, ou seja, aquelas em que a taxa de deformação aumenta.

Todos os parâmetros reológicos dos modelos Lei de Newton e Lei da Potência foram significativos para todos os tratamentos ($p < 0,01$). Já o modelo de Herschell-Buckley não apresentou os parâmetros significativos para todos os tratamentos.

Sendo assim, analisando-se os coeficientes de correlação, os valores de quadrado médio do resíduo e a significância dos parâmetros, o modelo que melhor explica os dados experimentais obtidos é a Lei da Potência, por apresentar os maiores coeficientes de correlação ($R^2 > 98,5$), os menores valores de quadrado médio do resíduo e todos os parâmetros significativos.

Os parâmetros do modelo reológico Lei da Potência, índice de consistência (k) e índice de comportamento de fluxo (n), foram analisados através de análise de variância e os parâmetros que apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$) foram analisados pelo teste de média Scott-Knott.

Observa-se a partir da análise estatística que as formas de extração das mucilagens a quente e a frio e as diferentes concentrações não influenciam no índice de consistência, não existindo diferença nesse parâmetro nas diferentes gomas, sendo a média geral 0,15833.

Tabela 4 Parâmetros de viscosidade, índice de consistência e índice de comportamento de fluxo

		Lei de Newton ($\tau = \mu\dot{\gamma}$)			Lei da Potência ($\tau = K\dot{\gamma}^n$)				Herschell-Buckley ($\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$)				
		R ²	QMR	μ	R ²	QMR	K	n	R ²	QMR	K	n	t
ME	1:10	0,9448	0,7216	0,039918*	0,9869	0,3444	0,144804*	0,760209*	0,9873	0,3408	0,104512*	0,81251*	0,361208
	1:20	0,9651	0,4079	0,02795*	0,9964	0,1283	0,089191*	0,784061*	0,834	0,8728	-991,568	-0,00221	985,5647
	1:30	0,9392	0,9146	0,049585*	0,9983	0,1488	0,227714*	0,716494*	0,9987	0,13	0,165417	0,767465	0,46076
	1:40	0,9251	1,2382	0,061122*	0,9989	0,1439	0,324265*	0,688788*	0,9993	0,1195	0,242884*	0,734828*	0,519402*
	MEQ	0,9076	1,384	0,003123	0,9086	1,371	0,004679*	0,9247*	0,9113	1,332	0,002245*	1,0445*	0,0534
C	1,0%	0,9236	0,8501	0,041052*	0,9858	0,3542	0,199345*	0,705687*	0,9866	0,3474	0,132582*	0,770895*	0,476567
	2,0%	0,8794	3,6491	0,145672*	0,999	0,3253	1,042163*	0,63278*	0,999	0,3266	1,050307*	0,631565*	-0,03851
	3,0%	0,8585	5,3362	0,199144*	0,9967	0,775	1,699349*	0,601117*	0,9971	0,728	1,288348*	0,644296*	1,844719*
	4,0%	0,8060	11,6836	0,388377*	0,9888	2,7007	3,783051*	0,573608*	0,9888	2,6989	3,295933*	0,594929*	1,881511
	5,0%	0,7489	19,3384	0,580439*	0,9980	1,6356	6,975063*	0,534721*	0,9981	1,6184	7,724198*	0,519322*	2,38371

τ = tensão de cisalhamento; μ = viscosidade (Pa.s⁻¹); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento de fluxo (adimensional); τ_0 = tensão inicial (Pa); $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação. R² = coeficiente de determinação; QMR = quadrado médio do resíduo.

*Parâmetros significativos (p<0,01). Legenda: ME: Método de Extração, C: Concentração, MEQ: Mucilagem Extração a Quente.

Já o índice de comportamento de fluxo apresentou diferença entre as mucilagens extraídas das diferentes formas. As médias de n estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 Valores do índice de comportamento de fluxo das mucilagens extraídas em diferentes métodos de extração e razão água:semente

Método de Extração	Razão Semente:Água	n
MEQ	1:40	0,9448a
MEF	1:10	0,7788b
MEF	1:20	0,7599b
MEF	1:30	0,7147b
MEF	1:40	0,6904b

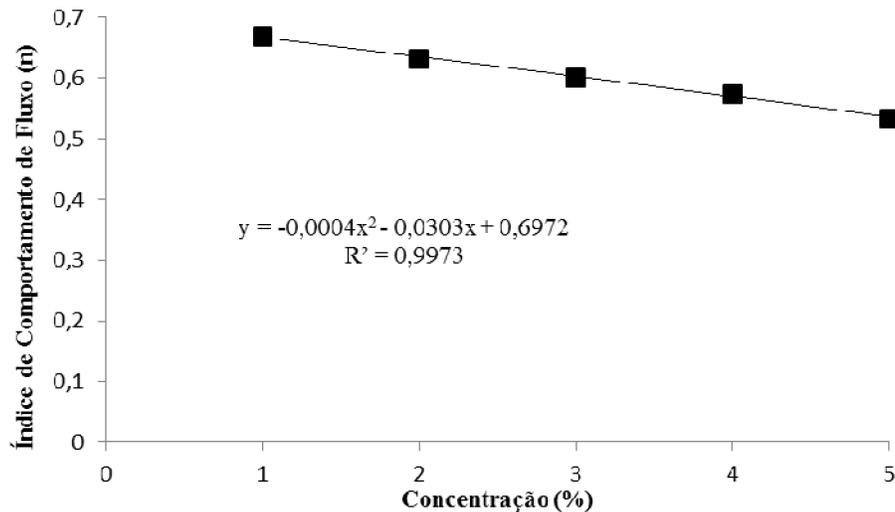
Legenda: MEQ: Mucilagem Extração a Quente; MEF: Mucilagem Extração a Frio.

A goma extraída a quente apresentou o maior valor de n , sendo a goma que apresenta o comportamento mais próximo do comportamento newtoniano no qual o índice de comportamento de fluxo é 1.

A partir da análise estatística observa-se que as concentrações utilizadas no preparo das dispersões apresentam influência significativa nos parâmetros k e n do modelo reológico Lei da Potência.

Os gráficos representados nas Figuras 7 e 8 ilustram os dados observados e a linha de ajuste para os parâmetros n e k respectivamente, em relação às concentrações de hidrocoloides utilizadas no preparo das gomas.

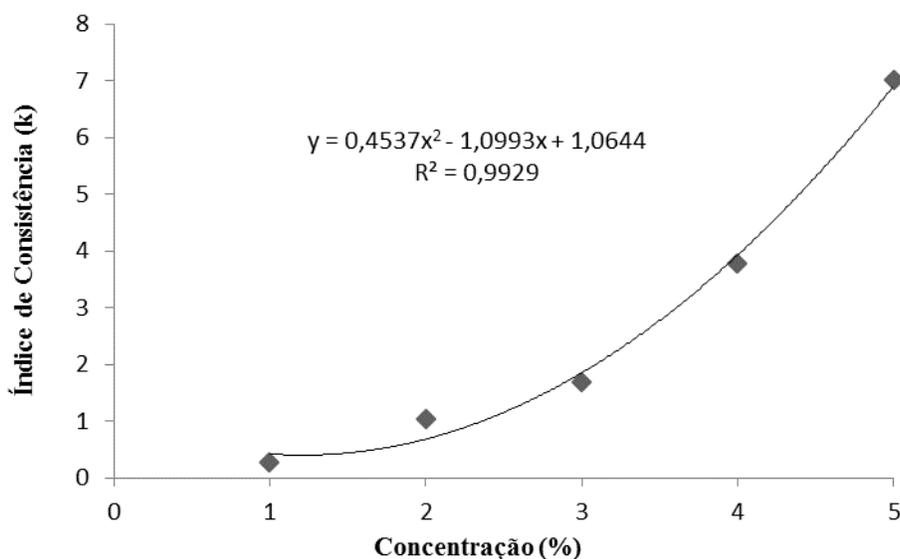
Figura 7 Valores de índice de comportamento de fluxo em relação às concentrações da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:água 1:20



O aumento na concentração das gomas reduz os valores do índice de comportamento de fluxo. Segundo Wu et al. (2009) em geral com o aumento da concentração o valor de n tende a cair, chegando a faixas de 0,15 a 0,25 em concentrações muito elevadas. Assim, verificou-se que com o aumento na concentração as gomas afastam-se do comportamento newtoniano.

Já o índice de consistência aumenta com o aumento da concentração utilizada no preparo das gomas, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8 Valores de índice de consistência em relação às concentrações da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:Água 1:20



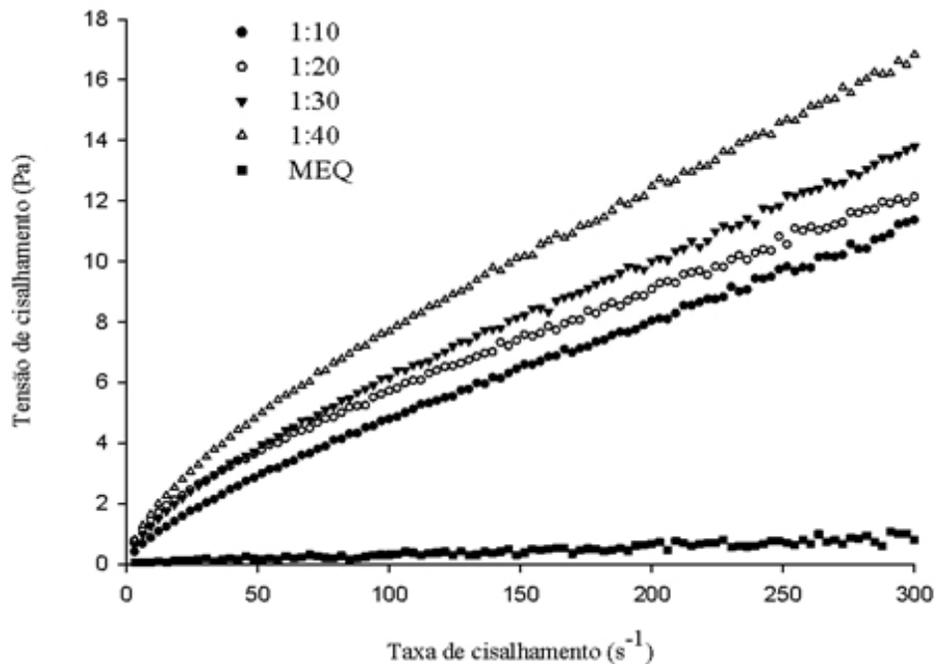
O índice de consistência é um parâmetro que também informa a viscosidade de um fluido. Por isso, segundo Vasques (2003) o índice de consistência aumenta com o conteúdo de sólidos e decresce com a temperatura, como verificado neste trabalho.

Wu et al. (2015) ao estudar as propriedades reológicas da goma extraída da tara (*Caesalpinia spinosa*) verificaram que o aumento da concentração de goma (entre 0,2% e 1,0%, peso/volume) conduziu a um aumento do coeficiente de consistência (k), (0,02-5,96, Pa.sⁿ) e diminuição do valor de n (0,87-0,44), o que representa maior saída do fluxo de comportamento newtoniano. Segundo os autores, os resultados indicaram que a natureza pseudoplástica de solução de goma de tara foi mais pronunciada com o aumento da concentração de goma, assim como observado com a goma extraída da chia.

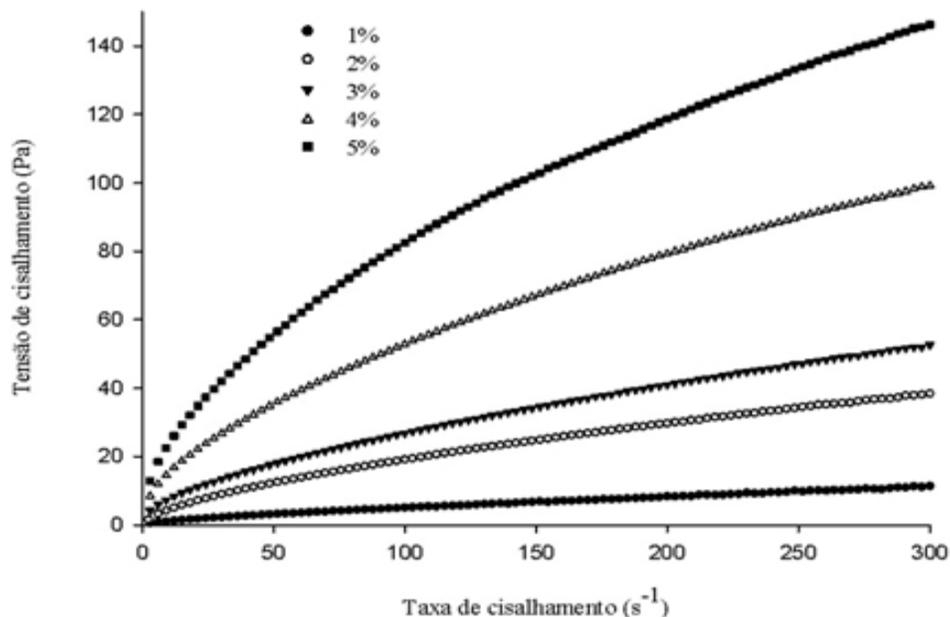
Na Figura 9 (a) e (b) podemos observar a variação da tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento nos tratamentos obtidos pelos diferentes métodos de extração e nas diferentes concentrações, respectivamente.

Os reogramas confirmam que as gomas analisadas apresentam comportamento típico de fluidos não newtonianos, ou seja, a relação entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento não é linear. Pode-se verificar a partir dos reogramas que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento forma uma curva convexa, o que segundo Scharma, Mulvaney e Rizvi (2000), caracteriza um fluido pseudoplástico. Os fluidos pseudoplásticos constituem a maior parte dos fluidos não newtonianos.

Figura 9 Reogramas da relação taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento (a) diferentes métodos de extração (b) diferentes concentrações da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:Água 1:20



(a)



(b)

A grande maioria das gomas apresenta comportamento pseudoplástico. Segundo Samavati e Skandari (2014), a pseudoplasticidade é o resultado de um efeito de orientação. Como a taxa de cisalhamento é aumentada, as moléculas dos polímeros, que são longas cadeias posicionadas aleatoriamente, tornam-se cada vez mais alinhadas na direção de fluxo, resultando em menor interação entre as cadeias de polímero adjacentes. Os autores encontraram comportamento semelhante para a goma extraída dos frutos da espécie vegetal *Assyrian pulm*.

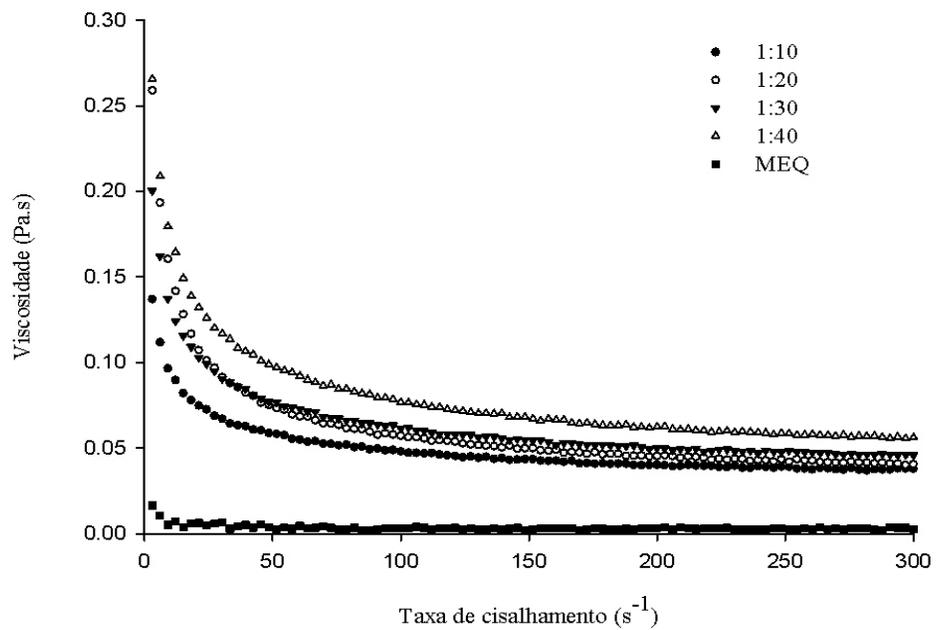
Os reogramas representados na Figura 10 (a) e (b) mostram o comportamento da viscosidade aparente com a variação da taxa de cisalhamento, nas gomas extraídas com diferentes proporções de água e nas gomas preparadas em diferentes concentrações, respectivamente.

O termo “viscosidade” é usado somente para fluidos Newtonianos. No caso das emulsões analisadas, que foram classificadas como fluidos não

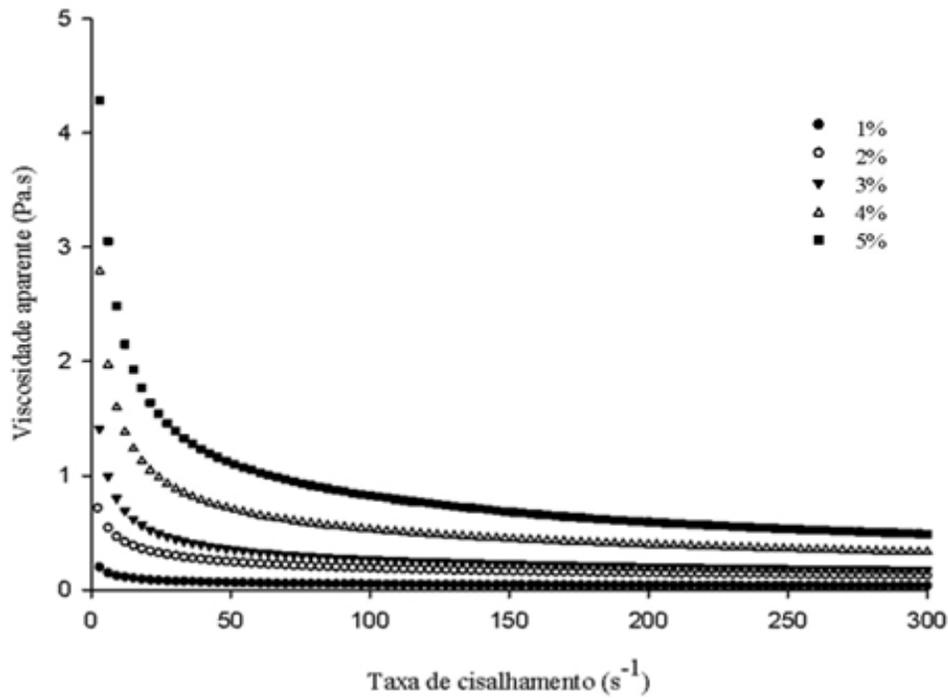
Newtonianos, a viscosidade é avaliada a uma dada taxa de deformação e é denominada “viscosidade aparente”.

Segundo Vasques (2003) o conceito de viscosidade aparente não é muito útil para projetos, já que varia com a taxa de deformação. Entretanto, é um dado procurado pelas indústrias para controle de qualidade dos produtos.

Figura 10 Reogramas da relação viscosidade e taxa de deformação (a) método de extração (b) concentração da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:Água 1:20



(a)



(b)

Pode-se verificar claramente pelos reogramas que a viscosidade aparente das gomas diminui com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada. Apenas na goma extraída por tratamento a quente o comportamento não é tão evidente, possivelmente pela degradação das cadeias proteicas e de polissacarídeos com o uso do calor.

Segundo Holdsworth (1971) o comportamento evidenciado nos reogramas ocorre porque estes fluidos apresentam as moléculas desordenadas quando estão em repouso, as quais começam a se ordenar com a tensão aplicada. Sendo assim, quanto maior a tensão aplicada, maior é a ordenação e consequentemente menor é a viscosidade aparente.

Além disso, com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada os polímeros podem se desintegrar e alinharem-se ao fluxo, oferecendo menor

resistência a este, ou pode ocorrer a quebra de possíveis agregados coloidais, o que também resultaria em uma diminuição nos valores de viscosidade aparente (CAMPANELLA; DORWARD; SINGH, 1995).

A viscosidade aparente das gomas foi analisada sob taxa de deformação fixa 100s^{-1} . O parâmetro foi avaliado nessa taxa de deformação porque é típica para no processamento de alimentos, tais como o fluxo através de tubos na indústria, processos de agitação e mastigação (McCLEMENTS, 2005).

A Tabela 6 ilustra as médias observadas de viscosidade aparente a 100s^{-1} para as gomas extraídas pelos diferentes métodos.

Tabela 6 Valores de viscosidade aparente sob taxa de cisalhamento de 100s^{-1} fluxo das mucilagens extraídas em diferentes métodos de extração e razão Semente:Água

Método de Extração	Razão Semente:Água	Viscosidade Aparente
MEQ	1:40	0,0031 a
MEF	1:10	0,0480 b
MEF	1:20	0,0573 b
MEF	1:30	0,0615 b
MEF	1:40	0,0768 b

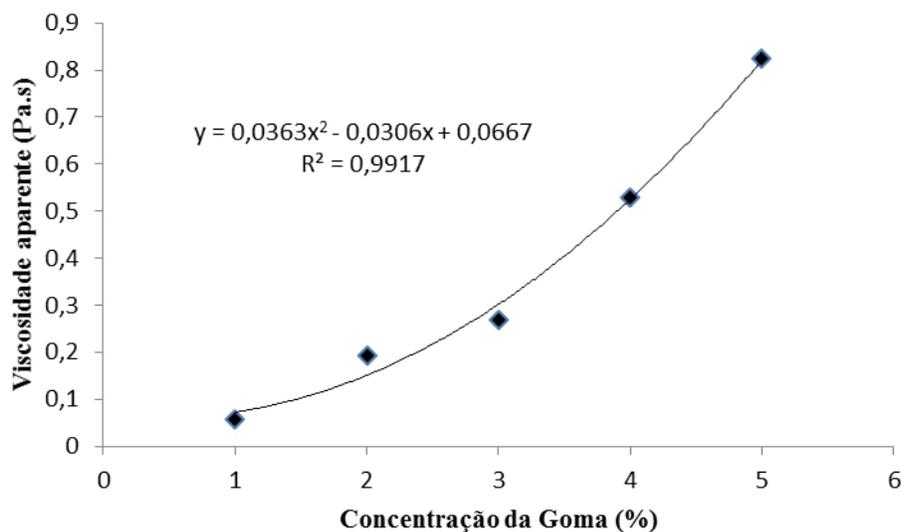
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($p>0,05$).

Legenda: MEQ: Mucilagem Extração a Quente; MEF: Mucilagem Extração a Frio.

Pode-se verificar que as gomas extraídas a frio não apresentam diferença significativa nos valores de viscosidade aparente, mostrando que a quantidade de sólidos extraídos não muda quando se muda a quantidade de água utilizada na extração das gomas. Já a goma extraída a quente apresenta a menor viscosidade aparente sob a taxa de cisalhamento estudada.

A influência da concentração das gomas na viscosidade aparente, estudada a taxa de cisalhamento de 100s^{-1} está representada na Figura 11.

Figura 11 Relação entre a concentração das gomas e a viscosidade aparente da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:Água 1:20



Os dados foram ajustados a uma regressão de segundo grau, obtendo-se um coeficiente de correlação de 99,17% e os parâmetros da equação significativos ($p < 0,01$).

Pode verificar pelo gráfico que a viscosidade aparente aumenta com o aumento da concentração das gomas, isso ocorre porque em maiores concentrações tem-se uma maior retenção de água e uma maior quantidade de ligações intermoleculares, o que resulta em uma maior viscosidade.

4.2.2 Tixotropia

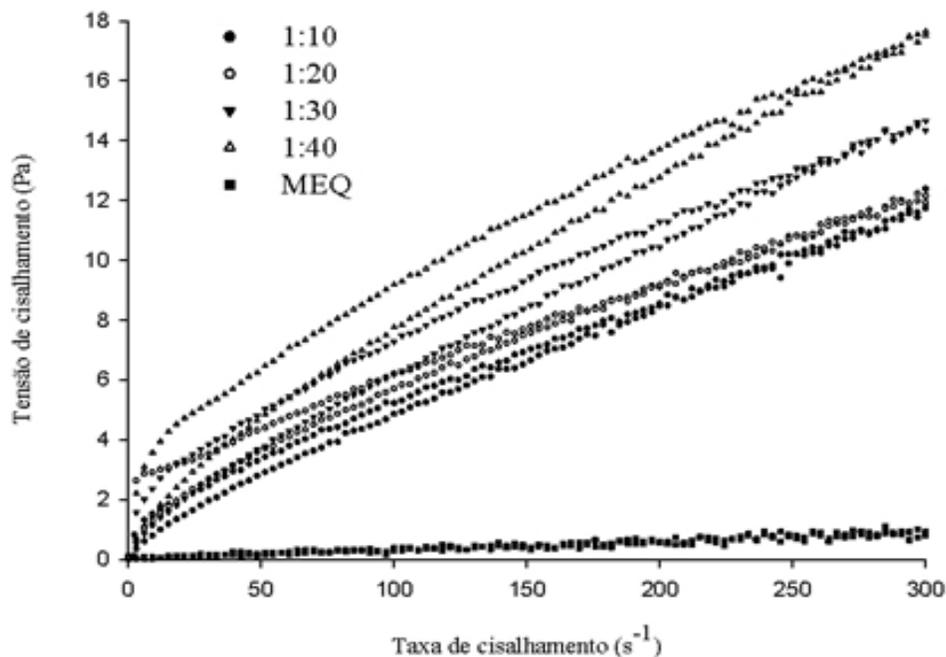
A existência de tixotropia revela a existência de uma estrutura interna que após a destruição a que é sujeita pela tensão de corte, não se refaz do mesmo modo como existia inicialmente, no tempo de análise considerado. Esse comportamento

revela a existência de elasticidade dos materiais, a quantidade de energia acumulada e dissipada pelo sistema, como resultado da deformação, não é igual (ALVES, 2003).

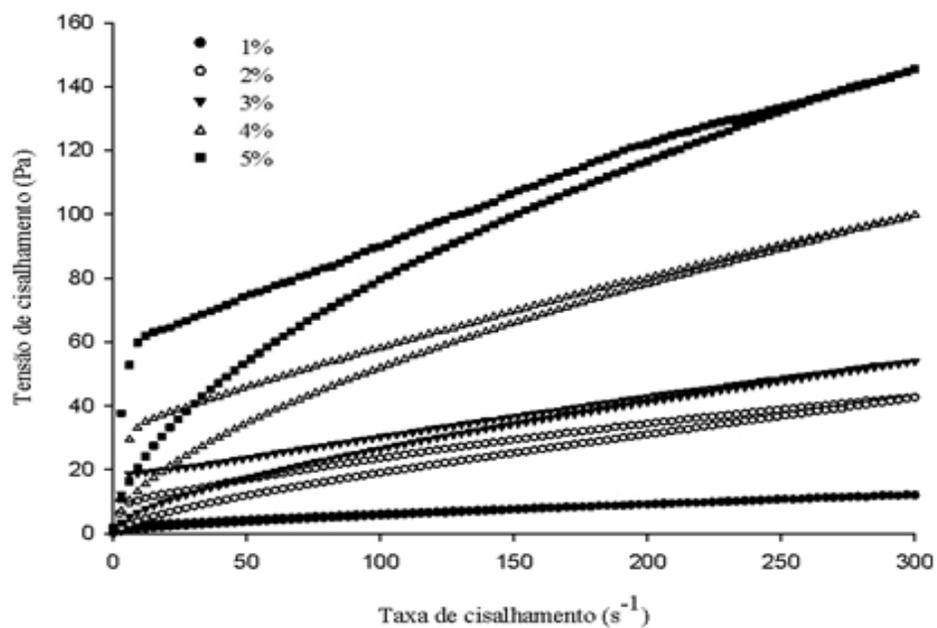
A análise do comportamento tixotrópico foi realizada aplicando-se às gomas aumento de tensão de cisalhamento e a posterior redução da tensão sob uma taxa de deformação constante. O comportamento tixotrópico das gomas foi quantificado através da área existente entre as curvas de subida (aumento da tensão de cisalhamento) e descida (redução da tensão de cisalhamento).

Os reogramas da Figura 12 (a) e (b) mostram o estudo do comportamento tixotrópico das gomas extraídas pelos diferentes métodos de extração e das gomas preparadas em diferentes concentrações, respectivamente.

Figura 12 Reogramas obtidos pelas curvas de escoamento com aumento e redução da tensão de cisalhamento aplicada sob taxa de deformação constante (a) Métodos de extração (b) Concentrações da mucilagem obtida no processo de extração a frio razão Semente:Água 1:20



(a)



(b)

O valor da tixotropia obtido pela diferença entre as áreas está representado na Tabela 7.

Tabela 7 Tixotropia em função dos diferentes métodos de extração e concentração

Método de Extração	Razão Chia:Água	Tixotropia (Pa.s ⁻¹)
MEQ	1:40rrr	10 a*
MEF	1:10	83b
MEF	1:20	104b
MEF	1:30	238 c
MEF	1:40	333 d
MEF	1%	105a*
MEF	2%	995b
MEF	3%	1120b
MEF	4%	1628 b
MEF	5%	3097 c

*Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada tratamento, não diferem entre si.
 Legenda: MEQ: Mucilagem Extração a Quente; MEF: Mucilagem Extração a Frio.

Através da análise estatística pode-se verificar que dentro dos métodos de extração a goma extraída com maior quantidade de água é a que apresenta o comportamento tixotrópico mais evidente. Já entre as gomas preparadas com as diferentes concentrações a goma mais concentrada é a que apresenta maior valor de tixotropia.

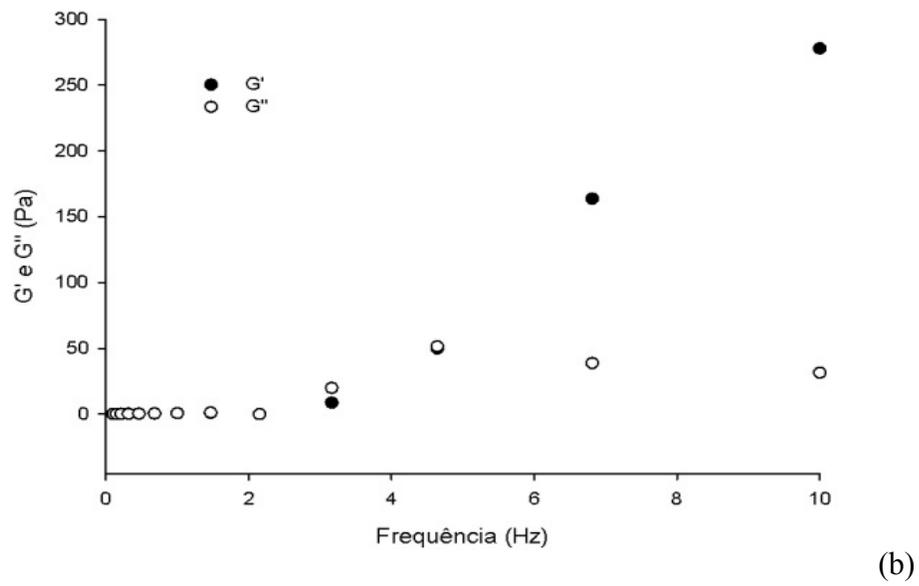
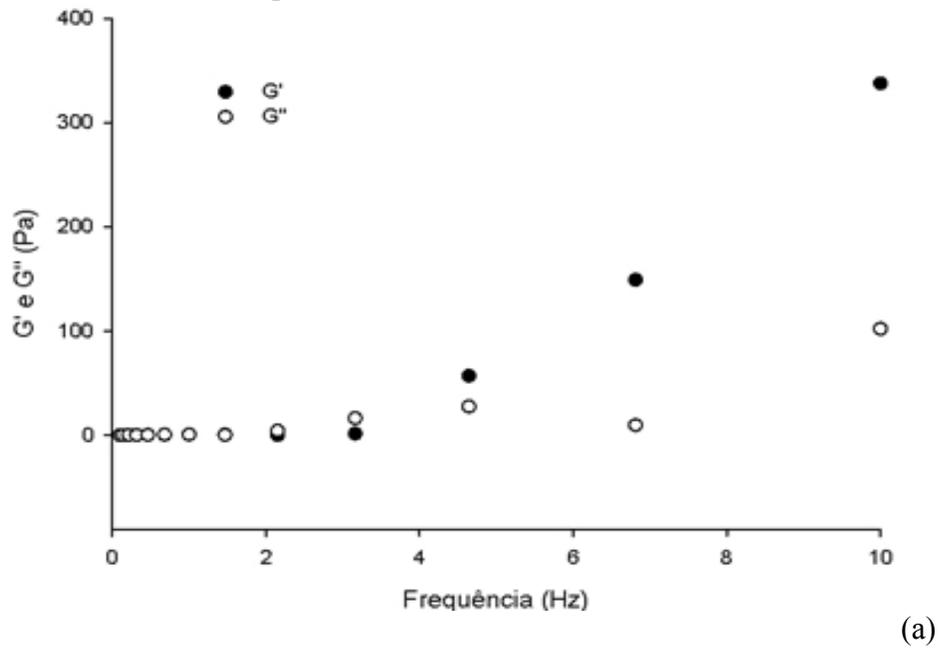
Fluidos tixotrópicos são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2005).

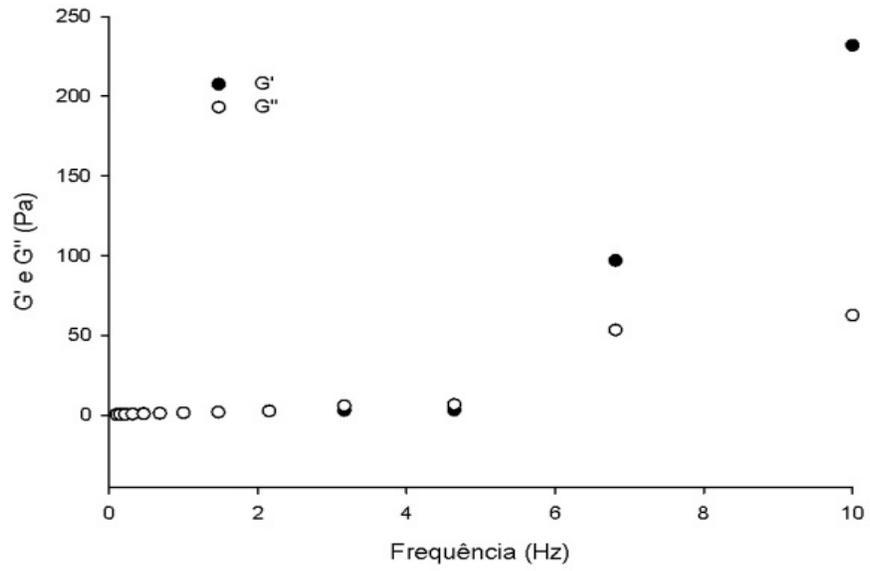
4.2.3 Varredura de frequência

Teste de varredura de frequência é o teste oscilatório mais comum. Com o aumento da frequência, materiais viscoelásticos mostram características predominantes de semissólido, com o aumento da concentração. O módulo de armazenamento G' descreve as propriedades elásticas, enquanto módulo de perda G'' descreve as propriedades viscosas.

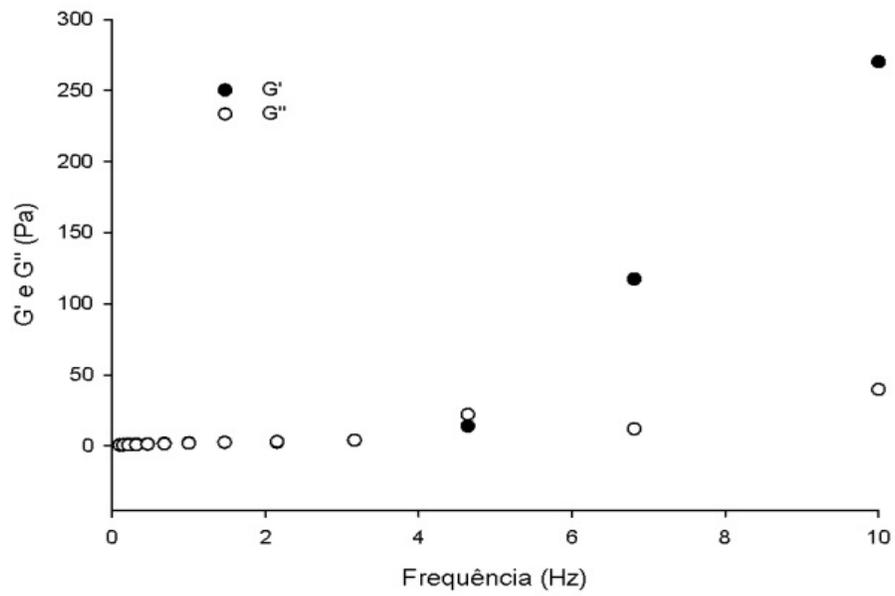
A varredura de frequência foi realizada para determinar o comportamento viscoelástico das gomas, no intervalo de 0,01 a 10 Hz, conforme Figuras 13 e 14.

Figura 13 Reogramas obtidos pela relação G' e G'' com a frequência para os diferentes métodos de extração das mucilagens a frio (a) 1:10 (b) 1:20 (c) 1:30 (d) 1:40 (e) Mucilagem Extração a Quente razão Semente:Água 1:40

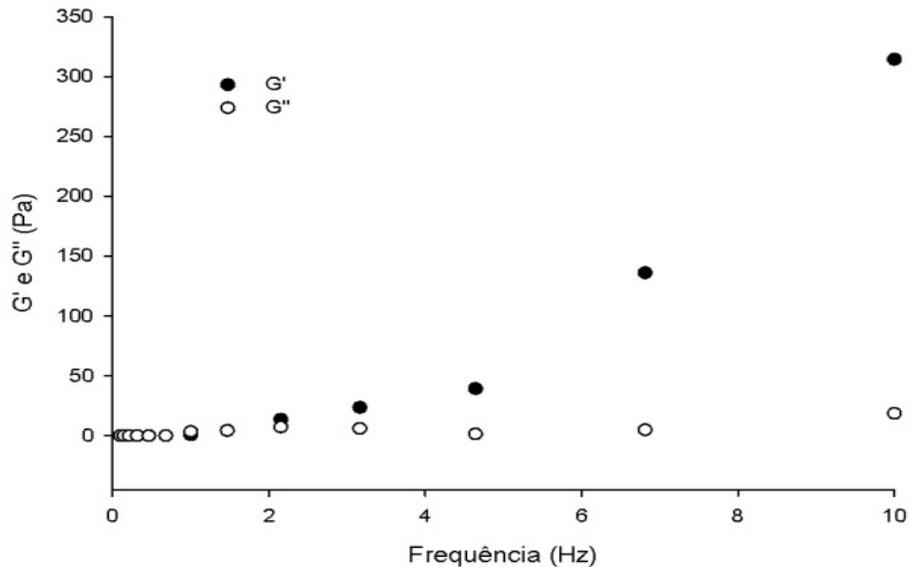




(c)



(d)

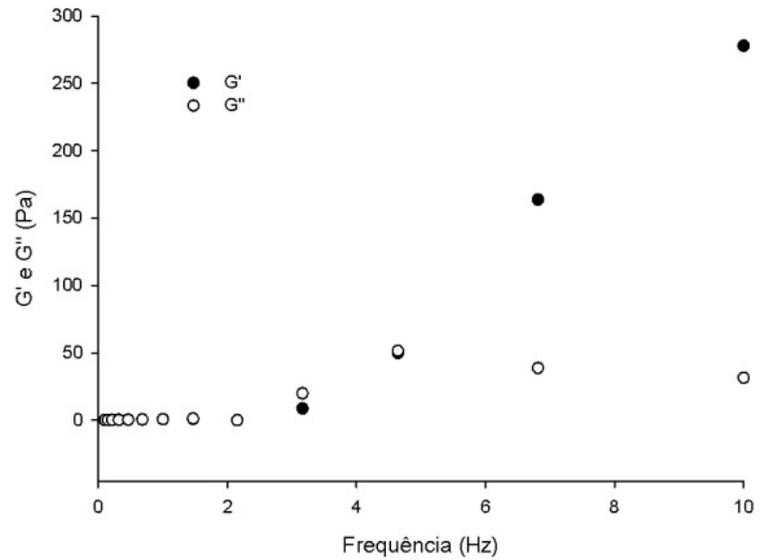


(e)

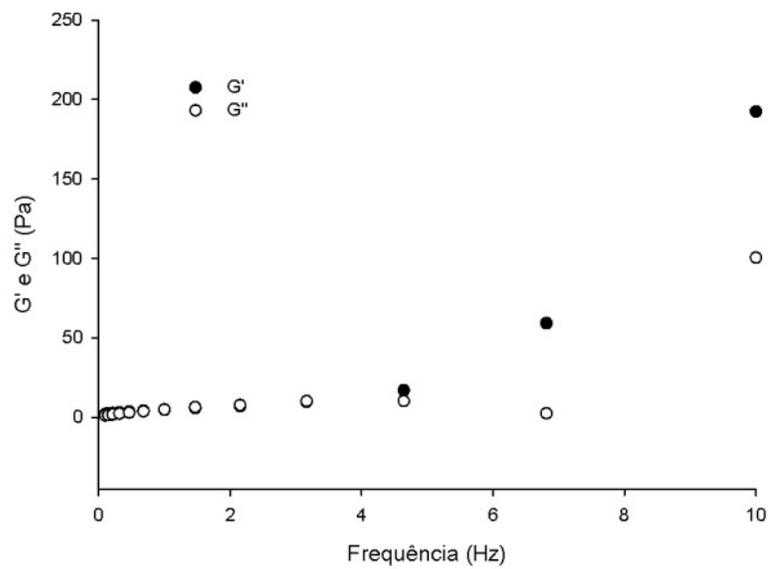
As varreduras de frequência para as dispersões revelam a forma típica de uma solução macromolecular. De maneira geral, para todas as dispersões o módulo de perda (G'') foi superior ao módulo de armazenamento (G') em baixas frequências, enquanto que o G' foi predominante a frequências mais elevadas (Figura 13). As dispersões de mucilagens obtidas pelo processo de extração a frio se comportaram de maneira semelhante com o aumento da frequência, se comportando como líquidos até o ponto de intersecção entre 4 a 6Hz, após o qual elas se comportam como um gel. Para a dispersão da mucilagem obtida no processo de extração a quente, o ponto de intersecção ocorre numa frequência mais baixa (2Hz), ponto a partir do qual passa a se comportar como um gel. Os resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos obtidos por Wu et al. (2015) com goma tara a 1% (peso/volume), em que os autores observaram G' superior G'' em baixas frequências.

A Figura 14 ilustra os reogramas obtidos pela relação G' e G'' com a frequência para as diferentes concentrações de gomas (a) 1% (b) 2% (c) 3% (d) 4% (e) 5% na razão água-semente 1:20.

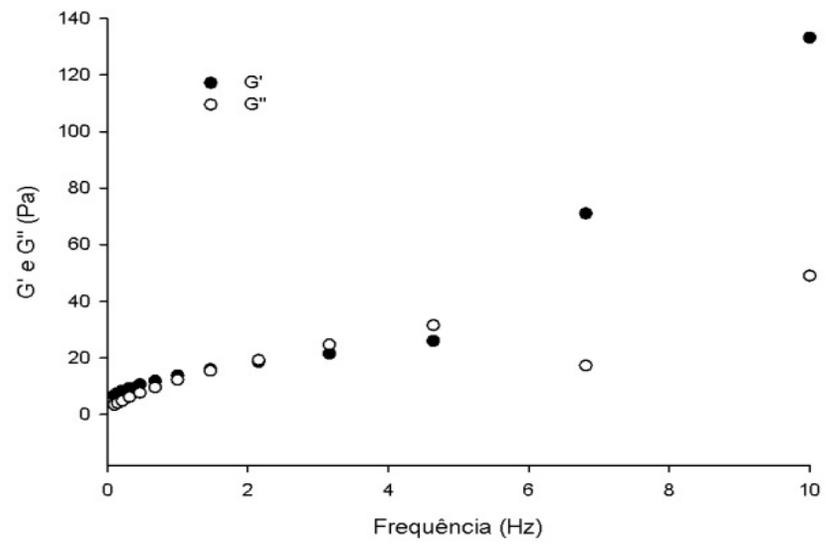
Figura 14 Reogramas obtidos pela relação G' e G'' com a frequência para as diferentes concentrações da mucilagem obtida a frio razão Semente:Água 1:20 (a) 1% (b) 2% (c) 3% (d) 4% (e) 5%



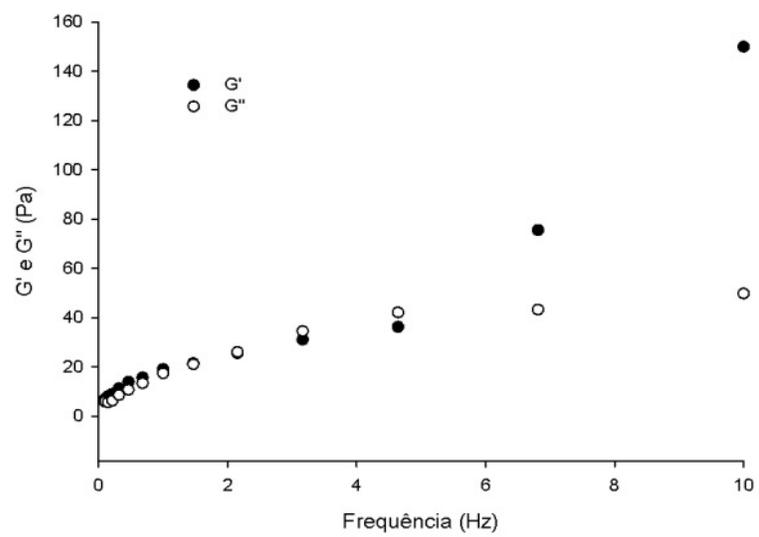
(a)



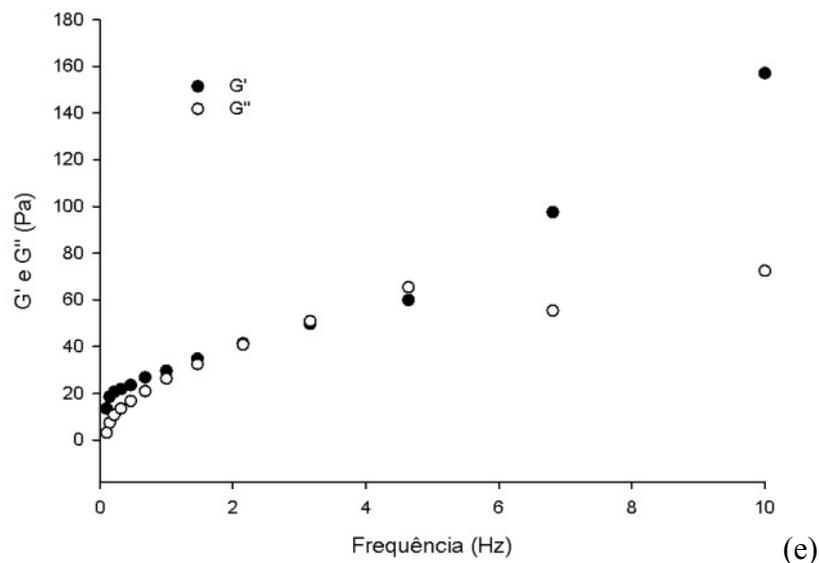
(b)



(c)



(d)



Observou-se que a frequência de intersecção é dependente da concentração de mucilagem na dispersão, podendo haver mais de uma intersecção. Com o aumento da concentração, as soluções apresentaram um comportamento atípico, no qual gradualmente passaram a apresentar mais de um ponto de intersecção (concentrações acima de 2%). Neste sentido, em frequências inferiores a 2Hz, as dispersões apresentam características predominantemente elásticas ($G' > G''$). Entre 2 e 6Hz, predominantemente viscosas ($G'' > G'$). A partir de 6hz, voltam a apresentar características elásticas ($G' > G''$). As dispersões de mucilagem de chia apresentaram comportamento complexo, alternando entre propriedades elásticas ou viscosas em função da concentração e da frequência.

O estudo das propriedades reológicas é importante para o dimensionamento de diferentes processos, tais como o fluxo de fluido, bombas, processos de extração, filtração, purificação, pasteurização, evaporação, secagem (TABATABAEE; MIRHOSSEINI, 2012).

4.3 Coloração

A Tabela 8 representa as coordenadas L^* , a^* e b^* das mucilagens da chia obtidas pelos métodos de extração a quente e a frio.

Em relação à coloração, no valor L^* não foi observada diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as mucilagens obtidas pelos diferentes tipos de extração.

Para os valores de a^* e b^* foi observada diferença estatística ($p < 0,05$) entre os diferentes tipos de processo de extração. Um valor de a^* positivo é uma medida da intensidade vermelha, e um valor negativo de intensidade verde. Um valor b^* positivo é uma medida de cor amarela, e um valor negativo de cor azul (WANG et al., 2011). As gomas obtidas pelo processo de extração a frio (1:10, 1:20, 1:30 e 1:40) não diferiram estatisticamente entre si, o que significa que a utilização de diferentes razões semente:água no processo de extração a frio não afetam a cor da mucilagem.

Tabela 8 Valores médios calculados de L^* , a^* e b^* das mucilagens obtidas em diferentes métodos de extração na concentração de 1% (g/100g água)

Método de Extração	Razão Semente:Água	L^*	a^*	b^*
MEF	1:10	93,57a	-1,32a	3,17a
MEF	1:20	91,70a	-1,10a	3,42a
MEF	1:30	89,33a	-1,28a	3,77a
MEF	1:40	93,26a	-1,36a	3,75a
MEQ	1:40	87,56a	-0,50b	10,19b

^{a-c} Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatísticas ($p < 0,05$).

Legenda: MEF: Mucilagem Extração a Frio; MEQ: Mucilagem Extração a Quente.

A goma obtida pelo processo de extração a quente apresentou valores médios de a^* e b^* superior às demais, sugerindo que esta goma apresenta maior

intensidade de coloração tendendo ao vermelho e amarelo que as obtidas pelo processo de extração a frio. Cabe mencionar que o processo de extração a quente a 80 °C seguido de secagem em estufa a 50 °C conduziu a um escurecimento gradual da semente hidratada. O tempo necessário para a secagem das amostras em estufa a 50 °C afetou negativamente a coloração da mucilagem extraída se comparado aos métodos de extração a frio, os quais apresentaram mucilagens de coloração claras com aspecto muito semelhante ao do algodão após a liofilização. Estas são solúveis em água fria, apresentando o mesmo aspecto translúcido do que o observado anteriormente durante o processo de hidratação da semente. O processo de extração a frio associado à prensagem preservou o aspecto original da mucilagem.

De maneira geral, não houve diferença estatística no comportamento reológico (índice de comportamento de fluxo, viscosidade aparente e varredura de frequência), coloração e rendimento¹ entre as mucilagens obtidas pelo processo de extração a frio. Neste sentido, para etapas subsequentes da pesquisa optou-se pela utilização do tratamento de extração a frio de razão semente:água 1:20. Este tratamento figura-se entre os de maior rendimento, porém apresentando menor concentração de água, otimizando os tempos e os custos nos processos de prensagem e secagem por liofilização.

4.4 Caracterização da matéria-prima e subprodutos

A seguir serão apresentados os parâmetros utilizados para caracterização da matéria-prima, mucilagem e subprodutos da semente de Chia, sendo estes a composição centesimal, caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microanálise de Raios-X e Perfil de Ácidos Graxos.

¹ Com excessão do tratamento 1:10 que apresentou o menor rendimento.

4.4.1 Composição centesimal da semente de chia

A composição centesimal da semente de chia apresentou os seguintes valores médios: umidade 5%, cinzas 4,5%, lipídeos 27,8%, proteína 24,8%, fibra 28,7%, extrato não nitrogenado (E.N.N.) 14,2%. A semente de chia cultivada no Brasil provou ser uma fonte nutricional importante de lipídeos, proteínas, fibras e E.N.N., sendo esses resultados semelhantes aos encontrados em outros países da América do Sul. Da Silva-Marineli et al. (2014), Pizarro et al. (2013) e Segura-Campos et al. (2014) avaliando sementes de chia de origem Mexicana, Chilena e Argentina encontraram valores de umidade de 6,75/5,85/7,74%, cinzas 4,05/4,07/5,58%, lipídeos 32,88/30,22/30,97%, proteína 22,44/25,32/20,0% e fibras 33,52/37,50/31,51%, respectivamente.

Observa-se que o teor de lipídeos totais observados neste estudo foi inferior aos supracitados, entretanto, foi semelhante aos encontrados por Zanqui et al. (2013) em diferentes métodos de extração (26,8 e 28,16%). As variações na composição centesimal podem ser justificadas pela variedade dos grãos utilizados e até pelas condições climáticas onde a oleaginosa é cultivada (ZANQUI et al., 2013).

Cabe ressaltar o elevado teor de proteína observado (24,8%), que embora a chia não seja cultivada comercialmente como fonte proteica, seu conteúdo proteico é maior do que as culturas tradicionais tal como trigo, milho, arroz e aveia. Além disso, a semente de chia não contém glúten, de forma que os pacientes com doença celíaca podem ingerir qualquer alimento preparado à base de chia e seus subprodutos em alimentos especializados (SEGURA-CAMPOS et al., 2014).

Com relação ao teor de fibras (28,7%), o consumo diário de 100g da semente de chia é capaz de suprir a recomendação da FAO/OMS para adultos que é de pelo menos 25 g/dia de fibras na dieta, a fim de auxiliar na prevenção do aparecimento de doenças crônicas relacionadas à dieta (WORLD HEALTH

ORGANIZATION - WHO, 2003). De acordo com Reyes-Caudillo, Tecante e Valdivia-López (2008), a farinha de chia desengordurada apresenta 40% de fibra, da qual 5% é solúvel e faz parte da mucilagem. De acordo com Segura-Campos et al. (2014), a mucilagem contida na chia pode dificultar a digestão enzimática completa.

4.4.2 Composição centesimal das mucilagens e subprodutos

A Tabela 9 representa o percentual de umidade, cinzas, proteína, lipídeos, fibra e extrato não nitrogenado (E.N.N.) analisado nas mucilagens obtidas da chia e seus subprodutos obtidos pelos métodos de extração a quente e a frio (razão semente:água 1:20).

Tabela 9 Composição centesimal das mucilagens e subprodutos obtidos da semente chia em diferentes métodos de extração

Componente	Mucilagem		Resíduo	
	MEF 1:20	MEQ 1:40	REF	REQ
Umidade*	3,7	12,3	17,2	14,3
Cinzas	8,71	17,30	4,88	4,78
Lipídeos	3,35	4,96	36,17	54,73
Proteína	6,98	21,12	21,76	17,67
Fibra Bruta	6,44	9,02	9,40	5,83
E.N.N.	73,84	47,65	27,77	16,97

Legenda: MEF: Mucilagem Extração a Frio; REF: Resíduo Extração a Frio; MEQ: Mucilagem Extração a Quente; REQ: Resíduo de Extração a Quente. ND: Não Determinado.

* Todos os valores foram expressos em base seca, com exceção do teor de umidade.

O teor de umidade da mucilagem proveniente do processo de extração a quente foi superior aos observado por Segura-Campos et al. (2014) nas mucilagem de semente de chia com (9,32%) e sem lipídeos (8,95%), assim como dos observados por Sciarini et al. (2005) na goma guar (10,36%) e na

goma xantana (11,8%), porém inferior aos da *Gleditsia triacanthos* (14,8%). O teor de umidade da goma extraído a frio foi muito inferior ao da goma extraído no processo de extração a quente devido ao processo de liofilização. Um baixo nível de umidade é desejável para estabilidade físico-química e microbiológica da mucilagem em condições de armazenamento. O teor de umidade dos resíduos de extração das mucilagens obtidos neste estudo foi superior aos observados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) no resíduo da extração de óleo, 10,66%, e no resíduo da extração de óleo sem mucilagem, 10,47%. Como o resíduo de extração a frio foi apenas prensado sem passar pelo processo de liofilização, este apresentou maior teor de umidade quando comparado ao resíduo de extração a quente, que foi seco associado à mucilagem.

O conteúdo de cinzas encontrado na mucilagem obtida pelo processo de extração a frio foi semelhante aos observados por Segura-Campos et al. (2014) na mucilagem de chia sem lipídeos, 8,28%, e por Sciarini et al. (2005) na goma xantana, 9,35%, e superior aos observados por Segura-Campos et al. (2014) na mucilagem com lipídeos, 5,48% e por Aber El Kader et al. (2002) na goma arábica *Acacia senegal*, 3,6%. A mucilagem obtida pelo processo de extração a quente foi a que apresentou maior teor de cinzas (17,3%), superior a todos supracitados. Como a solubilização é dependente da temperatura, a maior temperatura global do processo de extração leva a maior concentração de minerais na mucilagem no processo de extração a quente.

A presença de minerais nas gomas pode causar efeitos sinérgicos ou antagonísticos, dependendo do alimento/meio onde será utilizado e da presença de outras gomas no processo. Por exemplo, quando em concentrações suficientes a kappa-carragena forma gel na presença de íons monovalentes de K^+ , enquanto a iota-carragena forma gel na presença de íons divalentes Ca^{++} . Neste sentido, o conhecimento da composição do teor e do perfil de minerais nas gomas é de grande importância para projeto de processos na indústria de alimentos. Os

teores de cinzas nos resíduos de extração a frio e a quente não apresentaram diferença estatística, e foram inferiores aos observados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) no resíduo da extração de óleo, 7,82%, e no resíduo da extração de óleo sem mucilagem, 7,24%.

O teor de lipídeos das mucilagens foram semelhantes aos encontrados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013), 3,1%, e aos observados por Segura-Campos et al. (2014) na mucilagem proveniente da chia inteira (2,49%) e triturada (4,01%). De acordo com Yadav et al. (2007), o teor de lipídeos em gomas pode ter um papel importante na redução da tensão superficial na estabilidade de emulsões óleo em água. Ambos resíduos apresentaram elevados teores de lipídeos, entretanto o resíduo de extração a quente apresentou maior teor de lipídeos (54,73%), se comparado ao resíduo de extração a frio (36,17%). Segundo Heuer, Yaniv e Ravina (2002), a semente de chia apresenta elevado teor de óleo rico em ácidos graxos poli-insaturados, de forma que o resíduo constitui uma fonte em potencial destes compostos. As diferenças observadas nas concentrações de lipídeos entre as gomas e os resíduos sugerem que o processo de extração afeta como o óleo é liberado da semente para o meio aquoso.

O conteúdo de proteína observado na mucilagem proveniente do processo de extração a quente foi de 21,12%. A mucilagem obtida pelo processo de extração a frio apresentou valor de 6,98%, entretanto ambos os teores foram superiores aos encontrados na goma de milho (5,1%) e na goma mesquita (5,8%) (BOSQUEZ-MOLINA; GUERRERO-LEGARRETA; VEMON-CARTER, 2005). A importância do teor de proteína e das características moleculares no processo de emulsificação foi reportada por Yadav et al. (2007), indicando que a proteína e a estrutura molecular dos hidrocolóides desempenham um papel importante na estabilidade da emulsão do sistema de emulsão de óleo em água. O resíduo do processo de extração a frio apresentou teor de proteína de 21,76%, já o resíduo do processo de extração a

quente 17,67%, ambos inferiores aos observados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) no resíduo da extração de óleo, 42,43%, e no resíduo da extração de óleo sem mucilagem, 41,36%.

O teor de fibra da goma obtida via processo de extração a frio foi de 6,44%, já o observado no processo de extração a quente foi de 9,02%. Os resultados obtidos são inferiores aos observados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) e Segura-Campos (2014) em mucilagens obtidas de sementes de chia (13,5%). O resíduo do processo de extração a frio apresentou teor de fibras de 9,4%, enquanto o resíduo do processo de extração a quente foi de 5,83%.

O conteúdo de carboidratos de produtos alimentícios pode ser estimado de forma indireta em termos do “Extrato Não Nitrogenado” ou “E.N.N.” (ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS -AAFCO, 2015). Segundo Marin Flores et al. (2008), a mucilagem da chia é um carboidrato complexo de alto peso molecular, a qual é secretada quando a semente entra em contato com a água, gerando soluções de altas viscosidades. Lin, Daniel e Whistler (1994) propuseram uma estrutura provisória da unidade básica do polissacarídeo como sendo um tetra sacarídeo com resíduos de 4-O-metil- α -d-glucoronopiranosil ocorrendo como ramificações de ácidos β -d-glucurônico na cadeia principal. Os monossacarídeos β -d-xilose, α -d-glicose e ácido 4-O-metil- α -d-glucurônico foram obtidos por hidrólise ácida na proporção de 2:1:1, respectivamente. Neste sentido, seria coerente afirmar que quanto mais eficiente o processo de extração da mucilagem, mais elevados seriam os teores de E.N.N.

De acordo com os resultados, a mucilagem obtida pelo processo de extração a frio é predominantemente composta por E.N.N. O teor de E.N.N. observado na mucilagem obtida pelo processo de extração a frio foi de 73,84%, já na mucilagem obtida pelo processo de extração a quente foi de 47,7%. O teor de E.N.N. da mucilagem obtida pelo processo de extração a frio foi superior aos valores obtidos por Segura-Campos et al. (2014) em mucilagens obtidas de

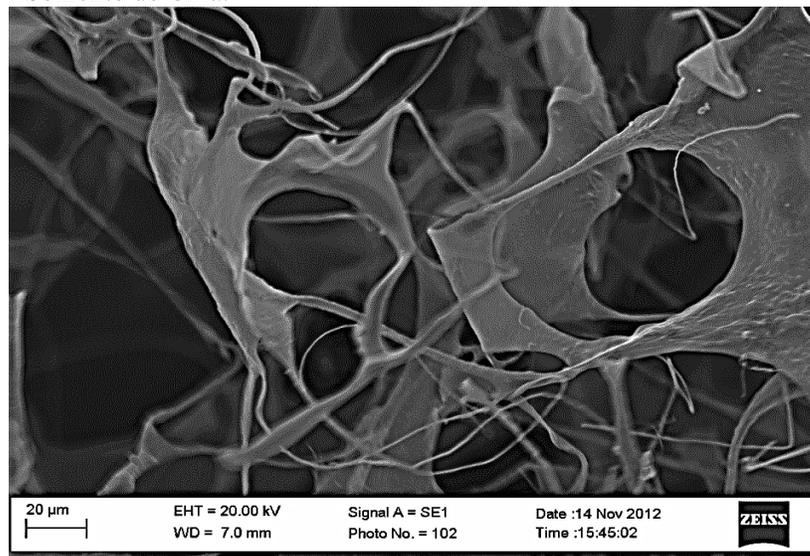
sementes de chia trituradas (29,3% - 47,7%), porém, relativamente próximo aos obtidos por estes autores com sementes inteiras (59,8% - 65,7%) e por aqueles encontrados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) também a partir de sementes inteiras (63,7%). Os resíduos do processo de extração a frio apresentaram teores de E.N.N. de 27,77%, já os extratos obtidos pelo processo de extração a quente foi de 16,97%. Uma vez que muitas gomas podem ser parcialmente degradadas quando expostas a altas temperaturas, como a goma guar, outras pela combinação de calor e acidez, como a carragena (LAAMAN, 2011), os teores inferiores de E.N.N observados nos tratamentos obtidos via extração a quente podem estar associadas ao efeito das temperaturas elevadas empregadas no processo de hidratação e a exposição prolongadas a altas temperaturas durante a secagem em estufa.

4.4.3 Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

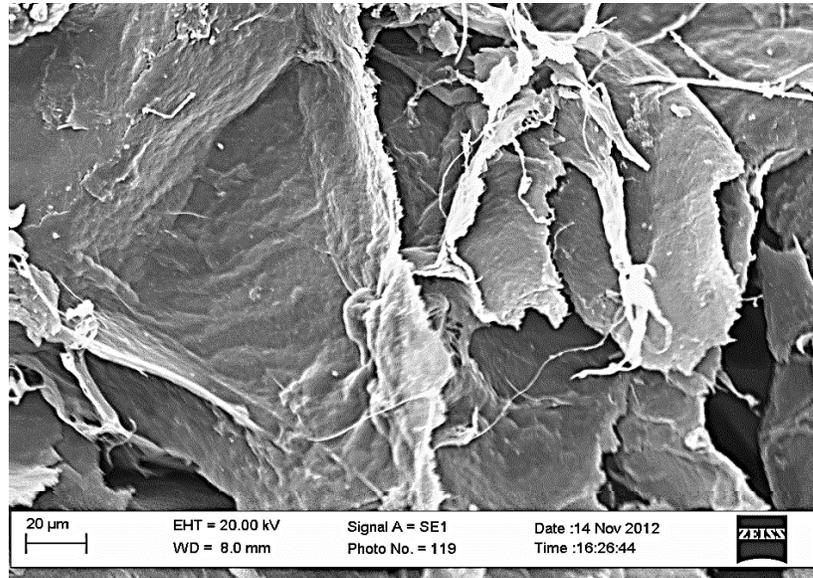
A análise da superfície das partículas da mucilagem da semente chia, derivadas do processo a frio (liofilizadas) e do processo a quente (secagem em estufa a 50 °C) e seus subprodutos foi realizada em um nível tridimensional através da microscopia eletrônica de varredura. As eletromicrografias são representados na Figura 15. A Figura 15a) ilustra a superfície da mucilagem da semente de chia derivada do processo de produção a frio, pH 8,0 razão semente: água de 1:20. Na imagem é possível observar claramente a estrutura porosa macroscópica em forma de rede composta pelas fibras da mucilagem, dispostas de forma uniforme. Estas características indicam que a estrutura macromolecular formada pelo material fibroso contido na mucilagem manteve sua estrutura durante o processo de ultracongelamento e liofilização. Segundo Lin, Daniel e Whistler (1994), o conteúdo de fibra da semente de chia corresponde a um polissacarídeo de alto peso molecular ($0,8 - 2 \times 10^6$ Da).

A Figura 15 b) ilustra a superfície da mucilagem obtida após processo de extração a quente. Observa-se a formação de agregados de placas laminares com aspecto quebradiço e certo grau de porosidade, e menor uniformidade se comparados à mucilagem obtida via processo de extração a frio.

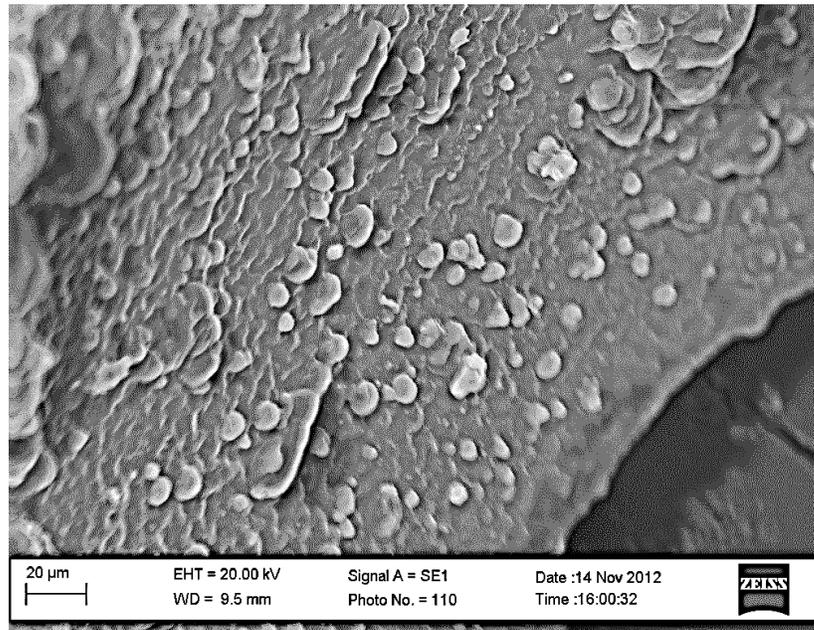
Figura 15 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) na semente de chia e seus subprodutos. Legenda: a) MEF: Mucilagem Extração a Frio, WD:6,0; b) MEQ: Mucilagem Extração a Quente; b) REF: Resíduo Extração a Frio; d) REQ: Resíduo de Extração a Quente; e) S. Chia: Semente de Chia.



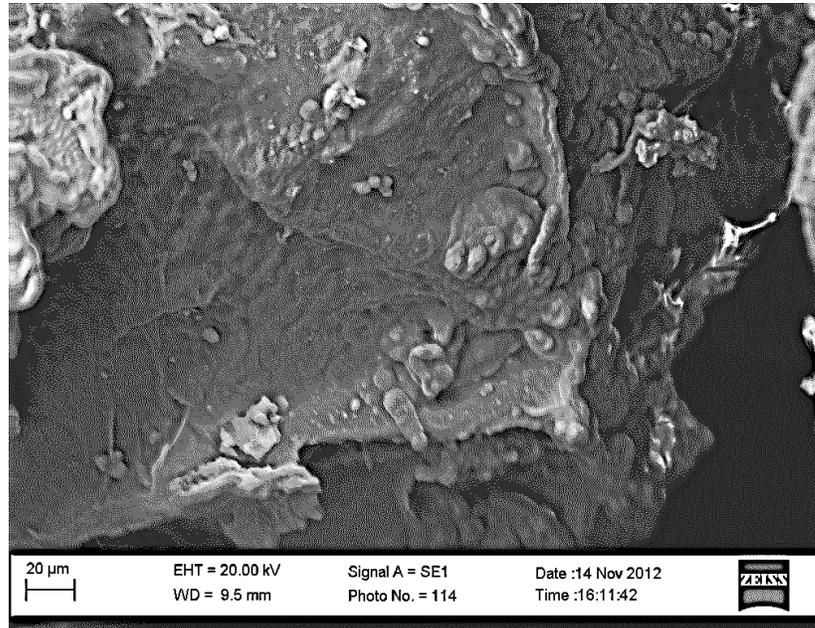
a)



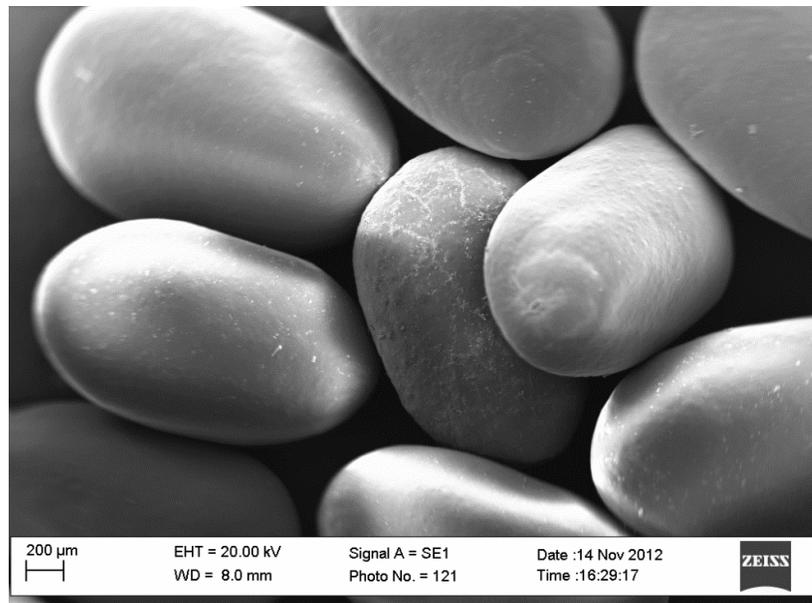
b)



c)



d)



e)

A Figura 15c) ilustra a superfície do resíduo da extração da mucilagem no processo a frio. Grandes aglomerados com interação entre partículas e forte aderência foram observados no resíduo triturado em forma de pó. Observa-se desuniformidade na distribuição das placas.

A Figura 15d) ilustra o resíduo proveniente do processo de extração da mucilagem a quente. Grandes aglomerados com fortes interações e aderência entre partículas foram observados. São observadas também diferenças no tamanho da distribuição das partículas, com pequenas partículas aderidas em partículas maiores, além de baixa porosidade.

A Figura 15e) ilustra a superfície do pericarpo da semente de chia, similar aos observados por Capitani, Nolasco e Tomás (2013) e Muñoz et al. (2012).

A microscopia eletrônica de varredura se mostrou uma ferramenta útil para visualizar não somente a agregação ou associação local do material fibroso que compõe a mucilagem, como também toda sua distribuição ao longo de uma rede.

4.4.4 Microanálise de Raios-X

Foram identificados 12 elementos químicos na semente de chia e seus subprodutos, incluindo metais, semimetais e ametais (Figura 16).

A Figura 17 ilustra as regiões utilizadas nas imagens digitais para análise do perfil de minerais na semente de chia e seus subprodutos.

Houve variações no perfil de minerais entre a semente de chia, mucilagens e resíduos (Tabela 10). Potássio, Fósforo, Cálcio, Magnésio, e Enxofre foram detectados em todas as amostras, sendo Potássio, Cálcio e Magnésio os que se observaram em maiores proporções.

Capitani et al. (2012) analisando o teor de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e P de dois subprodutos da extração de óleo da semente de chia obtiveram resultados semelhantes aos deste estudo, com o Cálcio e o Magnésio figurando entre os de maiores teores.

A mucilagem obtida via processo de extração a frio apresentou a maior gama de elementos minerais, com destaque para as elevadas proporções de Magnésio, Cálcio e Potássio, além da presença de Sódio, Cloro, Flúor e Silício. Já a mucilagem obtida via processo de extração a quente apresentou a maior proporção de Potássio, e em menores proporções Sódio, Cálcio e Magnésio.

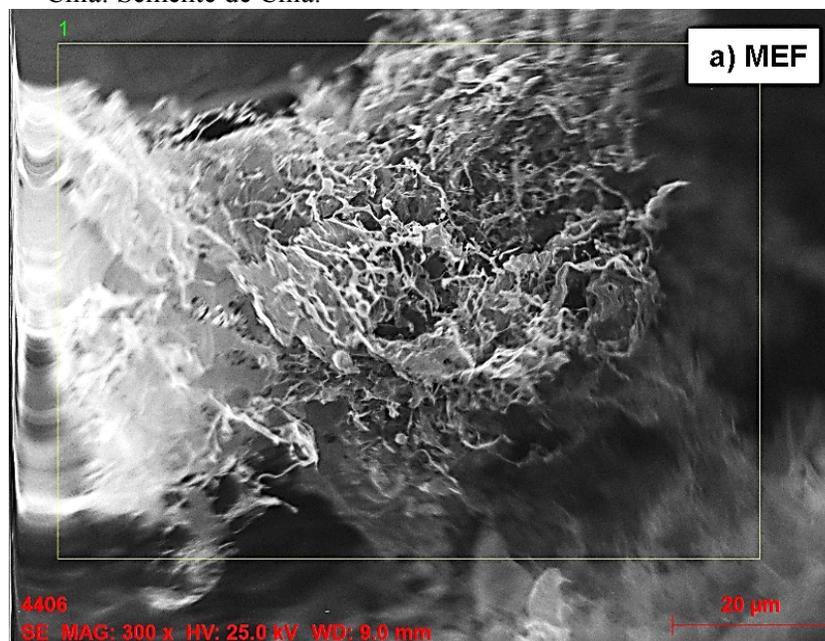
Figura 16 Tabela periódica dos elementos químicos. Os elementos identificados pela análise de Raios-X na chia e seus subprodutos estão destacados

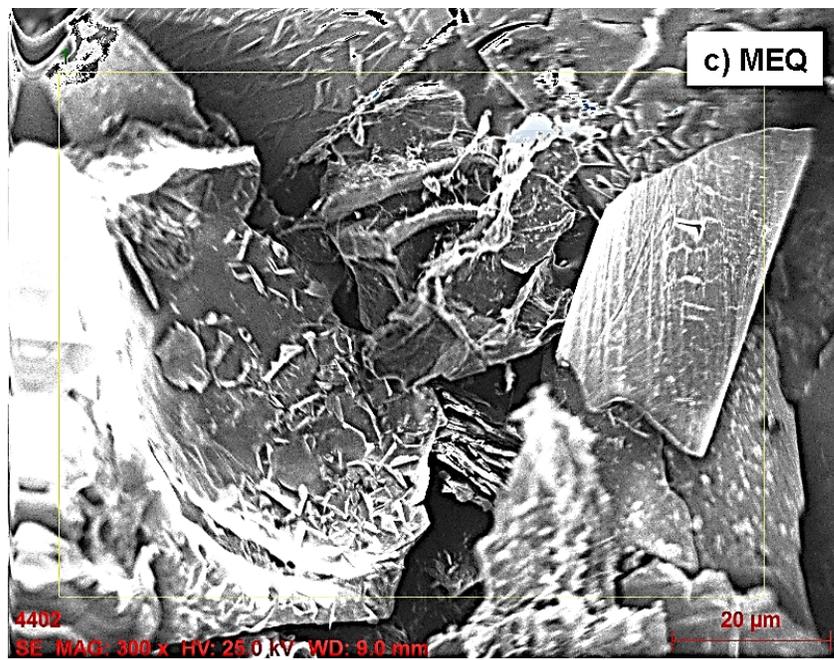
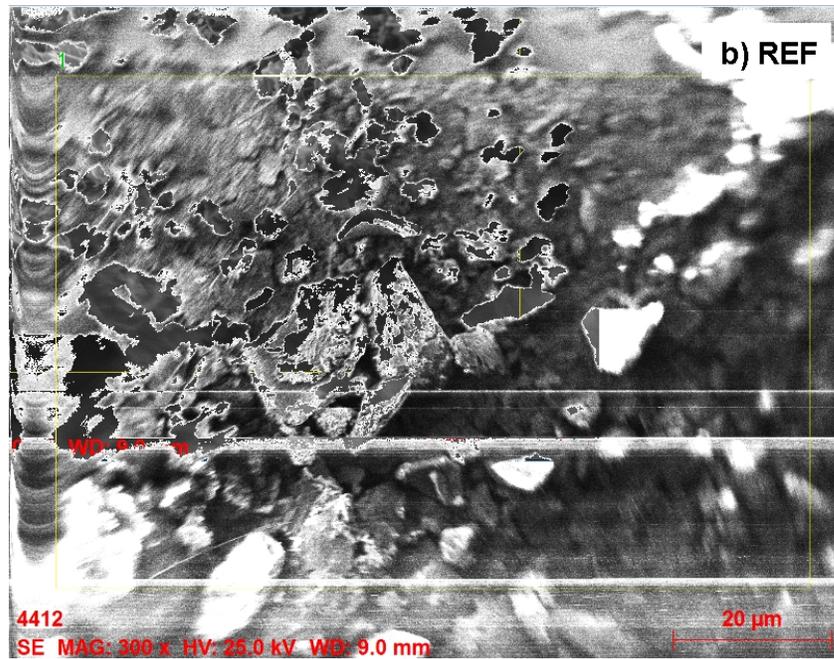
1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106												
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	106												

O conhecimento da composição mineral das mucilagens é muito importante sobre o ponto de vista tecnológico para projeto de processos na indústria de alimentos. Algumas gomas não são altamente influenciadas por íons (exceto em concentrações muito elevadas de íons), por exemplo, ágar-ágar, goma xantana, goma guar e goma alfarroba. Várias outras são influenciadas em sua capacidade de solubilização por íons. Estas incluem o alginato de sódio,

carragena, pectina, goma gelano, e carboximetilcelulose de sódio (CMC). Nestes casos cátions divalentes e em alguns casos cations monovalentes podem influenciar a capacidade de o hidrocoloide para dissolver (LAAMAN, 2011).

Figura 17 Microanálise de Raios-X para mapeamento de minerais na semente de chia e seus subprodutos. Legenda: a) MEF: Mucilagem Extração a Frio; b) REF: Resíduo Extração a Frio; c) MEQ: Mucilagem Extração a Quente; d) REQ: Resíduo de Extração a Quente; e) S. Chia: Semente de Chia.





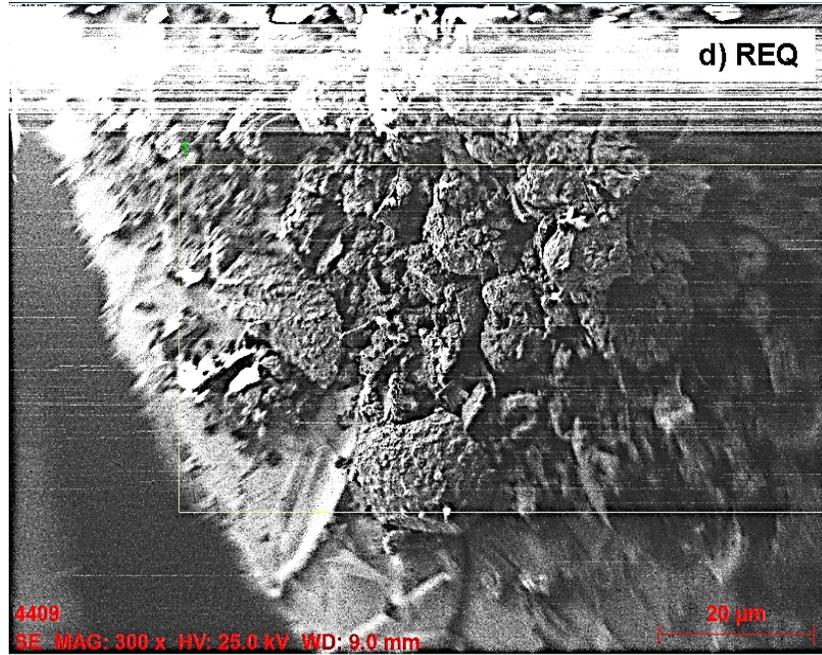


Tabela 10 Composição de minerais da semente de chia e seus subprodutos (g/100g do total de minerais) em diferentes métodos de extração

	Elementos Químicos										
	Na	Mg	S	Cl	K	F	Al	Si	Ca	P	Ca:P
MEF	5,08	13,47	0,51	0,6	23,71	6,15	1,77	0,95	18,04	1,16	15,55
REF	-	7,36	8,4	-	12,28	-	-	-	8,03	17,62	0,45
MEQ	4,16	2,58	1,55	3,16	65,72	-	-	-	2,66	1,46	1,82
REQ	-	7,47	16,38	-	8,65	-	3,9	-	11,93	16,22	0,74
S. Chia	-	10,24	1,42	-	17,86	4,3	2,85	5,38	23	1,96	11,73

Legenda: MEF: Mucilagem Extração a Frio; REF: Resíduo Extração a Frio; MEQ: Mucilagem Extração a Quente; REQ: Resíduo de Extração a Quente; S. Chia: Semente de Chia; Ca:P: Razão Cálcio/Fósforo.

Os resíduos obtidos via processo de extração a frio e a quente foram caracterizados por elevadas proporções de Fósforo e Cálcio, o que está de acordo com os valores obtidos por Capitani et al. (2012) para resíduos da semente de chia e Bushway, Belyea e Bushway (1981) para outro tipo de resíduo de semente de chia (*Salvia polystachya*). Considerando o elevado teor de cinzas presentes nestes resíduos da extração da mucilagem e da elevada proporção destes minerais nos mesmos, estes resíduos apresentam grande potencial como suplementos destes minerais em formulações, de forma conjunta ou não com outros cereais.

Com relação à importância nutricional, o fósforo é um elemento essencial na formação dos ossos e, assim como o cálcio, seu fornecimento adequado para os ossos é necessário ao longo da vida.

Dentre os minerais analisados, o Cálcio foi o que apresentou o maior teor na semente, seguido do Potássio e Magnésio. Em estudo realizado por Costa e Silva et al. (2013), as maiores concentrações observadas foram as de Potássio, seguidas pelas de Cálcio e Magnésio.

A MAX se mostrou um método prático e eficiente para determinação do perfil de minerais na semente de chia, sua mucilagem e subprodutos.

4.4.5 Composição de ácidos graxos

A análise de composição de ácidos graxos da Chia, sua Mucilagem e subprodutos são representados na Tabela 11.

Não foi observada presença de ácidos graxos saturados nas gomas obtidas a partir do processo de extração a quente. Os ácidos graxos saturados (AGS) na mucilagem derivada do processo de extração a frio foram compostos predominantemente pelo ácido pentadecanoico, com teor de 162g/kg do total de ácidos graxos. Os resultados ilustram o efeito de diferentes processos de extração na distribuição e no teor de ácidos graxos saturados das mucilagens.

Tabela 11 Composição de ácidos graxos da semente de chia e seus subprodutos (g/kg do total de ácidos graxos) em diferentes métodos de extração

Ác. Orgânicos	Símbolo	MEF	REF	MEQ	REQ	S. Chia
Mirístico	C14:0	-	37,4	-	31	22
Pentadecanoico	C15:0	162,9	-	-	-	44
Palmítico	C16:0	-	20	-	252,7	74
Margárico	C17:0	-	0,2	-	1,2	0,7
Esteárico	C18	-	-	-	75,4	27
Σ AGS		162,9	57,6	-	360,3	140,7
Cis-10-pentadecanoico	C15:1	119,0	264,5	86,1	-	104
Palmitoleico	C16:1	-	60,9	-	49,5	19,2
Cis-10-heptadecanoico	C17:1	27,7	71,5	35,6	-	19,4
Elaídico	C18:1T	87,6	-	69,6	-	31,3
Oleico	C18:1n-9	28,3	341	9,4	356,4	77,1
Paulínico	C20:1	-	17,1	0,9	18,4	5,5

Continuação...

ΣAGMI		262,6	755,1	201,6	424,3	256,5
Linoleico	C18:2n-6	161	109,7	213,9	147,7	140
Linolênico	C18:3n-3	413,4	5,4	559,5	9,3	440
Araquidônico	C20:4n-6	-	6,3	-	8,1	4,2
ΣAGPI		574,4	121,4	773,4	165,1	584,2
Outros		0,1	65,9	25	50,3	18,6
ω-6/ ω-3		0,38	21,48	0,38	16,75	0,31

Legenda: MEF: Mucilagem Extração a Frio; REF: Resíduo Extração a Frio; MEQ: Mucilagem Extração a Quente; REQ: Resíduo de Extração a Quente; S. Chia: Semente de Chia; AGS: Ácidos Graxos Saturados; AGMI: Ácidos Graxos Mono Insaturados; AGPI: Ácidos Graxos Poli-insaturados.

Independentemente do método de extração das mucilagens, as mesmas foram compostas majoritariamente pelos ácidos Linolênico, Linoleico, Elaídico e Cis-10-pentadecanoico, variando o teor destes ácidos em função do método de extração.

Com relação aos ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), a mucilagem obtida a partir do processo de extração a frio apresentou concentração de 262,6 g/kg do total de ácidos graxos, enquanto a mucilagem obtida pelo processo de extração a quente apresentou 201,6 g/kg do total de ácidos graxos. Dentre estes, destacam-se a presença dos ácidos graxos Oleico, Elaídico, Cis-10-pentadecanoico e Cis-10-heptadecanoico. Os resultados ilustram o efeito do processo de extração na distribuição e no teor de ácidos graxos monoinsaturados das mucilagens.

A mucilagem obtida pelo processo de extração a quente apresentou teores de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) de 773,4 g/kg do total de ácidos graxos, enquanto que a mucilagem obtida pelo processo de extração a frio apresentou 574,4 g/kg do total de ácidos graxos, representados majoritariamente pelos ácidos linolênico (559,5 - 413,4 g/kg do total de ácidos), e linoleico (213,9 e 161 g/kg do total de ácidos graxos). A razão entre os ácidos graxos da série ômega ω-6 e ω-3 entre ambos os métodos de extração foi a mesma, 0,38.

Os resíduos obtidos a partir do processo de extração a quente apresentaram elevados teores de ácidos graxos saturados (AGS) (360,3 g/kg do total de ácidos graxos), moninsaturados com destaque para o oleico (356,4 g/kg do total de ácidos graxos) e poli-insaturados com destaque para o linoleico (147,7 g/kg do total de ácidos graxos). O resíduo obtido a partir do processo de extração a quente foi composto majoritariamente por ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) (755,1 g/kg do total de ácidos graxos), além de ácidos graxos poli-insaturados com destaque para o ácido linoleico (109,7 g/kg do total de ácidos graxos). Os resultados ilustram o efeito do processo de extração na distribuição e no teor de ácidos graxos monoinsaturados nos resíduos das mucilagens.

Os resultados da análise do perfil de ácidos graxos da semente de chia são comparáveis aos obtidos por Ayerza (1995), Ayerza e Coates (2004), Coates e Ayerza (1996), Heuer, Yaniv e Ravina (2002) e Peiretti e Gai (2009), com exceção dos ácidos graxos linolênico e linoleico, que foram ligeiramente inferiores aos obtidos nestes estudos. Estas análises reconfirmam o conhecido perfil específico de ácidos graxos do óleo de chia, o qual foi similar ao observado para óleos de sementes de chia cultivadas na Argentina, Colômbia, Peru, Bolívia e Israel.

De maneira geral, o método de extração altera o perfil de ácidos graxos nas mucilagens e seus resíduos. Parte dos ácidos graxos de interesse nutricional presentes na semente, como os ácidos graxos da série ômega-3 foram observados na mucilagem.

4.5 Propriedades tecnológicas

A seguir serão apresentados os processos e parâmetros utilizados na determinação das propriedades tecnológicas da mucilagem da semente de Chia.

4.5.1 Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão

A capacidade de formar emulsão das mucilagens extraídas da chia foi estudada nos métodos de extração a quente e a frio utilizando-se as mucilagens na concentração de 1%. Pode-se verificar através da análise estatística que o método de extração não influencia significativamente na capacidade emulsificante da goma, apresentando uma média de 98%.

Thanatcha e Pranee (2011) estudaram processos de extração da mucilagem de jujuba e avaliaram a capacidade dessa mucilagem em formar emulsões. A goma extraída da chia apresenta capacidade emulsificante maior do que a mucilagem extraída da jujuba que foi de $52,22\% \pm 0,48$. Os autores também estudaram outras gomas e entre elas a goma xantana é a que apresenta a maior capacidade emulsificante, sendo de 100%, capacidade emulsificante semelhante a da goma extraída da chia.

Quanto à estabilidade das emulsões formadas, a goma obtida por extração a frio foi mais estável, apresentando 45% de estabilidade, enquanto que a goma obtida por extração a quente apresentou apenas 30% de estabilidade.

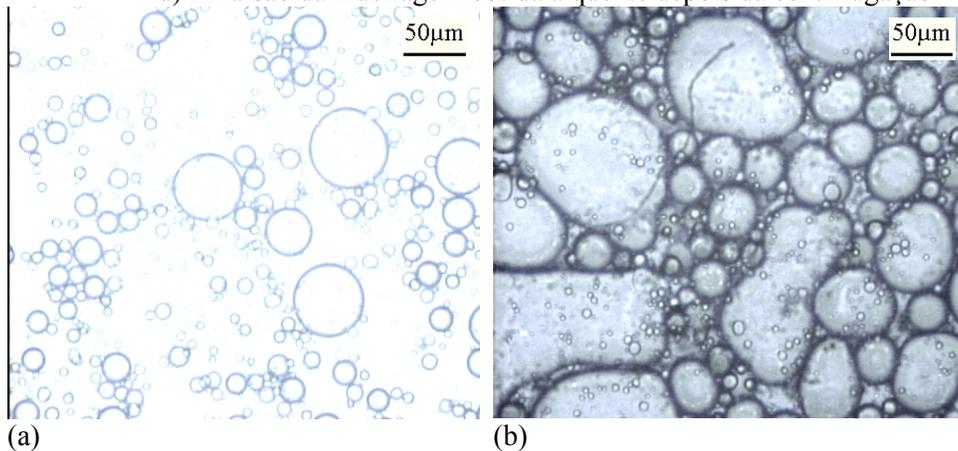
Sendo assim pode-se verificar que a goma facilita o processo de formação da emulsão reduzindo a tensão interfacial entre os líquidos imiscíveis, no entanto, não conseguem proporcionar estabilidade a emulsão formada, sendo necessária a utilização de um agente estabilizante em sinergia com a goma extraída da chia, o que é muito comum em produtos comerciais, a utilização de um agente emulsificante e um estabilizante.

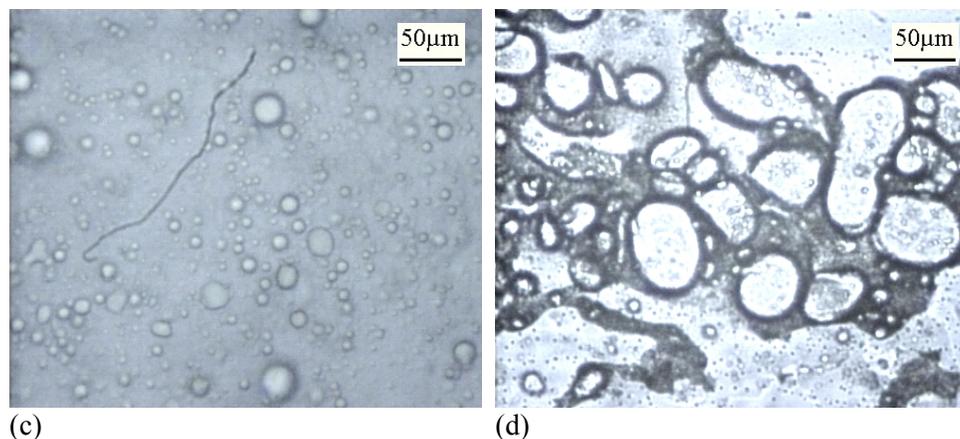
Segundo, Guzey e McClements (2006), muitas vezes mesmo utilizando-se altas concentrações de agente estabilizante os processos de desestabilização podem ocorrer porque as partículas podem demorar a se orientar ao redor das gotículas e nesse período a desestabilização pode ocorrer.

4.5.2 Microscopia ótica

Técnicas de microscopia e imagem são as técnicas mais adequadas para avaliar a estrutura de alimentos, porque elas são os únicos métodos analíticos que produzem resultados em forma de imagens ao invés de números (KALÁB; ALLAN-WOJM; MILLER, 1995). Segundo Chanamai, Herrman e McClements (1998), o conhecimento do tamanho das gotículas em uma emulsão colabora para a caracterização e levantamento de propriedades macroscópicas como cor, opacidade, reologia, coalescência e estabilidade da emulsão. A Figura 18 ilustra as emulsões elaboradas a partir da mucilagem obtida pelo processo de extração a frio e a quente, antes e depois da centrifugação.

Figura 18 Emulsões antes e depois da centrifugação. a) Emulsão da mucilagem obtida a frio; b) Emulsão da mucilagem obtida a frio depois da centrifugação; c) Emulsão da mucilagem obtida a quente; d) Emulsão da mucilagem obtida a quente depois da centrifugação





Pode-se verificar que as duas emulsões formadas apresentam gotículas com tamanhos desuniformes, o que caracteriza emulsões com baixa estabilidade confirmada pelas micrografias tiradas após o processo de desestabilização acelerada na centrífuga. Nessas micrografias nota-se a grande proximidade entre as gotículas de óleo e grande desuniformidade de tamanho e formato, o que caracteriza emulsões desestabilizadas. Assim pode-se confirmar que a goma extraída da chia a frio e a quente apresenta uma considerável capacidade emulsificante, no entanto as emulsões formadas possuem baixa estabilidade e os líquidos imiscíveis se separam rapidamente.

A menor estabilidade da mucilagem obtida pelo processo de extração a quente pode estar relacionada ao binômio tempo x temperatura no qual a mesma foi submetida, o que levaria a decomposição térmica de componentes importantes para qualidade da emulsão, tais como proteínas e carboidratos de alto peso molecular.

5 CONCLUSÃO

A mucilagem de sementes de chia cultivadas no Brasil foi obtida de forma satisfatória usando um método de extração em baixas temperaturas. Os parâmetros ótimos do processo ocorreram à temperatura ambiente com proporção semente:água de 1:20, apresentando rendimento de 8,46%. O rendimento obtido foi superior ao processo de extração a quente anteriormente otimizado (6,42%).

De maneira geral, não houve diferença estatística no comportamento reológico (índice de comportamento de fluxo, viscosidade aparente e varredura de frequência), coloração e rendimento entre os mucilagens de razão semente:água 1:20, 1:30 e 1:40. Estas apresentaram comportamento não newtoniano, sendo o modelo que melhor explica os dados experimentais o da Lei da Potência.

As sementes e os resíduos do processo de extração da mucilagem foram caracterizados para determinar suas características e potencial como aditivos alimentares. Os resultados obtidos para composição da semente de chia estão de acordo com seu perfil.

Os diferentes processos de extração tiveram efeitos significativos na composição das mucilagens e de seus resíduos. De maneira geral, a semente de chia, sua mucilagem e subprodutos apresentaram propriedades nutricionais interessantes para a indústria de alimentos, tais como altos teores de proteínas, minerais, fibras e ácidos graxos poli-insaturados, podendo estes ser utilizados, por exemplo, em produtos de panificação, bebidas em pó, sorvetes, iogurtes, dentre outros.

A MEV possibilitou a observação da estrutura fibrosa macroscópica da mucilagem obtidas pelo processo de extração a frio, indicando que a rede macromolecular formada pelo material fibroso contido na mucilagem manteve sua estrutura durante o processo de ultracongelamento e liofilização.

A microanálise de Raios-X (MAX) tornou possível a identificação de elementos minerais na semente de chia e seus subprodutos.

O método de extração não influencia significativamente na capacidade emulsificante da goma, apresentando uma média de 98%. A goma obtida por extração a frio foi mais estável, apresentando 45% de estabilidade, enquanto que a goma obtida por extração a quente apresentou apenas 30% de estabilidade. As emulsões obtidas pelo processo de extração a frio e a quente apresentam gotículas com tamanhos desuniformes, o que caracteriza emulsões com baixa estabilidade.

REFERÊNCIAS

ABER EL KADER, D. et al. Caracterización analítica de cinco gomas Mimosaceae venezolanas y su posible aplicación industrial. **Revista Facultad De Agronomía**, Maracay, v. 19, p. 230-239, 2002.

ALBANO, K. M. **Comportamento reológico de géis de amido de Mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza* B.)**. 2012. 114 p. Dissertação (mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.

ALI, N. M. et al. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, Cairo, v. 1, p. 1-9, 2012.

ALVES, M. M. M. A reologia. In: DE CASTRO, A. G. (Coord.). **A química e a reologia no processamento de alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS. **Calorie content**. Disponível em: <<http://petfood.aafco.org/caloriecontent.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, 1990. 1298 p.

AYERZA, R.; COATES, W. Composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. **Tropical Science**, London, v. 44, p. 131–135, 2004.

AYERZA, R.; COATES, W. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. **Nutrition Research**, Tarrytown v. 25, p. 995–1003, 2005.

AYERZA, R.; COATES, W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. **Industrial Crops and Products**, St Martin d'Herès, v. 30, n. 2, p. 321-324, 2009.

AYERZA, R.; COATES, W.; LAURIA, M. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as an omega-3 fatty acid source for broilers: influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meats, growth performance, and sensory characteristics. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, p. 826-837, 2002.

AYERZA, R.; COATES, W. Protein and oil content, peroxide index and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and sub tropical ecosystems of South America. **Tropical Science**, London, v. 44, n. 3, p. 131-135, 2004.

AYERZA, R.; COATES, W. 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**, St Martin d'Herès, v. 34, p. 1366-1371, 2011.

AYERZA, R.; COATES, W. The omega-3 enriched eggs: the influence of dietary alpha-linolenic fatty acid source combination on egg production and composition. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 81, p. 355-362. 2001.

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

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transporte Phenomena**. New York: J. Wiley & Sons, 1960.

BONTORIM, G. **Estudo de Estabilidade de Emulsão Cosmética Utilizando Reologia e Técnicas Convencionais de Análise**. 2009. 70 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BORNEO, R.; AGUIRRE, A.; LÉON, A. E. Chia (*Salvia hispanica* L) Gel can be used as egg or oil replacer in cake formulation. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 110, n. 6, p. 946-949, 2010.

BOSQUEZ-MOLINA, E.; GUERRERO-LEGARRETA, I.; VEMON-CARTER, E. J. Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsion coatings. **Food Research International**, Barking, v. 36, p. 9-10, 2005.

BUSHWAY, A. A.; BELYEA, P. R.; BUSHWAY, R. J. Chia seed as a source of oil, polysaccharide, and protein. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, p. 1349–1350, 1981.

CAHILL, J. P. Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). **Economic Botany**, Bronx, v. 57, p. 604-618, 2003.

CAMPANELLA, O. H.; DORWARD, N. M.; SINGH, H. A study of the rheological properties of concentrated food emulsions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 25, n. 3, p. 427-440, Jan. 1995.

CAPITANI, M. I. et al. Physicochemical and functional characterization of byproducts from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. **Food Science and Technology**, London, v. 45, n. 1, p. 94–102, 2012.

CAPITANI, M. I.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M C. Effect of mucilage extraction on the functional properties of Chia Meals. In: MAZZALUPO, I. (Ed.). **Food industry**. Rijeka: InTech, 2013.

CHANAMAI, R.; HERRMAN, N.; MCCLEMENTS, D. J. Ultrasonic spectroscopy study of flocculation and shear-induced floc disruption in oil in water emulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 204, n. 2, p. 268-276, Aug. 1998.

CICHERO, J. A. Y. Thickening agents used for dysphagia management: effect on bioavailability of water, medication and feelings of satiety. **Nutrition Journal**, London, v. 12, p. 54, 2013.

COATES, W.; AYERZA, R. Production potential of chia in Northwestern Argentina. **Industrial Crops and Products**, St Martin d'Heres, v. 5, p. 229–233, 1996.

COATES, W. **Chia: the complete guide to the ultimate superfood**. New York: Sterling, 2012.

COSTA E SILVA, B. et al. **Composição química e ácidos graxos em chia (*Salvia hispanica* L.)**. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Hevelyse_Munise_Celestino_dos_Santos_03.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2013.

CRAIG, R.; SONS, M. **Application for approval of whole chia (*Salvia hispânica* L.) seed and ground whole chia as novel food ingredients: advisory committee for novel food and processes**. Ireland: Company David Armstrong, 2004.

DA SILVA MARINELI, R. et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, Oxford, v. 59, n. 2, p. 1304-1310, 2014.

DUNN, J. **The Chia Company Seeks Entry into European Market**. 2010. Disponível em: <<http://www.ausfoodnews.com.au/2010/02/08/the-chia-companyseeks-entry-into-european-market.html>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from the European Commission on the safety of 'chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole chia seed' as a food ingredient. **The EFSA Journal**, Parma, v. 996, p. 1–2, 2009.

FANI, M. As grandes gomas: uma visão. **Revista Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 79, jun. 2011. Disponível em: <http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/297.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2015.

FANI, M. Hidrocolóides: funções e aplicabilidade. **Revista Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 88, maio 2012. Disponível em: <http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/385.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2015.

FERREIRA, T. R. B. **Caracterização nutricional e funcional da farinha de chia (*Salvia hispanica*) e sua aplicação no desenvolvimento de pães**. 2013. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, n. 226, p. 497-509, 1957.

GOTSCHLICH, M. F. L. **Escoamento de fluidos não newtonianos: revisão da literatura e análise de correlações para o fator de atrito e coeficientes de perda localizada**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GUINDANI, C. **Emprego da tecnologia supercrítica para a valorização do resíduo de semente de chia (*Salvia hispanica*)**. 2014. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GUZEY, D.; MCCLEMENTS, D. J. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry. **Advances in Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 128, p. 227-248, Dec. 2006.

HEUER, B.; YANIV, Z.; RAVINA, I. Effect of late salinization of chia (*Salvia hispanica*), stock (*Matthiola tricuspidata*) and evening primrose (*Oenothera biennis*) on their oil content and quality. **Industrial Crops and Products**, St Martin d'Herès, v. 15, p. 163–167, 2002.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, New Jersey, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.

HUXLEY, A. J. **The New RHS dictionary of gardening**. London: Macmillan, 1992.

IXTAINA, V. Y. **Caracterización de la semilla y el aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido mediante distintos procesos**. 2010. 250 p. Tesis (Doctoral en Aplicación en Tecnología de Alimentos) - Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2010.

IXTAÍNA, V. Y. et al. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition Analysis**, Oxford, v. 24, p. 166-174, 2011.

IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Characterization of chia (*Salvia hispanica* L.) white and dark seeds and oils. In: TOMÁS, M. C. (Ed.). **Advances in fats and oils research**. Kerala: Transworld Research Network, 2010. p. 135-147.

IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Industrial Crops and Products**, St Martin d'Heres, v. 28, n. 3, p. 286-293, 2008.

JAHANBIN, K. et al. Isolation, purification and characterization of a new gum from *Acanthophyllum bracteatum* roots. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 14-21, 2012.

JEONG, S. K. et al. Effectiveness of tropical chia seed oil on pruritus of end-stage renal disease (ESRD) patients and healthy volunteers. **Annals of Dermatology**, Seoul, v. 22, n. 2, p. 143-148, 2010.

JUSTO, M. B. et al. Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 57, n. 1, p. 78-84, 2007.

KALÁB, M.; ALLAN-WOJM, P.; MILLER, S. S. Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 6, p. 177-186, 1995.

KAMMER, S. B. van de; GINKEL, L. van. Rapid determination of crude fiber in cereals. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 19, n. 4, p. 239-251, July/Aug. 1952.

LAAMAN, T. R. **Hydrocolloids in food processing**. New Delhi: Wiley-Blackwell, 2011. 350 p.

LIMA JUNIOR, F. A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* miller. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 33, p. 38-47, 2013.

LIN, K. Y.; DANIEL, J. R.; WHISTLER, R. L. Structure of chia seed polysaccharide exudate. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 23, n. 1, p. 13-18, 1994.

LUDWIG, T. et al. Metabolic and immunomodulatory effects of n-3 fatty acids are different in mesenteric and epididymal adipose tissue of diet-induced obese mice. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, Bethesda, v. 304, n. 11, p. E1140-E1156, 2013.

MARIN FLORES, F. M. et al. **Method for obtaining mucilage from *Salvia hispânica* L.** Heidelberg: Springer, 2008.

MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 6, p. 761-770, nov./dez. 2006.

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

MCCLEMENTS, D. J. Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability: critical reviews. **Food Science and Nutrition**, London, v. 47, p. 611-649, 2005.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A.; WEISS, J. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, p. 109-124, 2007.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1254-1555, 1992.

MILANI, J.; MALEKI, G. Hydrocolloids in Food Industry. In: VALDEZ, B. (Ed.). **Food Industrial Processes: methods and equipment**. Rijeka: InTech, 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-foodindustry>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

MOREIRA, R.; CHENLO F.; TORRES, M. D. Effect of chia (*Sativa hispanica* L.) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. **LWT - Food Science and Technology**, Oxford, v. 50, n. 1, p. 160-166, Jan. 2013.

MUÑOZ, L. A. et al. Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 108, n. 1, p. 216-224, 2012.

OLIVOS-LUGO, B. L.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A.; TECANTE, A. Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). **Food Science and Technology International**, London, v. 16, p. 89-96, 2010.

OROZCO, B.; ROMERO, M. R. La chía, alimento milenario. **Industria Alimentaria**, México, v. 25, n. 5, p. 20–29, 2003.

PIZARRO, P. L. et al. Evaluation of whole chia (*Salvia hispánica*L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. **LWT - Food Science and Technology**, Oxford, v. 54, n. 1, p. 73-79, 2013.

PEIRETTI, P. G.; GAI, F. Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispánica* L.) seeds and plant during growth. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 148, p. 267–275, 2009.

RAMOS, S. C. F. **Avaliação das propriedades gelificantes da farinha de chia (*Salvia hispánica* L.):** desenvolvimento de novas aplicações culinárias. Dissertação (Mestrado em Ciências Gastronómicas) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. 111 p.

RAO, M. A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. (Ed.). **Engineering properties of foods**. New York: M. Dekker, 1986. (Food Science and Technology Series, 19).

RAO, M. A.; TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 38, p. 123-132, 1999.

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

RUBIO, M. A. Implicaciones de la fibra en distintas patologías. **Nutrición Hospitalaria**, Madrid, v. 2, p. 17–29, 2002.

RUPFLIN, D. I. A. **Caracterización de la semilla del chan (Salvia hispanica L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente.** 2011. Disponível em: <http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero-23/REVISTA_23_pag_43-49.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2015.

SAMAVATI, V.; SKANDARI, F. Recovery, chemical and rheological characterization of gum from *Assyrian palm*. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 67, p. 172–179, 2014.

SATO, A. K.; CUNHA, R. L. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 890-896, 2007.

SCHEER, J. F. **The Magic of Chia: revival of an ancient wonder food.** Berkeley: Frog Book, 2001.

SCHIFF, W. J. **Nutrition for healthy living.** New York: McGraw, 2009.

SCIARINI, L. et al. **Extracción y caracterización del hidrocoloide de la semilla de Gleditsia triacanthos.** Córdoba: Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2005.

SEGURA-CAMPOS, M. R. et al. Biological potential of chia (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. **Food Science and Technology**, London, v. 50, p. 1-9, 2012.

SEGURA-CAMPOS, M. R. et al. Whole and crushed nutlets of chia (*Salvia hispanica*) from Mexico as a source of functional gums. **Food Science Technology**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 701-709, Oct./Dec. 2014.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments.** Washington: Wiley Interscience, 2000. 348 p.

SIMOPOULOS, A. P. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. **Journal of the American of College Nutrition**, New York, v. 21, p. 495-505, 2002.

STEFFE, F. L. **Rheological methods in food process engineering**. East Lansing: Freeman, 1996. 418 p.

TABATABAEE, A. B.; MIRHOSSEINI, H. Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durianseed gum. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 90, p. 452-461, 2012.

TAGA, M. S.; MILLER, E. E.; PRATT, D. E. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. **Journal of American Oil Chemist's Society**, Berlin, v. 61, p. 928-931, 1984.

THANATCHA, R.; PRANEE, A. Extration and characterization of mucilage in *Ziziphus mauritiana* Lam. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 18, p. 201-212, 2011.

VASQUEZ, C. T. **Reologia do suco de goiaba**: efeito da diluição e do tamanho de partícula. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VÁZQUEZ-OVANDO, J. A. et al. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). **Food Science and Technology**, London, v. 42, p. 168-173, 2009.

VÁZQUEZ-OVANDO, J. A. et al. Procesamiento en seco de harina de chia (*Salvia hispanica*L.): caracterización química de fibra y proteína. **CyTA - Journal of Food**, London, v. 8, n. 2, p. 117-127, 2010.

WANG, X. et al. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 89, p. 149-156, 2011.

WINDSOR, J. B. et al. Arabidopsis seed coat development: morphological differentiation of the outer integument. **The Plant Journal**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 483–493, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12768890>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

WU, Y. et al. An investigation of four commercial galactomannans on their emulsion and rheological properties. **Food Research International**, Barking, v. 42, n. 8, p. 1141-1146, Oct. 2009.

WU, Y. et al. The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). **Food Chemistry**, London, v. 168, p. 366–371, 2015.

YADAV, M. P. et al. Molecular characteristics of corn fiber gum and their influence on its emulsifying properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 84, n. 2, p. 175, 2007.

ZANQUI, A. B. et al. Composição centesimal de chia e quantificação de ácidos graxos do óleo obtido por método convencional e fluido subcrítico. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8., 2013, Maringá. **Anais...** Maringá: UNICESUMAR 2013.

ZÓIA, D. As gomas exudadas de plantas. **Revista Food Ingredients Brasil**, São Paulo, n. 17, p. 16, 2011.