UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

IBETH KARINA NIEVES ORTIZ

Efeito da concentração de farinha de chia nas propriedades viscoelásticas da massa e características físicas do biscoito

PIRASSUNUNGA

2018

IBETH KARINA NIEVES ORTIZ

Efeito da concentração de farinha de chia nas propriedades viscoelásticas da massa e características físicas do biscoito

(Versão corrigida)

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, caracterização e aplicação de materiais voltados à agroindústria.

Orientadora: Profa. Dra. Izabel Cristina Freitas Moraes.

PIRASSUNUNGA

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

NI12e Nieves Ortiz , Ibeth karina
Efeito da concentração de farinha de chia nas
propriedades viscoelásticas da massa e
características físicas do biscoito / Ibeth karina
Nieves Ortiz ; orientadora Izabel Cristina Freitas
Moraes. -- Pirassununga, 2018.
96 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
Universidade de São Paulo.

1. Doença celíaca. 2. fécula de mandioca. 3.
farinha de chia. 4. viscoelasticidade. 5.
propriedades de textura. I. Freitas Moraes, Izabel
Cristina, orient. II. Título.

Data da aprovação: 18/05/2018

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Izabel Cristina Freitas Moraes

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP)

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr^a. Maria Teresa Clerici

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Prof. Dr^a. Cynthia Ditchfield

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP)

Prof. Dr^a. Fernanda Maria Vanin

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP)

*Dedico a Deus por me escutar, amar e permitir-me
conquistar todos meus sonhos.*

Agradecimentos

A Deus por guiar meus passos, por ser minha força e por sempre cumprir suas promessas.

Aos meus pais Wilman e Ibeth que me ensinaram a voar num mundo onde ninguém acredita nas asas.

Ao meu marido Juan Naranjo por apagar a distância com amor, por ser meu equilíbrio, meu sustento e por sempre encontrar um jeito de me motivar. Obrigada por ter me acompanhado nesta conquista e por fazer dos meus sonhos seus sonhos.

A meu irmão Hernan pela confiança e a minha sobrinha Manuela Nieves Bornacelli, por mudar minha vida e ser minha fonte de inspiração e felicidade.

A minha orientadora a professora Izabel Cristina Freitas Moraes por todo o conhecimento, paciência, amor e dedicação. Obrigada pela amizade e confiança que fizeram desta experiência uma maravilhosa história. Na minha alma você sempre será uma mãe.

Aos professores Oswaldo Campanella, Rafael Sousa e Maria Teresa Clerici, por seus aportes fundamentais no desenvolvimento desta pesquisa.

A Pró-Reitora da USP de Pós-Graduação pela bolsa concedida para desenvolver esta pesquisa.

Aos meus anjos Andrés Montero e José Reyes, obrigada por sempre ter tempo e disposição para resolver minhas dúvidas, me explicar e me ajudar a entender melhor tudo.

A Mariana, Nataly e Bruna pelo carinho e apoio o tempo todo. Obrigada por ter sido minha família neste belo país, vocês ficaram no meu coração eternamente. Vou sentir muitas saudades de vocês.

Obrigada aos meus amigos Santiago, Mejía, Andrea, Julian, e especialmente a Carolina pelas risadas e momentos bons.

A Camila por sua disponibilidade e todos os meus colegas do Laboratório de Polímeros Naturais e Biomateriais. Parceiros Jaiber, Giselle e Lia obrigada pelos momentos de descontração e afeto.

Aos meus grandes amigos Agustín e María, agradeço muito por todo seu amor. Vocês são a coisa mais linda que o Brasil me deu.

A Carolina Galvis e a minha Ena Maria pelo grande amor recebido durante as férias.

A minhas irmãs de vida Latife Luquez e Estefania Villamizar que torceram da casa por mim e ficaram ao meu lado enchendo meu coração de ânimo. Muito obrigada mesmo.

E a todos aqueles que compartilham seu tempo comigo e que com seu ajuda fizeram meus dias mais fácieis ao longo destes anos.

A sabedoria nos chega quando já é tarde demais.

(Gabriel Garcia Márquez).

RESUMO

NIEVES-ORTIZ, I.K. **Efeito da concentração de farinha de chia nas propriedades viscoelásticas da massa e características físicas do biscoito.** 2018. 96 f. dissertação (mestrado) – faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

A doença celíaca (DC) é uma doença autoimune causada pela intolerância ao glúten e o único tratamento existente é sua exclusão permanente na dieta. O glúten apresenta propriedades viscoelásticas que proporcionam características físicas e sensoriais desejáveis nos produtos de panificação e sua remoção, muitas vezes pode dificultar o desenvolvimento desses produtos. Dessa maneira, o objetivo desta pesquisa foi estudar o efeito da farinha de chia sobre as características reológicas das massas sem glúten e avaliar a influência dessas características sobre os atributos físicos dos biscoitos. A farinha de chia foi usada para substituir (10, 20 e 30) % de fécula de mandioca e também foi formulado um biscoito sem farinha de chia, como controle. A adição de farinha de chia alterou as propriedades de hidratação da massa, seu alto conteúdo de fibras, proteínas e mucilagem elevaram significativamente ($p < 0,05$) os teores de capacidade de absorção de água (CAA), capacidade de retenção de água (CRA) e volume de inchamento (VI). Os resultados da varredura de frequência mostraram que o módulo de armazenamento (G') foi superior ao módulo de perda (G'') para todas as massas, indicando um comportamento sólido-elástico. À medida que aumentou a porcentagem de farinha de chia nas formulações dos biscoitos foram obtidas massas com menor viscosidade extensional biaxial e maior recuperação elástica. Os modelos matemáticos da abordagem da derivada fracionária e de Burgers foram ajustados aos pontos experimentais do teste de fluência e recuperação com bons coeficientes de determinação ($R^2 \sim 0,97$). Os parâmetros reológicos desses modelos obtidos para as massas foram correlacionados às propriedades físicas do biscoito e podem ser usados como indicadores de qualidade na elaboração de biscoito sem glúten. A substituição da fécula de mandioca por 30% de farinha de chia resultou em biscoitos com maior densidade aparente, umidade e firmeza, menor valor para o fator diâmetro/espessura e coloração na superfície mais escura. Correlações significativas entre as propriedades físicas dos biscoitos e o parâmetro de recuperação elástica (ensaio de fluência e recuperação) e de viscosidade extensional biaxial da massa foram obtidas. Os resultados encontrados sugerem que os ensaios reológicos aplicados à massa poderiam ser correlacionados com algumas propriedades finais (densidade, fator de espalhabilidade e textura) dos biscoitos, e que a substituição parcial de farinha de chia poderia ser utilizada para melhorar as características físicas e nutricionais na produção de biscoitos sem glúten.

Palavras-chave: doença celíaca, fécula de mandioca, farinha de chia, viscoelasticidade, propriedades de textura.

Abstract

NIEVES-ORTIZ, I.K. **Effect of chia flour concentration on the viscoelastic properties of the dough and physical characteristics of the biscuit.** 2018. 96 f. dissertação (mestrado) – faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Celiac disease (CD) is an autoimmune disease caused by gluten intolerance, and the only existing treatment is its permanent exclusion from the diet. Gluten has viscoelastic properties that provide desirable physical and sensory characteristics in bakery products and its removal can often hamper the development of these products. Thus, the aim of this study was to investigate the effect of chia flour on rheological characteristics of gluten-free doughs and to evaluate the influence of these characteristics on the physical attributes of the biscuits. Chia flour was used to replace (10, 20 and 30) % of cassava starch and also as control biscuit without chia flour was formulated. The addition of chia flour altered the hydration properties of the dough, its high content of fibers, proteins and mucilage significantly increased ($p < 0.05$) water absorption capacity (WCA), water retention capacity (WCR) and swelling volume (VS). The frequency sweep results showed that the storage modulus (G') was higher than loss modulus (G'') for all doughs, indicating a solid-elastic behavior. As the percentage of chia flour increased in the biscuit formulations the doughs with lower apparent biaxial extensional viscosity and greater elastic recovery. The mathematical models of the fractional derivative modelling approach and Burgers were adjusted to the experimental points obtained in the fluency and recovery test with a good coefficient of determination ($R^2 \sim 0.97$) and the rheological parameters of these models were correlated to the physical properties of the biscuit and can be used as indicators of quality in the preparation of gluten-free biscuits. The replacement of cassava starch with 30% of chia flour resulted in biscuits with higher bulk apparent density, moisture and firmness, lower diameter/thickness factor and darker surface coloration. Significant correlations between the physical properties of the biscuit doughs and the rheological parameters (creep and recovery test) and biaxial extensional viscosity were obtained. The results suggest that rheological tests applied to the doughs could be correlated with some final properties (density, spreading factor, texture) of the biscuits, and that the partial substitution of cassava starch with chia flour could be used to improve the physical and nutritional characteristics in the manufacture of gluten-free biscuits.

Keywords: Celiac disease, cassava starch, chia flour, viscoelasticity, texture properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da (A). amilose e (B). amilopectina.....	8
Figura 2 - Curvas de deformação em função do tempo para o teste de fluência e recuperação.	18
Figura 3 - Módulo de armazenamento (G') em função da deformação para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% (Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.....	43
Figura 4 - Módulos de armazenamento G' (símbolos fechados) e de perda G'' (símbolos abertos) em função da frequência para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% (Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.....	44
Figura 5 - Tangente do ângulo de fase ($\tan \delta$) em função da frequência para as massas de biscoitos nas concentrações (m/m) de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% (Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.	46
Figura 6 - Curvas obtidas no teste de fluência e recuperação para as massas de biscoitos com concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20%(Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia. Símbolos: pontos experimentais; linha contínua: Modelo baseado no cálculo de derivada fracionária (A) e Modelo de Burgers (B).	49
Figura 7 - Perfil de viscosidade extensional biaxial em função da deformação para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20%(Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.....	53
Figura 8 - Micrografias das massas de biscoitos nas concentrações de 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30) de farinha de chia. Com Magnitudes de visualização: 500x na direita e 1500x na esquerda.	56
Figura 9 - Biscoitos sem glúten formulados a base de fécula de mandioca com substituição parcial de farinha de chia: 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ingredientes usados na formulação de biscoitos sem glúten com diferentes conteúdos de farinha de chia: 0% (FC0, controle); 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30). ...	27
Tabela 2 - Composição centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia (g.100 g ⁻¹ base seca).	35
Tabela 3 - Frações de fibra dietética (base seca) da farinha de chia desengordurada.	38
Tabela 4 - Propriedades de hidratação e absorção de óleo da fécula de mandioca (FM) e da farinha de chia (FC) e suas misturas: FM:FC: 100:0 (FC), 90:10 (FC10), 80:20 (FC20) e 70:30 (FC30).	40
Tabela 5 – Constantes da equação Lei de Potência e os coeficientes de determinação para as massas de biscoitos com 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30) (m/m) de farinha de chia.	47
Tabela 6. Parâmetros de ajuste do modelo de derivadas fracionadas para massas de biscoitos sem glúten.	50
Tabela 7 - Parâmetros de ajuste do modelo Burguers para massas de biscoitos sem glúten....	59
Tabela 8 - Parâmetros físicos dos biscoitos sem glúten a base de fécula de mandioca com substituição parcial de farinha de chia: 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30).	59
Tabela 9. Coeficientes de correlação entre as características reológicas da massa e os parâmetros físicos dos biscoitos.	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Doença celíaca	6
3.2. Amido.....	7
3.2.1. Fécula de mandioca.....	9
3.3. Chia	10
3.3.1. Funcionalidade da chia nas massas de panificação	11
3.4. Biscoito	12
3.4.1. Ingredientes do biscoito.....	13
3.4.1.1. Água	13
3.4.1.2. Açúcar	13
3.4.1.3. Gordura.....	14
3.5. Caracterização reológica.....	14
3.5.1. Cisalhamento oscilatório	16
3.5.2. Ensaio de fluência e recuperação.....	17
3.5.3. Ensaio de compressão biaxial.....	20
3.6. Propriedades físicas dos biscoitos	22
3.6.1. Textura	22
3.6.2. Cor	22
3.7. Microscopia eletrônica de varredura.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Materiais.....	24
4.2. Metodologia	24

4.2.1. Caracterização da matéria prima	24
4.2.1.1. Análise de composição centesimal	24
4.2.1.2. Propriedades de hidratação e absorção de óleo.....	25
4.2.2. Formulação e preparação dos biscoitos	26
4.2.3. Caracterização reológica da massa	28
4.2.3.1. Ensaios em cisalhamento oscilatórios: varredura de deformação e varredura de frequência	29
4.2.3.2. Ensaio de Fluência e recuperação	29
4.2.3.3. Ensaio de compressão biaxial lubrificada	31
4.2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	32
4.2.5. Densidade aparente da massa dos biscoitos.....	32
4.2.6. Caracterização física dos biscoitos	32
4.2.6.1. Densidade aparente dos biscoitos.....	33
4.2.6.2. Espalhamento dos biscoitos	33
4.2.6.3. Textura dos biscoitos	33
4.2.6.4. Determinação da umidade dos biscoitos	34
4.2.6.5. Determinação da cor da superfície dos biscoitos	34
4.2.7. Análises estatísticas	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. Caraterização da matéria prima.....	35
5.1.1.Composição centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia... 35	
5.1.2. Propriedades de hidratação	40
5.2. Caracterização da massa de biscoito	42
5.2.1.Cisalhamento oscilatório	43
5.2.2.Ensaio de fluência e recuperação.....	48
5.2.3.Ensaio de compressão biaxial lubrificada	52

5.2.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	55
5.2.5. Densidade aparente da massa dos biscoitos	58
5.3. Caracterização física do biscoito	58
5.3.1. Densidade aparente do biscoito	59
5.3.2. Espalhamento do biscoito	60
5.3.3. Textura dos biscoitos	61
5.3.4. Umidade dos biscoitos	62
5.3.5. Cor da superfície dos biscoitos	62
5.4. Correlação dos parâmetros reológicos com as propriedades físicas do biscoito	63
6. CONCLUSÕES	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	69

1. INTRODUÇÃO

A doença celíaca (DC) é uma enteropatia autoimune complexa causada por uma intolerância permanente ao glúten em indivíduos geneticamente susceptíveis. As manifestações clínicas da DC podem envolver o trato gastrointestinal, assim como a pele, o fígado, os ossos e os sistemas nervoso, reprodutivo e endócrino (REWERS, 2005). O tratamento da doença celíaca é fundamentalmente dietético e consiste na exclusão do glúten nos alimentos consumidos (ARAÚJO et al., 2010). No entanto, um dos principais problemas encontrados após o diagnóstico da DC é a falta da disponibilidade de produtos sem glúten no mercado e a manutenção de uma alimentação adequada (ZARKADAS et al., 2006).

A substituição do glúten nos produtos de panificação é um grande desafio tecnológico, pois é a proteína essencial para a construção de estruturas e sua remoção dificulta a capacidade da massa para se desenvolver adequadamente, ocasionando defeitos de qualidade pós-cozimento (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004). Os produtos isentos de glúten são frequentemente inferiores em relação ao sabor, cor, textura e sensação na boca (O'SHEA; ARENDT; GALLAGHER, 2014)

Portanto, substâncias que proporcionam as propriedades viscoelásticas do glúten são necessárias para fornecer uma boa estrutura na massa (MARIOTTI et al., 2009). Os amidos podem ser adicionados para aumentar a viscosidade e proporcionar algumas habilidades de ligação à massa (HORSTMANN et al., 2016). As principais fontes de amido nos produtos sem glúten são a mandioca, a batata, o milho e o arroz (JOUANIN et al., 2017).

A fécula (ou amido) de mandioca é produzida a partir de raízes de mandioca, sendo uma das fontes de amido mais utilizadas na indústria de alimentos, apresenta alta viscosidade, aparência clara e baixo custo de produção em comparação a outros amidos (MOORE; et al., 1984). Contém de (14 a 27%) de amilose, apresenta alto poder de inchamento e baixa

solubilidade (RICKARD; ASAOKA; BLANSHARD, 1991). A fécula de mandioca pode ser empregada diretamente na formulação de alimentos panificáveis (SHITTU et al., 2008). No entanto, a falta de proteína adequada é muitas vezes uma desvantagem para seu uso exclusivo em produtos deste tipo, devido à limitação da elasticidade da massa e características nutricionais dos produtos (KIM; RUITER, 1968).

A dieta sem glúten pode levar a possíveis deficiências nutricionais de fibras, proteínas e micronutrientes específicos ou excesso de nutrientes como lipídios, açúcares e sal (SATURNI; FERRETTI; BACCHETTI, 2010). Os produtos sem glúten normalmente contêm mais carboidratos e lipídios (principalmente gordura saturada) em comparação aos homólogos contendo glúten, para tentar compensar as propriedades tecnológicas, resultando em alimentos altamente calóricos (THEETHIRA; DENNIS, 2015).

A inclusão de substâncias com características funcionais nos alimentos tem crescido, talvez isso se deva ao aumento da conscientização sobre as doenças evitáveis, juntamente com uma expansão de veículos educacionais que explicam os benefícios destas substâncias (WILDMAN, 2001). As farinhas compostas são amplamente utilizadas na indústria de panificação para desenvolver produtos alimentares, com propriedades nutricionais ou funcionais específicas (JISHA; PADMAJA, 2011). Estudos anteriores mostraram que a fécula de mandioca poderia ser transformada em farinha funcional, com muitos atributos desejáveis através da mistura apropriada com fontes de cereais, leguminosas ou fibras (JISHA; PADMAJA; SAJEEV, 2010).

Sementes, pseudocereais, legumes e nozes podem substituir o glúten, melhorando a qualidade nutricional e tecnológica dos produtos (KUPPER, 2005). As sementes de chia são compostas principalmente de lipídeos, cerca de 40% da massa total da semente, fibra dietética, acima de 30% da massa total, e proteínas, de 19 a 23% (AYERZA; COATES, 2002; JOSEPH, 2004; AYERZA; COATES, 2002; JOSEPH, 2004). Dentre os seus constituintes destacam-se o conteúdo de ácido α -linolênico (ω -3, ~ 57%) (AYERZA;

COATES, 2002; JOSEPH, 2004), e o perfil adequado de aminoácidos essenciais, como a lisina, a metionina e a cistina, presentes em quantidades maiores que em outras oleaginosas (AYERZA; COATES, 2005). A chia contém maior teor de proteínas em comparação a outros alimentos tradicionais como o trigo (14%), o milho (14%), o arroz (8,5%), a aveia (15,3%) e a cevada (9,2%) (AYERZA; COATES, 2011), sendo a sua farinha considerada como uma excelente alternativa para a elaboração de produtos panificáveis sem glúten.

A fécula de mandioca e a farinha de chia podem ser uma alternativa interessante na área de panificação, a mistura destes ingredientes é uma opção para o desenvolvimento de produtos sem glúten, ricos em fibras e proteínas, capazes de cumprir com os requisitos nutricionais de produtos elaborados para pacientes celíacos. É conhecido das pesquisas realizadas que a farinha de chia funciona como um bom substituto em pequenas quantidades, atribuindo características desejáveis aos produtos panificáveis (INGLETT; CHEN; LIU, 2014; VERDU et al., 2015; ZETTEL et al., 2014). Alguns estudos de biscoitos a base de fécula de mandioca usaram outros compostos como fibras ou diferentes tipos de farinhas (soja, quinoa e linhaça) para melhorar as propriedades físicas (textura, dureza, volume, cor, etc.) e nutricionais do produto final (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008; MESQUITA; LEONEL; MISCHAN, 2013; TAVERNA; LEONEL; MISCHAN, 2012).

A avaliação reológica das massas é de vital importância para a indústria de panificação. O estudo das propriedades reológicas e o conhecimento da estrutura das massas contribuem para prever o processamento e a qualidade dos produtos finais (ROSS; PYRAK; CAMPANELLA, 2004). A aplicação de ensaios reológicos como fluência e recuperação e de compressão biaxial (viscosidade extensional) são importantes para estudar as características viscoelásticas da massa.

Não foi encontrada nenhuma informação na literatura sobre a mistura de fécula de mandioca e farinha de chia na elaboração de biscoitos sem glúten. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da farinha de chia sobre as

propriedades reológicas e a microestrutura da massa e correlacionar essas características com a qualidade dos biscoitos sem glúten.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi estudar o efeito da substituição parcial da fécula de mandioca por farinha de chia nas características viscoelásticas da massa sem glúten e avaliar a influência dessas características sobre as propriedades físicas dos biscoitos.

Os objetivos específicos foram:

- Formular biscoitos com substituição de (10, 20 e 30) % da fécula de mandioca por farinha de chia.
- Determinar as propriedades de hidratação da farinha chia e suas misturas com a fécula de mandioca.
- Estudar as características viscoelásticas das massas dos biscoitos formulados com diferentes conteúdos de farinha de chia.
- Avaliar o efeito da adição de farinha de chia nas propriedades físicas dos biscoitos desenvolvidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Doença celíaca

A doença celíaca (DC) é considerada uma doença autoimune, que provoca danos na mucosa do intestino grosso de indivíduos geneticamente susceptíveis à ingestão do glúten, termo utilizado para descrever frações proteicas encontradas no trigo, centeio, cevada, aveia e em seus derivados (ARAÚJO et al., 2010). Esta doença é considerada uma síndrome alimentar e seu tratamento exige uma dieta isenta de produtos que contêm glúten (ARAÚJO et al., 2010; VOLLMER et al., 1999). As manifestações clínicas da doença celíaca podem envolver o trato gastrointestinal, assim como a pele, o fígado, os ossos e o sistema nervoso, endócrino e reprodutivo (REWERS, 2005). Podendo levar a anemia crônica, osteoporose, osteopenia e em longo prazo eventuais neoplasias (linfomas e carcinomas no intestino), se não for diagnosticada e tratada corretamente (ARAÚJO et al., 2010).

Alguns produtos sem glúten são encontrados no mercado, contudo estes não são produzidos em larga escala e normalmente têm um elevado valor comercial. Fry, Madden e Fallaize (2018) estudaram recentemente a composição nutricional e o custo de alimentos sem glúten e verificaram que, em média, os produtos sem glúten foram 159% mais caros que os regulares. Singh e Whelan (2011) constataram que os produtos sem glúten custavam de (76–518)% a mais que os produtos similares contendo glúten. Burden et al. (2015) encontraram que os alimentos sem glúten eram 4,1 vezes mais caros do que os equivalentes regulares. No Brasil, uma diferença significativa no custo entre os alimentos sem glúten e os produtos regulares foi relatada para os produtos de panificação (BAGOLIN DO NASCIMENTO et al., 2014)

Além disso, muitos produtos sem glúten não apresentam as características físicas e sensoriais que o consumidor está acostumado. Existem estudos recentes sugerindo que não há vantagem nutricional para uma dieta sem glúten em relação a uma dieta regular (STAUDACHER; GIBSON, 2015). Normalmente a dieta sem glúten pode levar a possíveis deficiências

nutricionais de fibras, proteínas e micronutrientes específicos ou excesso de nutrientes como lipídios, açúcares e sal (SATURNI; FERRETTI; BACCHETTI, 2010).

A formulação de produtos panificáveis sem glúten representa um desafio para a indústria. O desenvolvimento de pesquisas em alimentos sem glúten revela que o uso de produtos como amidos, hidrocolóides (ou gomas) e outras combinações que representam uma alternativa para a substituição do glúten, pode melhorar a estrutura, o paladar, a aceitabilidade e a vida de prateleira dos produtos (ALVAREZ; ARENDT; GALLAGHER, 2009).

3.2. Amido

O amido é um dos compostos orgânicos mais importantes e abundantes na natureza, está presente em sementes (30% a 50% massa seca) cereais (40% a 90% massa seca) e tubérculos (65% a 85% massa seca). Esse polímero constitui a principal fonte de reserva destas plantas e seu consumo representa cerca de (70-80) % das calorias ingeridas na dieta humana, sendo assim empregado como combustível pelas células do organismo (LAJOLO; MENEZES, 2006; VALCÁRCEL; RONDÁN; FINARDI, 2013).

O amido se organiza na forma de grânulos, que são pequenas unidades individuais e relativamente densas. Os grânulos se desenvolvem ao redor do ponto de nucleação, e a forma e o tamanho variam entre os vegetais (LIU, 2005; RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina (Figura 1). A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, que originam uma cadeia linear, enquanto que a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, que formam uma estrutura ramificada. Essas estruturas diferem em relação às fontes botânicas, variedades, ou grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004).

Figura 1 - Estrutura da (A). amilose e (B). amilopectina.

Fonte: LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

A maioria dos amidos contém entre (20 e 30) % de amilose e (70 e 80) % de amilopectina (BILIADERIS, 1991). O conteúdo de amilose influencia as propriedades nutricionais e tecnológicas, como também a susceptibilidade à hidrólise enzimática, a gelatinização e o comportamento da pasta (WHISTLER, 1984). Enquanto a amilopectina absorve muita água durante a cocção do amido e é a grande responsável pelo inchamento do grânulo (JANE, 1995).

Além da amilose e da amilopectina, os grânulos de amido contêm água, fibras, lipídios, minerais e proteínas. Estes elementos estão presentes em pequenas quantidades e geralmente são denominados “constituintes menores” (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995; BULEON et al., 1998). No processo de extração de amido, é importante que a matéria-prima apresente teores baixos

desses componentes, porque podem interferir no processo de extração, alterando o rendimento final e a pureza do amido (PERONI, 2003).

A presença de ácidos graxos livres e fosfolipídios nos amidos podem formar complexos insolúveis com algumas moléculas de amilopectina e reduzir sua capacidade de intumescimento (CRAIG et al., 1989). Os amidos de raízes e tubérculos contêm pouco ou nenhum fosfolipídios (LIM; KASEMSUWAN; JANE, 1994).

Os amidos podem atuar como espessante, estabilizante, ligante de água, fornecedores de sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento (BARBOSA, 2013; CEREDA, 2002).

3.2.1. Fécula de mandioca

A legislação Brasileira define fécula como a fração amilácea originária de raízes e tubérculos (BRASIL, 2005).

A fécula de mandioca é um produto extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais, apresenta aproximadamente 18% de amilose, enquanto que os amidos de cereais possuem 22%, devido a essa diferença, os géis de amidos de cereais são rígidos, e os de tuberosas são viscosos e transparentes (FRANCO et al., 2001). De modo geral, a fécula de mandioca é constituída do polissacarídeo quase puro (99,26%), contendo aproximadamente 0,34% de proteína, 0,22% de lipídeos e 0,06% de cinzas (AMANTE, 1986).

A extração da fécula de mandioca é simples, obtendo-se facilmente um produto puro e branco, que não apresenta nem o sabor e nem o aroma, característicos dos cereais, o que é desejável para muitos produtos alimentícios (DEMIATE et al., 2005).

A fécula de mandioca é empregada diretamente na formulação de alimentos panificáveis como, pães, bolos, biscoitos e massas alimentícias (RODRIGUES, 2010; SHITTU et al., 2008).

Leonel, Martins e Mischan (2010) elaboraram biscoitos extrusados a base de farinha de soja com substituição parcial da fécula de mandioca (polvilho azedo, 5,7%, 10%, 20% 30% e 34,3%). Esses autores obtiveram biscoitos funcionais com elevada expansão, índices intermediários de absorção e solubilidade em água, cor clara e baixa dureza.

Avelar (2015) elaborou biscoitos tipo *grissini* a base de fécula de mandioca. Como resultado obteve biscoitos com um elevado teor de gorduras e textura mais crocante.

Ferreira (2014) estudou o efeito da substituição da fécula de mandioca em biscoitos tipo polvilho, produzidos a base de fécula de açafrão. Os biscoitos de açafrão com substituição parcial de fécula de mandioca apresentaram maior dureza, crocância, volume, densidade aparente, diâmetro e comprimento que os biscoitos controle (fécula de açafrão 100%).

3.3. Chia

A chia (*Salvia hispânica*) é uma planta herbácea anual originária de áreas montanhosas do oeste e centro do México (GANZAROLI; TANAMATI; SILVA, 2012). Sua cultura foi expandida até a América do Sul despertando o interesse por esta semente, por ser considerada como um alimento com significativo valor nutricional (AYERZA; COATES, 2005; JIN et al., 2012). O México exporta quantidades crescentes de sementes de chia para o Japão, os Estados Unidos e a Europa (JIMÉNEZ, 2010).

No Brasil, as primeiras regiões que começaram a investir no cultivo de chia foram o oeste Paranaense e noroeste do Rio Grande do Sul,

apresentando bons resultados, apesar da pouca informação presente (MIGLIAVACCA; VASCONCELOS; SANTOS, 2014).

A chia é composta por proteínas (15- 25%), lipídeos (30 a 33%), fibras (18-30%), carboidratos (26-41%), cinzas (4-5%), minerais e vitaminas (MOURÃO et al., 2014). Aproximadamente 57% dos ácidos graxos das sementes da chia correspondem ao ácido α -linolênico ômega-3, considerado como um composto essencial, já que o corpo não é capaz de sintetizá-lo (AYERZA, 1995; JOSEPH, 2004).

As principais proteínas encontradas nas sementes de cereais são as globulinas de armazenamento (SHEWRY; HALFORD, 2002). Sandoval-Oliveros e Paredes-López (2013) quantificaram as frações proteicas contidas na semente de chia e verificaram que a proporção é de 52% de globulina, 17,3% de albumina, 12,7% de prolaminas, 14,5% de glutelinas e 3,4% de proteínas insolúveis.

Outro componente encontrado em abundância na chia é a fibra (em torno de 33,5%) que tem grande capacidade de absorção de água, que aumenta o volume e eleva a saciedade (SANDOVAL; PAREDES, 2013; VAZQUEZ et al., 2009). A chia também é fonte de vitaminas (riboflavina, niacina, tiamina) e minerais (fósforo, ferro, potássio, zinco, magnésio e cobre) (BUENO et al., 2010).

3.3.1. Funcionalidade da chia nas massas de panificação

A chia pode ser usada na indústria de alimentos para melhorar a composição nutricional, as características organolépticas e a textura dos alimentos (CORRALO et al., 2014). O alto conteúdo proteico da chia pode ser explorado como um ingrediente atraente em produtos alimentícios processados, e também como suplemento nutricional, na fabricação de pães, bolos, barras de cereais e biscoitos (COELHO; SALAS, 2014; MARTÍNEZ et al., 2012). Um dos principais atrativos da chia na indústria de alimentos é que

não contém glúten (BUENO et al., 2010) e sua farinha é considerada uma excelente alternativa para pessoas celíacas (PEREIRA et al., 2013).

A maioria das pesquisas sobre a farinha de chia está direcionada para o estudo das massas na elaboração de pães (BRITO; MOREIRA, 2008; FERREIRA, 2013; VERDÚ et al., 2015).

3.4. Biscoito

A resolução CNNPA nº 12, de 1978 da Agência Nacional de Vigilância sanitária define biscoito ou bolachas como os produtos obtidos pela mistura de farinha (s), amido (s) ou fécula (s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 1978). Os biscoitos são classificados de acordo com os ingredientes que os caracterizam ou pela forma de apresentação, podendo ser do tipo salgado ou do tipo doce. Os do tipo *Grissini* são preparados com farinha, manteiga ou gordura, água e sal e apresentados sob a forma de cilindros finos e curtos. Outro tipo são os *waffles* que se apresentam sob a forma de folhas prensadas, podendo ter folhas superpostas em camadas intercaladas de recheio (MORETTO; FEET 1999).

Segundo dados da Abimapi (2017) o consumo *per capita* de biscoitos no Brasil foi de 8,2 kg/ano em 2016 e o Brasil ocupa a 4ª posição no *ranking* mundial de venda de biscoitos, estando atrás apenas da China, Estados Unidos e Índia , com vendas de R\$ 1.336,30 mil tons em 2016.

A operação de assamento do biscoito é a fase executada com o objetivo de remover a umidade, atribuir cor e propiciar uma série de reações químicas e físicas, que darão origem ao produto final. O resfriamento é uma das fases mais importantes do processamento do biscoito, o produto sai do forno mole e com alguma umidade, desta forma não pode ser embalado imediatamente, deve ser submetido ao resfriamento. Se essa fase não for bem conduzida,

pode ocorrer o fenômeno de *checking* ou quebra dos biscoitos (MORETTO; FEET, 1999).

3.4.1. Ingredientes do biscoito

Os biscoitos são feitos com gorduras, açúcar, farinhas, amidos, ovos, entre outros ingredientes e aditivos que conferem sabor característico ao biscoito (ATKINSON et al., 2003).

Os componentes essenciais das massas de biscoitos apresentam maior ou menor grau de importância em função do tipo de biscoito que se deseja fabricar. De maneira geral, os ingredientes complementares melhoram o aspecto e a maciez, aumentam a vida-de-prateleira, alteram o sabor e o valor nutricional (PAVANELLI, 2000).

3.4.1.1. Água

A quantidade de água adicionada à massa de biscoito influencia algumas propriedades físicas, como consistência, maleabilidade, extensibilidade e elasticidade (MORETTO; FEET 1999). As proteínas presentes na massa quando são hidratadas fornecem à massa características coesivas desejáveis. A água permite o inchamento dos grânulos de amido e faz com que os demais ingredientes que compõem a formulação do produto fiquem intimamente ligados na massa, assim as reações características dos processos de panificação se tornam possíveis (MANLEY, 2001).

3.4.1.2. Açúcar

Os açúcares são sólidos cristalinos, incolores, têm gosto doce e contribuem na conservação dos produtos (MORETTO et al., 2008). O açúcar afeta a estrutura física do produto proporcionando uma textura macia pela sua

ação no retardamento da temperatura de gelatinização do amido, o que dá mais tempo para o produto crescer de maneira uniforme. O açúcar reforça o sabor e aroma dos produtos e durante o cozimento é caramelizado, alterando a coloração dos biscoitos (BENNION; BENT; BAMFORD, 1997; VITTI; GARCIA; OLIVEIRA, 1998).

3.4.1.3. Gordura

A fonte de lipídeos é um dos componentes básicos da formulação de biscoitos e exerce uma série de funções, sendo assim adicionado em níveis relativamente altos. Algumas formulações apresentam conteúdo entre (30 e 60)% de lipídeos (JACOB; LEELAVATHI, 2007).

Tanto a gordura vegetal como a animal podem ser empregadas na produção de biscoitos. A gordura utilizada pode se apresentar no estado líquido, semilíquido ou sólido na temperatura ambiente (PHILIPPI, 2006).

A gordura produz massas mais macias e mais curtas e tem capacidade de melhorar a cor, desenvolver o preenchimento na boca, aumentar a estabilidade e a vida útil do produto final (MORAES et al., 2010).

3.5. Caracterização reológica

A reologia é o estudo da mecânica de deformação permanente ou temporária em um corpo, submetido a uma determinada tensão externa. Conceitos básicos de tensão (força/área) e deformação são fundamentais para todas as avaliações reológicas. Na reologia dos sólidos a deformação elástica é o parâmetro mais importante, enquanto que na reologia dos fluidos o parâmetro de maior interesse é a viscosidade (TATTERSALL; BANFILL, 1983). Muitos materiais apresentam comportamento mecânico intermediário entre esses dois extremos, evidenciando tanto a característica elástica como a

viscosa e são conhecidos como viscoelásticos (RAO; TATTIYAKUL, 1999; STEFFE, 1996).

Para um sólido elástico, a energia de deformação é armazenada e quando a força é removida, ele é capaz de recuperar sua forma inicial. No caso do fluido viscoso, a energia de deformação é dissipada na forma de calor e não pode ser recuperada se a força for removida (RAO; TATTIYAKUL, 1999). Os materiais viscoelásticos quando submetidos a uma tensão sofrem uma deformação e quando esta cessa, a recuperação de sua deformação é parcial e apresenta uma dependência com a temperatura, o tempo e a taxa de deformação (GANDUR, 2001).

Os testes reológicos fundamentais medem propriedades físicas bem definidas independentes do tamanho, forma e podem ser usados para o cálculo de *design* de processos e também contribui para o entendimento da estrutura do material. Os problemas encontrados na aplicação desses testes são o uso de instrumentos complexos e caros, tempo de análise, dificuldade de executá-los em ambiente industrial, exigência de habilidade técnica, frequentemente as condições de deformação não são apropriadas, dificuldade na interpretação dos resultados, escorregamento e efeitos de borda durante a análise. Entre esses testes destacam-se a oscilação dinâmica, fluência e recuperação, medidas extensionais e escoamento viscosimétrico (DOBRSZCZYK; MORGENSTERN, 2003).

O conhecimento do comportamento reológico de massas de produtos de panificação é importante para entender suas propriedades mecânicas, as quais influenciam as condições de processamento e a qualidade do produto final. A viscoelasticidade de uma massa está relacionada a vários fatores, tais como os ingredientes da formulação, temperatura, tempo e tipo de mistura.

A reologia oscilatória pode ser usada para a caracterização de materiais viscoelásticos em diferentes escalas de tempo, o que facilita o entendimento

das propriedades estruturais e dinâmicas de sistemas alimentícios (WYSS et al., 2008; YAO; LARSEN; WEITZ, 2008).

Outros testes reológicos fundamentais a serem utilizados são os ensaios de fluência e recuperação (*Creep and recovery*) e de compressão biaxial, a qual permite obter valores de viscosidade extensional.

3.5.1. Cisalhamento oscilatório

Nesse ensaio a amostra é colocada entre duas placas paralelas (ou entre uma placa e um cone de ângulo pequeno) e submetida a um deslocamento senoidal. A força gerada pelo movimento de uma placa é transmitida através da amostra para a outra placa e registrada. Se o material entre as placas é um material perfeitamente elástico, a Lei de Hooke rege a relação tensão-deformação e, portanto, as funções da onda de tensão e de deformação terão um atraso de 0° (em fase). Por outro lado, se o material for um líquido viscoso, se aplica a lei de Newton e a defasagem será de 90° (fora de fase). Um material viscoelástico terá um ângulo de fase δ , entre 0° e 90° (MASI; CAVELLA; PIAZZA, 2001).

De todos os parâmetros, pode se calcular o módulo complexo de cisalhamento $G^* = G' + G''$ da amostra viscoelástica. A parte real G' , chamada de módulo de armazenamento ou módulo elástico mede o caráter sólido da amostra e indica que a energia de tensão é armazenada temporariamente durante o teste e pode ser recuperada posteriormente. A parte imaginária G'' , denominada de módulo de perda ou módulo viscoso está associada à energia dissipada pelos movimentos macromoleculares (MORRIS, 1995; VALENGA, 2007).

Demirkesen (2016) avaliou a viscoelasticidade da massa de biscoito sem glúten formulada com farinha de arroz, farinha de castanha e suas misturas em cisalhamento oscilatório. Esse autor observou que os valores do módulo de armazenamento (G') foram superiores ao módulo de perda (G'') para todas as

amostras, indicando um comportamento sólido e elástico na massa de biscoito. A incorporação da farinha de castanha proporcionou massas com valores de módulo complexos (G^*) mais elevados, devido à sua maior capacidade de retenção de água e estrutura fibrosa.

Mancebo, Rodriguez e Gómez (2016) estudaram o comportamento viscoelástico da massa de biscoito sem glúten a base de farinha de arroz, com substituição parcial de amido de milho e proteína de ervilha. Os autores reportaram que o módulo de armazenamento (G') foi maior que o módulo de perda (G''), o que sugere um comportamento sólido elástico das massas de biscoitos estudadas. A adição de proteína aumentou os valores (G'), (G'') e ocasionou uma diminuição na tangente do ângulo de fase ($\tan \delta$). Não foi encontrada uma tendência clara de adição de amido nas propriedades reológicas da massa.

3.5.2. Ensaio de fluência e recuperação

O ensaio de fluência é realizado a uma tensão constante por um determinado período de tempo, sendo a deformação observada em função do tempo. Após este período, a tensão é completamente removida, seguindo-se então uma fase de recuperação da deformação (Figura 2). Em materiais viscoelásticos, a recuperação da deformação aplicada é parcial e controlada pela característica elástica ou viscosa da amostra, situando-se em uma posição intermediária entre um sólido e um líquido. Quanto maior for a recuperação, maior será a característica elástica da amostra (Figura 2) (IAGHER; REICHER; GANTER, 2002).

Na curva de fluência, a resposta de um material, é dada pela compliancia elástica instantânea J_0 , seguida, por um período transiente, no qual se verifica as propriedades elásticas e viscosas. Após um tempo suficientemente longo, a deformação aumenta linearmente com o tempo e se

aproxima de um escoamento estacionário no qual a taxa de deformação é constante (GIBOREAU; CUVELIER; LAUNAY, 1994).

Figura 2 - Curvas de deformação em função do tempo para o teste de fluência e recuperação.

Fonte: GIBOREAU, A.; CUVELIER, G.; LAUNAY, B. Rheological behavior of threebiopolymer/water system, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. **Journal of Texture Studies**, v. 25, p. 119–137, 1994.

A primeira parte da curva representa a deformação elástica rápida das ligações entre os elementos estruturais da massa, essas ligações se quebram e se refazem mostrando em um nível macroscópico, tanto o comportamento elástico como o comportamento viscoso. A segunda curva representa a resposta viscosa do material, ocasionada quando um estado estacionário é alcançado, nessa fase qualquer aumento adicional na tensão de fluência ou na compatibilidade de deslizamento deve-se unicamente ao fluxo (ROUILLÉ et al., 2005).

Ronda, Villanueva e Collar (2014) aplicaram o teste de fluência e recuperação para avaliar o comportamento viscoelástico das massas sem glúten a base de amido de arroz enriquecidas com diferentes proteínas (albumina de ovo, caseinato de cálcio, proteína de ervilha e proteína de soja 0, 5 e 10%) e ácidos (acético e láctico, 0,5%). O modelo de Burguers foi ajustado aos pontos experimentais obtidos nos testes de fluência e recuperação. As

curvas de recuperação elástica das massas mostraram um comportamento viscoelástico típico. A incorporação de proteínas vegetais aumentou a recuperação elástica da massa, os valores máximos foram observados nas massas enriquecidas com proteína de soja. Para massas suplementadas com proteína animal, o aumento da concentração de albumina aumentou os valores de compliancia ($J(t)$). Nas massas não acidificadas, a recuperação elástica foi maior na presença de proteínas animais. A adição de proteínas às matrizes não acidificadas aumentou significativamente o tempo de retardo exceto para massas suplementadas com 5 g de proteína de ervilha. A viscosidade no estado de equilíbrio aumentou com a adição de proteína de soja, embora tenha diminuído com as outras proteínas restantes.

Moreira, Chenlo e Torres (2013) realizaram ensaios de fluência e recuperação para avaliar o efeito viscoelástico das massas de farinha de castanha com adição de farinha chia (4 g) e hidrocolóides: goma guar (GG) hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) ou tragacanto (TG) em diferentes concentrações (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 g/100 g). O modelo de Burgers foi utilizado com sucesso para ajustar os dados experimentais da curva de fluência. A presença simultânea de farinha de chia e de hidrocolóides modificou significativamente as propriedades reológicas das massas. A incorporação de HPMC e TG ocasionou uma redução na resistência da massa, aumentando os valores de compliancia e as melhorias mais pronunciadas foram obtidas com HPMC. A recuperação elástica da massa de farinha de castanha aumentou com o uso dos aditivos testados, exceto para as massas com HPMC. Os tempos de retardo de recuperação aumentaram com o aumento do conteúdo de hidrocolóides, exceto com a adição de GG e farinha de chia. As massas com farinha de chia e GG exibiram as propriedades elásticas mais pronunciadas.

Martínez e Gómez (2017) avaliaram a viscoelasticidade das farinhas e amidos mais comuns nas massas de panificação sem glúten por meio do ensaio de fluência e recuperação. Foram usadas farinha de arroz, farinha de milho, e amidos de batata, de milho e de trigo. As curvas de fluência e

recuperação das massas sem glúten exibiram um comportamento viscoelástico típico que combina componentes viscosos e elásticos. As massas feitas com farinha exibiram menores valores de compliancia nas fases de fluência e recuperação, indicando maior rigidez e consistência. Entre os amidos, o amido de trigo apresentou maiores valores de compliancia e a massa com maior viscoelasticidade. No caso do amido de batata não foi observado um aumento da compliancia, devido ao grande tamanho de seus grânulos com ausência de poros superficiais, o que poderia tornar a massa menos eficiente em termos de empacotamento de grânulos e de formar uma fase contínua.

3.5.3. Ensaio de compressão biaxial

Os ensaios por compressão biaxial consistem na compressão de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas e pode ser facilmente realizado em equipamentos do tipo máquina universal de ensaios. Nesse ensaio pode-se controlar a força ou o deslocamento. No primeiro caso, uma determinada força é aplicada ao material e a deformação efetiva do material é registrada e ocorre por cisalhamento radial quando a razão entre o diâmetro e a espessura da amostra for elevada ($D/h \gg 5$) (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Já no segundo caso o material é submetido a um deslocamento efetuado com velocidade constante e a força é medida (ENGMANN; SERVAIS; BURBIDGE, 2005). O método é simples e versátil, sendo capaz de avaliar com precisão materiais em ampla faixa de consistência e em velocidades e grau de deformações variáveis (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Um perfil típico, obtido sob compressão simples pode ser subdividido em três regiões: 1) pequeno deslocamento: deformação linear elástica, 2) deslocamento intermediário: deformação plástica ou por fluxo viscoso 3) grande deslocamento: enrijecimento por deformação (PILEGGI; CINCOTTO; JOHN, 2006).

Pileggi, Cincotto e John (2006) caracterizaram estas regiões. A primeira é caracterizada por uma relação linear entre a carga e o deslocamento, indicando que o material se comporta como um sólido elástico. Pode-se resumir que nesta etapa o balanço entre as forças resistivas de atração, atrito e coesão no sistema superam a força motriz para a movimentação do mesmo. Na segunda região, a energia fornecida para o deslocamento consegue gerar uma força motriz superior à somatória das forças resistivas. O sistema passa a escoar por deformação plástica ou viscosa dependendo de sua natureza micro estrutural. O material apresenta uma grande extensão de deformação sem apresentar significativo aumento de carga. Por sua vez, na terceira região, grandes deslocamentos aplicados ao material podem resultar no surgimento de novos fenômenos resistivos ao fluxo, como por exemplo, o inter travamento de fibras e/ou partículas sólidas imersas na matriz fluida. Como resultado, a dificuldade de deformação aumenta exponencialmente com a compressão, gerando o enrijecimento por deformação. A deformação que ocorre no segundo e no terceiro estágios depende de algumas características do sistema, tais como a distância e o atrito entre as partículas (BETIOLI et al., 2009).

Demirkesen (2016) avaliou a influência dos diferentes níveis de substituição de farinha de arroz por farinha de castanha (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) na viscosidade extensional biaxial de biscoitos sem glúten. Os valores desse parâmetro foram mais baixos para as amostras controle elaboradas com farinha de arroz, sendo que quanto maior a quantidade de farinha de castanha adicionada à massa, maior foi o valor de viscosidade extensional biaxial, sendo necessária maior força para deformar as amostras de massa de biscoito. O autor explicou que as diferenças observadas nos valores de viscosidade extensional biaxial estão relacionadas ao conteúdo de fibras presentes nas farinhas de arroz (25%) e de castanha (95%). Os entrelaçamentos das fibras podem promover um aumento de resistência ao fluxo, e consequentemente nos valores de viscosidade extensional biaxial.

3.6. Propriedades físicas dos biscoitos

3.6.1. Textura

Kramer e Szczesniak, (1973) definiram a textura como uma propriedade relacionada aos sentidos e susceptível a medições mecânicas objetivas e diretas. A textura é um atributo de qualidade, que denota o frescor do produto e a excelência da preparação dos alimentos, que contribui para o prazer de comer (SZCZESNIAK, 2002).

Demirkesen (2016) analisou a textura de biscoitos a base de farinha de arroz e farinha de castanha em diferentes concentrações. Esse autor observou que a farinha de castanha melhorou a textura dos biscoitos tornando a massa mais macia.

Ferreira (2014) estudou a textura dos biscoitos a base de fécula de mandioca com substituição de fécula de açafrão (15, 30 e 50%). Esse autor verificou que o aumento da substituição de fécula de mandioca por fécula de açafrão provocou uma diminuição na firmeza dos biscoitos.

Dapčević, Torbica e Hadnadev (2013) avaliaram a textura dos biscoitos de farinha de arroz com substituição parcial de farinha de trigo sarraceno e carboximetilcelulose. De acordo com os resultados, a substituição de farinha de arroz por farinha de trigo sarraceno aumentou a percentagem de expansão e excentricidade e ocasionou uma diminuição na firmeza dos biscoitos.

3.6.2. Cor

A cor é um dos atributos de qualidade muito importantes quando se trata de alimentos, embora esta propriedade não reflita, necessariamente, características nutricionais, funcionais ou de sabor, mas é determinante na aceitabilidade de um produto pelos consumidores (SALTIN; SUMNU, 2006).

A cor é influenciada por várias características físicas, como o tamanho, textura, brilho, polarização e estado físico do alimento. Na determinação instrumental da cor utiliza-se um colorímetro (FRANCIS, 2005; SALTIN; SUMNU, 2006). Existe uma variedade de sistemas para descrever as cores (SALTIN; SUMNU, 2006). O CIELab ou $L^*a^*b^*$ é o mais usado comumente para o controle da qualidade dos alimentos (LARA et al., 2011).

Demirkesen (2016) analisou a cor em biscoitos tipo *cookies* preparados a base de farinha de arroz com substituição de farinha de castanha. O aumento da farinha de castanha na formulação ocasionou biscoitos significativamente mais escuros do que os biscoitos de farinha de arroz controle, devido à cor característica da farinha de castanha.

3.7. Microscopia eletrônica de varredura

Um microscópio eletrônico de varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca.

O MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e a identificação de elementos químicos de uma amostra sólida e é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características micro estruturais. Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Dapčević, Torbica e Hadnadev (2013) observaram a microestrutura da massa de farinha de arroz em mistura com 10 e 30% de farinha de trigo sarraceno. Esses autores observaram que os grânulos de trigo sarraceno influenciaram o abrandamento da massa, característica determinada durante os testes reológicos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais

Na produção dos biscoitos tipo doce, foram utilizados fécula de mandioca nativa, doada pelo Tecno Amido (São Paulo, Brasil), açúcar, manteiga, gema de ovo em pó, e a chia adquiridos em estabelecimentos comerciais da cidade de Pirassununga (SP), em quantidades suficientes de um mesmo lote para o desenvolvimento desse trabalho.

As sementes de chia foram trituradas em um multiprocessador (Nutri Super Ninja Auto IQ, BL480BR30, Euro-Pro Operating LLC, Polishop, São Paulo, Brasil). A granulometria da farinha obtida foi padronizada utilizando uma peneira (Tyler 28, mesh). Em seguida, a farinha de chia foi acondicionada em embalagens de polietileno e armazenada sob refrigeração (~ 9 °C) até sua utilização.

4.2. Metodologia

4.2.1. Caracterização da matéria prima

4.2.1.1. Análise de composição centesimal

A caracterização centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia foi determinada de acordo com os métodos oficiais descritos em *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (AACC, 1995). Todas as análises foram realizadas em triplicata. O teor de carboidratos totais foi calculado por diferença.

Para a farinha de chia foi determinado o conteúdo de fibras dietéticas totais e solúveis pelo método enzimico gravimétrico 985-29 (AOAC, 1990).

4.2.1.2. Propriedades de hidratação e absorção de óleo

Foram determinadas as propriedades de hidratação e capacidade de absorção de óleo da fécula de mandioca, da farinha de chia e de suas misturas (Fécula de mandioca: Farinha de chia; 90:10, 80:20 e 70:30). Em termos de hidratação da massa, foram determinados o volume de inchamento, a capacidade de retenção de água e a capacidade de absorção de água e de óleo.

Volume de inchamento (VI), ou volume ocupado por uma massa conhecida da amostra, determinado conforme descrito em Mancebo; Rodriguez; Gómez (2016). Foram adicionados 25 mL de água destilada em um tubo de centrífuga com 1,25 g de amostra. A leitura do volume foi feita após 24 h, para permitir a hidratação da amostra, e o resultado foi expresso em mililitros de água por gramas de sólido.

Capacidade de retenção de água (CRA), definida como a quantidade de água retida pela amostra sem ser submetida a qualquer *stress*. Foi determinada pelo método 88-04 da AACC (2012) na mesma suspensão usada para avaliar o volume de inchamento. O sólido hidratado e decantado foi pesado. Os resultados foram expressos em gramas de água por gramas de sólido.

Capacidade de absorção de água (CAA), ou quantidade de água retida pela amostra após ter sido centrifugada. Foi feita conforme o método 56-30.01 da AACC (2012).

Uma amostra de 5 g foi homogeneizada em 30 mL de água destilada utilizando um vórtex por 10 minutos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (Eppendorf Centrifuge 5430R) a 2300 x g por 15 minutos a temperatura ambiente (25 °C), o sobrenadante foi descartado e os tubos foram colocados num ângulo de inclinação de 10° em uma estufa a 50 °C por 30 minutos. A massa foi pesada e a capacidade de absorção de água, calculada

pela Equação 1. Os resultados foram expressos em gramas de água por gramas de sólido.

$$CAA = \frac{PS-PAS}{PAS} \quad (1)$$

Em que: PS é a massa do precipitado após secagem na estufa e PAS é a massa de amostra inicial seca.

Capacidade de absorção de óleo (CAO)

Foi determinada de acordo com o procedimento descrito em Raghavendra et al. (2006). Foram adicionados 10 mL de óleo de soja a 0,5 g da amostra, a mistura foi homogeneizada com um bastão de vidro, e mantida a temperatura ambiente durante 24 h. Em seguida, os tubos foram centrifugados a 3.000 × g por 30 min e o excesso de óleo foi removido. A capacidade de absorção de óleo (CAO) foi determinada pela Equação 2. Os resultados foram expressos em gramas de água por gramas de sólido.

$$CAO = \frac{PS-PAS}{PAS} \quad (2)$$

Em que: PS é a massa do precipitado e PAS é a massa de amostra inicial seca.

4.2.2. Formulação e preparação dos biscoitos

Nas formulações dos biscoitos de fécula de mandioca (FM) com substituição parcial por farinha de chia (FC) foram avaliadas as proporções de substituição: 0% (CF0 ou amostra controle), 10% (CF10), 20% (CF20) e 30% (CF30) (m/m). Os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica nas quantidades apresentadas na Tabela 1. Nessa tabela, a quantidade de manteiga adicionada é diferente e foi calculada por balanço de massa para garantir o mesmo teor de lipídios na massa de biscoito de cada formulação. Os demais ingredientes foram adicionados nas mesmas quantidades, adaptando-

se as porcentagens de fécula de mandioca com substituição de 0,10, 20 e 30% (m/m) por farinha de chia.

Tabela 1 - Ingredientes usados na formulação de biscoitos sem glúten com diferentes conteúdos de farinha de chia: 0% (FC0, controle); 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30).

Ingredientes (g)	Formulações			
	FC0	FC10	FC20	FC30
Fécula de mandioca (FM)	100,0	90,0	80,0	70,0
Farinha de chia (FC)	-	10,0	20,0	30,0
Açúcar	30,0	30,0	30,0	30,0
Manteiga	38,3	34,6	30,8	26,9
Gema de ovo em pó	7,1	7,1	7,1	7,1
Água destilada	18,0	18,0	18,0	18,0

Fonte: Própria autoria.

Os ingredientes foram misturados numa batedeira Planetária Arno (Grupo SEB, São Paulo, Brasil) em baixa velocidade (nível 1) na seguinte ordem: açúcar e manteiga (durante 4 min), gema de ovo em pó (durante 3 min) e por último a fécula de mandioca, a farinha de chia e a água destilada (durante 5 min) (KAMALJIT; BALJEET; AMARJEET, 2010). Na mistura dos ingredientes foi utilizado um gancho tipo liso (*Flat bater*). Nessa etapa, foram realizados controles de tempo e intervenções manuais, utilizando espátula para desgrudar a massa do recipiente (*bowl*) da batedeira.

Em seguida, a massa foi aberta com um rolo de madeira e moldada no formato de cilindros de 7 mm de espessura e 3,5 cm de diâmetro (~ 10 g). Os biscoitos foram assados a 210 °C por 20 minutos em forno elétrico automático, resfriados por 1 hora na temperatura ambiente e acondicionados em embalagens plásticas de polietileno.

4.2.3. Caracterização reológica da massa

Foram realizados ensaios reológicos oscilatórios (varredura de deformação e de frequência), de fluência e recuperação e compressão biaxial lubrificada (Viscosidade extensional biaxial) para caracterizar as massas dos biscoitos.

Os testes com pequenas amplitudes de oscilação (SAOS) e de fluência e recuperação, na região de viscoelástica linear, foram realizados em um reômetro rotacional de tensão controlada AR 2000 (TA Instruments, New Castle, EUA) equipado com geometria de placas paralelas serrilhadas ($\varnothing = 40$ mm e *gap* 2 mm). Um sistema Peltier foi usado para controle de temperatura. Foi usado um equipamento MTS Landmark ServoHydraulic Test System (MTS Systems Corporation EUA) para os ensaios de compressão biaxial lubrificada.

As massas de biscoitos foram preparadas de acordo com o item 4.2.2 e as análises reológicas foram realizadas logo após o seu preparo. Para os ensaios oscilatórios dinâmicos de pequena amplitude (SAOS) a amostra foi colocada entre as placas do reômetro e o excesso de massa removido. Óleo foi aplicado na extremidade da massa/geometria para evitar perda de umidade durante a análise. A amostra permaneceu em repouso por 5 min para relaxar as tensões de carregamento da amostra na geometria do reômetro (CARRILHO, 2014).

Para a análise de compressão biaxial, as amostras foram moldadas em formato circular (40 mm de diâmetro e 15 mm de altura), colocadas em embalagens de polietileno e armazenadas em um dessecador, contendo água para evitar a desidratação da massa, até o momento da realização desse ensaio a temperatura ambiente.

4.2.3.1. Ensaios em cisalhamento oscilatórios: varredura de deformação e varredura de frequência

As massas de biscoitos foram submetidas a um teste de varredura de deformação para determinar a região de viscoelasticidade linear (RVL) (0 a 10%) a 1 Hz e 25 °C. Na RVL tem-se uma relação linear entre a tensão (σ) e a deformação (γ). As análises de varredura de frequência foram realizadas no intervalo de (0,1 a 10) Hz a 25 °C, com o valor de deformação fixo na RVL. Os dados obtidos foram os módulos de armazenamento (G') de perda (G'') e tangente do ângulo de fase ($\tan\delta$). Todos os testes foram realizados pelo menos em triplicata e os resultados foram analisados usando o *software Rheology Advantage Instrument Control (TA Instruments, New Castle, EUA)*.

A Lei da Potência foi aplicada para descrever a dependência de G' e G'' em relação à frequência (ω). Foram determinados os parâmetros (K' , K''), (n' , n'') (Equações 3 e 4) e o coeficiente de determinação (R^2) do modelo da Lei da Potência para G' e G'' , em função da frequência respectivamente.

$$G'(\omega) = K' \cdot \omega^{n'} \quad (3)$$

$$G''(\omega) = K'' \cdot \omega^{n''} \quad (4)$$

Em que G' é o módulo de armazenamento (Pa), G'' e módulo de perda (Pa), ω é a frequência angular (Hz), e K' , K'' , n' , n'' são as constantes dos modelos apresentados nas Equações 3 e 4.

4.2.3.2. Ensaio de Fluência e recuperação

O ensaio de fluência e recuperação foi feito conforme descrito em Moreira, Chenlo e Torres (2013) com algumas modificações. As amostras foram submetidas a uma tensão de cisalhamento constante menor que 50 Pa, valor dentro da RVL, por 180 s. Na sequência, a tensão foi removida (0 Pa), e a recuperação da amostra foi registrada por 180 s. A deformação resultante ou a

compliance $J(t)$ foram obtidas em função do tempo. Essa análise foi feita em triplicada.

As contribuições elásticas e viscosas obtidas no teste de fluência e recuperação foram descritas pelos modelos matemáticos baseado no cálculo fracionário (Modelo de derivada fracionada) (Equação 5) (SPOTTI et al., 2017) e de Burgers. Esses dados foram interpolados em aproximadamente 120 pontos, usando o programa *Matlab* (R2015a) e o *Solver da Microsoft Excel®* (Microsoft Office Professional Plus 2010, versão 14) para determinar os parâmetros reológicos desses modelos. A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2).

$$J(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{\Gamma(\alpha+1)} (\lambda_1 t^\alpha H(t) - \lambda_2 (t - t_m)^\alpha H(t - t_m)) \quad (5)$$

Em que, $J(t)$ é a compliance do material (%/Pa), $\varepsilon(t)$ é a deformação (%), σ_0 é a tensão de cisalhamento aplicada (Pa), α fornece o grau de elasticidade da amostra e pode variar entre 0 e 1 (0 indica um material puramente elástico e 1, um material puramente viscoso), λ_1, λ_2 , representa o inverso do módulo elástico durante o ensaio de fluência e de recuperação, respectivamente, t_m é o tempo no qual a tensão é removida para iniciar o teste de recuperação, Γ é a função gama descrita por Abramowitz e Stegun (1964) e $H(t)$ é a função *Heaviside* ou *Step* definida como:

$$H(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < 0 \\ 1 & \text{if } t > 0 \end{cases} \quad (6)$$

O modelo de Burgers, muito usado para estudar o comportamento viscoelástico de materiais *soft*, consiste na combinação dos modelos de Maxwell e Kelvin-Voigt. Molas e amortecedores são dois análogos mecânicos do comportamento reológico. Esses dois elementos representam o sólido elástico (mola) e o escoamento viscoso (amortecedor) do material viscoelástico. Maxwell é representado por uma mola e um amortecedor, enquanto o arranjo paralelo da mola e amortecedor é usado no modelo de Kelvin-Voigt. O Modelo completo, de acordo com o princípio de superposição

de Boltzmann é representado pela Equação 7 (MITCHELL, 1976; STEFFE, 1996).

$$J(t) \begin{cases} J_0 + J_1 \left(1 - \exp \left(\frac{-t}{\lambda_{ret}} \right) \right) + \frac{t}{\eta_0}, t \leq t_1 \\ J_1 \left(\exp \left(\frac{t_1-t}{\lambda_{ret}} \right) - \exp \left(\frac{-t}{\lambda_{ret}} \right) \right) + \frac{t_1}{\eta_0}, t > t_1 \end{cases} \quad (7)$$

Em que J_0 (Pa^{-1}) é a compliancia instantânea (elasticidade pura do material sem atraso), J_1 (Pa^{-1}) é a compliancia associada ao elemento de Kelvin-Voigt (viscoelasticidade atrasada), λ_{ret} (min) é o tempo médio de retardamento associado ao elemento de Kelvin-Voigt (tempo necessário para a deformação alcançar o equilíbrio em 62,3% do valor máximo da curva) e η_0 (Pa.s) é a viscosidade do amortecedor Maxwell.

4.2.3.3. Ensaio de compressão biaxial lubrificada

A viscosidade extensional biaxial foi obtida pelo método de compressão biaxial lubrificada (CAMPANELLA, PELEG, 2002; HADINEZHAD; BUTLER, 2009), que consiste na compressão biaxial de uma amostra entre duas placas paralelas lubrificadas com óleo para minimizar o efeito do atrito sob compressão. A massa de biscoito foi moldada no formato circular (nas dimensões: 40 mm de diâmetro e 15 mm de altura e foi colocada gentilmente sobre uma placa inferior (5 cm de diâmetro) ligada a uma célula de carga de 100 N. A placa superior (5 cm de diâmetro) comprimiu a amostra até 60% da sua altura inicial a uma velocidade de 10 mm/min. As medidas foram realizadas a temperatura ambiente, em triplicata. Antes do início de cada teste as amostras foram permitidas relaxar por 1 min.

A viscosidade extensional biaxial (VEBA) (Pa.s) da massa foi calculada pela Equação (8)

$$VEBA = \frac{2F_t h_t}{\pi R^2 v} \quad (8)$$

Em que: F_t é a força de compressão (N) no momento t ; h_t é a altura da amostra de massa (m) no instante t ; R é o raio inicial da amostra de massa (m) e V é a velocidade (m/s) (HADINEZHAD; BUTLER, 2009).

4.2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As massas de biscoito (~ 20 g cada) foram liofilizadas no equipamento Terroni – LC 1500 (Terroni equipamentos científicos Ltda, SC, Brasil) em média por 48 h. Após a liofilização, as amostras foram colocadas em embalagens de polietileno, seladas e armazenadas em dessecador a vácuo.

As amostras foram fraturadas manualmente com o auxílio de uma espátula e fixadas em suporte metálico (*stub*) com fita dupla-face de carbono e colocadas na câmara do microscópio eletrônico de varredura TM-3000, HITACHI (Technologies do Brasil Ltda, São Paulo, Brasil). As imagens foram capturadas sob alto vácuo e com uma aceleração de voltagem de 15 kV, com ampliações de (500 e 1500) vezes (RESENDE, 2011).

4.2.5. Densidade aparente da massa dos biscoitos

Após a preparação da massa de biscoito, uma amostra foi pesada em balança analítica (~ 5 g), e colocada em uma proveta previamente preenchida com água destilada. O volume da massa de biscoito foi obtido pelo deslocamento da água e a densidade (ρ) calculada pela razão entre a massa (g) e o volume (cm³) da amostra (KOKSEL; SCANLON, 2012). Essa análise foi realizada em triplicata na temperatura ambiente, com cinco repetições para cada formulação.

4.2.6. Caracterização física dos biscoitos

Os biscoitos sem glúten foram caracterizados quanto a densidade, espalhamento, textura, umidade e cor.

4.2.6.1. Densidade aparente dos biscoitos

A densidade aparente foi calculada pela relação entre a massa (g) e o volume aparente (cm³) dos biscoitos após 24 horas do término do assamento. O volume aparente foi determinado pelo método de deslocamento de painço (MORAES et al., 2010). Foram utilizados 10 biscoitos provenientes de uma mesma fornada, selecionados de forma aleatória, e a análise foi realizada em triplicata para cada formulação de biscoito.

4.2.6.2. Espalhamento dos biscoitos

O diâmetro e a espessura dos biscoitos foram determinados com um paquímetro. O espalhamento dos biscoitos foi calculado pela razão entre o diâmetro (D) e a espessura (T) dos biscoitos após o assamento/resfriamento (MANCEBO; RODRIGUEZ; GÓMEZ, 2016). Foram utilizados cinco biscoitos de cada formulação e essa análise foi realizada em triplicata.

4.2.6.3. Textura dos biscoitos

A análise de textura foi realizada em um texturômetro TA.XT.Plus (Stable Micro Systems, UK). Foi determinada a firmeza do biscoito (parâmetro de textura) utilizando a *probe 3-Point bending Rig* (HDP/3PB) e uma plataforma HDP/90. Essa análise foi realizada 24 h após o assamento dos biscoitos. Foram preparados três lotes de amostras com cinco repetições para cada formulação. A firmeza dos biscoitos foi determinada da curva de força (N) em função da deformação como a força de ruptura e a força máxima dessa curva. Os parâmetros utilizados nesse teste foram: velocidade pré-teste = 1,0 mm s⁻¹; velocidade de teste = 3,0 mm s⁻¹; velocidade pós-teste = 10,0 mm s⁻¹; distância 5 mm (DEMIRKESEN, 2016; TERESA; SILVA, 2013).

Este experimento simula a avaliação da firmeza do biscoito pelo consumidor, que segura o biscoito nas mãos e quebra por flexão (SURIYA et al., 2017).

4.2.6.4. Determinação da umidade dos biscoitos

A umidade dos biscoitos foi determinada com o analisador de umidade M5 THERMO (Bel Engineering, Piracicaba-Brasil). Três biscoitos de cada formulação foram escolhidos aleatoriamente. A análise foi realizada em triplicata, uma hora após o assamento.

4.2.6.5. Determinação da cor da superfície dos biscoitos

A análise de cor da superfície dos biscoitos foi realizada usando um colorímetro Miniscan XE HunterLab (BrasEq Brasileira de equipamentos Ltda, SP, Brasil), com fonte de iluminação D65, e foi expressa com os parâmetros de cor do padrão CIELab (L^* , a^* , b^*). O parâmetro L^* representa a luminosidade numa escala de 0 (preta) a 100 (branca); a coordenada de cromaticidade, a^* pode assumir valores de verde (–) a vermelho (+) e a coordenada de cromaticidade b^* pode variar de azul (–) a amarelo (+). O *software* universal, versão 4.1, foi usado para processar os resultados. As medidas foram realizadas em triplicata (TAVERNA; LEONEL; MISCHAN, 2012).

4.2.7. Análises estatísticas

Os resultados foram apresentados como a média $\pm$ desvio padrão. Os tratamentos estatísticos dos resultados foram analisados no programa Statgraphics centurion version 16.1. Foi feita uma análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para comparação das médias e o coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados das análises foram calculados em nível de significância de 95% de confiabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização da matéria prima

As matérias-primas foram caracterizadas quanto à composição química e propriedades de hidratação (volume de inchamento, capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo).

5.1.1. Composição centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios, com seus respectivos desvios padrão, da composição centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia.

Tabela 2 - Composição centesimal da fécula de mandioca e da farinha de chia (g.100 g⁻¹ base seca).

Componente (%)	Fécula de mandioca	Farinha de chia
Umidade ^a	10,10 ± 0,12	7,63 ± 0,21
Cinzas	0,13 ± 0,01	5,35 ± 0,01
Proteína bruta	0,42 ± 0,01	20,81 ± 0,01
Fibra bruta	0,10 ± 0,01	38,83 ± 0,52
Lipídios	0,21 ± 0,02	33,90 ± 0,05
Carboidratos ^b	89,14 ± 0,05	32,31 ± 0,30

a,(g/ 100g massa total); b calculdo por diferença ,*demais componentes (g/ 100 g sólido), valor médio ± desvio padrão. Fonte: Própria autoria

Em relação à fécula de mandioca pode-se observar que os valores de umidade e cinzas estão dentro do limite fixado pela legislação brasileira (teor máximo de 14% e 2,0%, respectivamente) (BRASIL, 1978b). O controle da umidade é particularmente importante, já que farinhas com umidade inferiores a 12% não permitem a multiplicação microbiana (LOPES; DORA; MELO,

2006). As amostras com valores de cinzas superiores a 2,0% podem indicar fraudes, como adição de areia ou processamento inadequado, com lavagem e descascamento incompletos (DIAS; LEONEL, 2006). Para os demais componentes não são apresentados limites no regulamento técnico para farinhas (BRASIL, 1978).

A umidade e o conteúdo de lipídios (Tabela 2) estão no intervalo dos resultados obtidos por Dias e Leonel (2006) (umidade: 3,10 - 11,57 e lipídios (0,15 - 1,39%) em féculas de mandioca de diferentes grupos, classes, e localidades do Brasil. Os conteúdos baixos de proteína e de cinzas podem estar relacionados com a baixa composição nutricional do solo (CEREDA; VILPOUX; TAKAHASHI, 2003). Em relação ao conteúdo de carboidratos, a fécula de mandioca apresentou em média (89,14%), resultados similares foram reportados por Fiorda et al. (2013) (85,52%).

As diferenças observadas na composição centesimal da fécula de mandioca podem ser devidas ao cultivo, tipo de solo, clima, processo de extração utilizado, condições de secagem e armazenamento (FIORDA et al., 2013).

A farinha de chia apresenta altos conteúdos de lipídios (33,90%) e de proteína bruta (20,81%). As porcentagens obtidas estão de acordo com a composição relatada na literatura de 25-35 g de lipídios / 100 g (ÁLVAREZ et al., 2008; IXTAINA et al., 2011) e 9-23 g de proteína / 100 g (COATES; AYERZA, 1996).

Os teores de lipídios obtidos foram similares ao citado por Dick et al. (2015) (33,4%) e Salgado, Cedillo e Beltrán (2012) (32,4%). Marineli et al. (2014) e Uribe et al. (2011) avaliaram o perfil de ácidos graxos da chia e obtiveram que os ácidos graxos poli-insaturados foram predominantes, particularmente os ácidos linolênico (ômega 3) e linoleico (ômega 6), considerados ácidos graxos essenciais, pois o organismo humano não consegue sintetizá-los, sendo adquiridos exclusivamente da dieta (FERREIRA,

2013). O consumo frequente de alimentos ricos em ácidos graxos essenciais reduz os níveis de colesterol e triglicerídeos no sangue, e a pressão arterial, havendo associação a menores índices de doença cardiovascular (COELHO; SALAS, 2014).

A farinha de chia contém mais proteínas do que outros alimentos tradicionais como o trigo, o milho, o arroz e a aveia (AYERZA; COATES, 2005). A fração proteica encontrada foi em média de 20%, resultados obtidos também por Pizarro et al. (2013) em sementes de chias argentinas. Porém, este valor foi inferior ao reportado por Vazquez et al. (2009) (28,14%), Marineli et al. (2014) (25,32%), Segura et al. (2014) (22,44%) e Sandoval e Paredes, (2013) (22,7%). As proteínas presentes na farinha de chia podem ser disponibilizadas como peptídeos biologicamente ativos. Os peptídeos desempenham diversas atividades, com base na sua composição e sequência de aminoácidos, tais como: imunomodulatória, antimicrobiana, antitrombótica, hipocolesterolêmica, antihipertensiva e antioxidante (COELHO; SALAS, 2014). A proteína a partir de fontes vegetais é de grande interesse e pode ser explorada como um ingrediente atraente em produtos processados devido a suas propriedades funcionais e suas características associadas ao bem-estar (SEGURA; BARBA; PAREDES, 1999).

Quanto ao teor de umidade, a farinha de chia apresentou aproximadamente 7,6%, resultado similar ao reportado por Dick et al. (2015) (7,4%) e também por Segura et al. (2014) (7,2%). Na quantificação de cinzas, o valor obtido (5,4%) foi próximo ao reportado por Dick et al. (2015) (4,9%) e superior aos teores determinados por outros autores como: Coelho e Salas (2014) (2,3%), Marineli et al. (2014) (4,1%) e Salgado, Cedillo e Beltrán (2012) (3,5%). O teor de carboidratos da farinha de chia (32,3%) foi similar ao reportado por Marineli et al. (2014) (34,6%) e Vazquez et al. (2009) (35,3%).

O conteúdo de fibra bruta na farinha de chia foi maior do que os valores reportados por Ayerza (2009) (30%) e Salgado, Cedillo e Beltrán (2012) (24,1%), essa diferença pode ser devido ao método de análise, origem da

semente, formas de cultivo etc. A farinha de chia contém quantidades de fibras mais elevadas que outras sementes/cereais como a linhaça (14-16%) (MOURA et al., 2014), a quinoa (5-8%) (GEWEHR et al., 2012), o amaranto (3-9%) (COSTA; MATEUS; BORGES, 2005) e a aveia (13-15%) (FUJITA; FIGUEROA, 2003). A alta quantidade de fibras da farinha de chia pode aumentar a saciedade e sua ingestão tem efeitos benéficos para a prevenção de fatores de risco associados ao aparecimento de doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes do tipo 2 (OLIVOS; VALDIVIA; TECANTE, 2010).

Foi feita uma quantificação da fibra dietética total, para determinar suas possíveis aplicações (Tabela 3). A fibra dietética total (FDT) pode ser classificada como solúvel (FDS) e insolúvel (FDI) de acordo com seu comportamento em meio aquoso. A farinha de chia apresentou uma porcentagem de FDT (55,7%) das quais 48,9% corresponde a FDI e 6,9% a FDS. A fibra dietética foi quantificada a partir de farinha de chia desengordurada

Tabela 3 - Frações de fibra dietética (base seca) da farinha de chia desengordurada.

Componente (%)	Valores $(g/100\ g)$
Fibra dietética total (FDT)	55,86 ± 0,28
Fibra dietética insolúvel	48,88 ± 0,35
Fibra dietética solúvel	6,88 ± 0,21

Fonte: Própria autoria.

O conteúdo de fibra dietética total foi similar ao citado por Vazquez, Rosado e Chel (2009) em sementes de chia de Chiapas-México (56,46%), e maior do que os valores reportados por Da Silva et al. (2017) em sementes de chia de Mato Grosso (37,2%) e do Rio Grande do Sul (33,4%) Brasil.

As porcentagens de fibras dietéticas da farinha de chia estão dentro da faixa citada pela literatura para a FDS (5-6%) e para FDI (40-50%) (BUSHWAY; BELYEA; BUSHWAY, 1981). O teor de FDI foi próximo ao citado por Vazquez, Rosado e Chel (2009) (FDI: 53,4%), e superior ao obtido por outros autores, Da Silva et al. (2017) (FDI: 30,5%), Marineli et al. (2014) (FDI: 35,7%) e Reyes, Tecante e Valdivia (2008) (FDI: 34,9%). As fibras dietéticas insolúveis são constituídas principalmente por celulose, lignina, algumas frações de hemicelulose, compostos fenólicos como taninos e estruturas lipídicas como ceras, suberinas e cutinas (GORINSTEIN et al., 2001).

O teor de FDS foi similar ao reportado por Reyes, Tecante e Valdivia (2008) (FDS: 6,8%) e superior aos teores obtidos por Vazquez, Rosado e Chel (2009) (FDS: 3,0%), Da Silva et al. (2017) (FDS: 2,9%) e Marineli et al. (2014) (FDS: 2,4%). Secreções de plantas tais como pectinas e gomas, componentes tais como mucilagem e agentes quelantes tais como fitatos são fontes de fibras dietéticas solúveis (GORINSTEIN et al., 2001).

Devido à sua estrutura, a mucilagem de chia é considerada uma fibra dietética solúvel, conhecida por ter excelentes propriedades de retenção de água, e pode proporcionar hidratação, desenvolvimento de viscosidade e conservação de frescor, especialmente para produtos de panificação (VAZQUEZ; ROSADO, CHEL, 2009). A mucilagem da chia apresenta as propriedades de um hidrocolóide, mesmo em concentrações muito baixas (MUÑOZ et al., 2012).

As fibras dietéticas possuem funções tecnológicas como agentes aglutinantes de gordura, formadores de gel, quelantes e texturizantes (ABDUL; LUAN, 2000; BORDERÍAS; SÁNCHEZ; PÉREZ, 2005; ESPOSITO et al., 2005).

As diferenças encontradas na composição centesimal podem ser atribuídas às variações nutricionais entre as amostras e condições de cultivo, como temperatura, luz, tipo de solo (AYERZA, 2009).

5.1.2. Propriedades de hidratação

As propriedades de hidratação da fécula de mandioca, da farinha de chia e suas misturas são apresentadas na Tabela 4. Pode-se observar nessa tabela que a farinha de chia apresentou os maiores valores para o volume de inchamento (VI), a capacidade de retenção de água (CRA) e a capacidade de absorção de água (CAA) seguida pelas suas misturas, sendo significativamente diferentes ($p < 0,05$) das propriedades de hidratação da fécula de mandioca. As fibras, as proteínas e principalmente a mucilagem presente na farinha de chia são os componentes responsáveis por essas diferenças. O principal efeito fisiológico da fibra é sua capacidade de inchamento ao absorver água, o que ocorre devido à presença de carboidratos com grupos polares livres, interação com ligações hidrofílicas ou retenção de água dentro da matriz (LÓPEZ et al., 1996).

Tabela 4 - Propriedades de hidratação e absorção de óleo da fécula de mandioca (FM) e da farinha de chia (FC) e suas misturas: FM:FC: 100:0 (FC), 90:10 (FC10), 80:20 (FC20) e 70:30 (FC30).

Amostra	VI (mL/g)	CRA (g ^{água} /g ^{sólido})	CAA (g ^{água} /g ^{sólido})	CAO (g ^{óleo} /g ^{sólido})
FM	2,00 ± 0,00 ^a	4,81 ± 0,11 ^a	1,77 ± 0,02 ^a	1,92 ± 0,04 ^a
FC	9,68 ± 0,13 ^d	14,77 ± 1,13 ^c	8,62 ± 0,98 ^c	2,60 ± 0,01 ^b
FC10	3,52 ± 0,28 ^b	6,69 ± 0,47 ^b	3,49 ± 0,00 ^{a,b}	2,03 ± 0,06 ^a
FC20	3,86 ± 0,04 ^b	7,34 ± 0,19 ^b	4,56 ± 0,07 ^b	2,08 ± 0,20 ^a
FC30	4,29 ± 0,12 ^c	7,70 ± 0,80 ^b	4,72 ± 0,65 ^b	2,12 ± 0,14 ^{a,b}

Valor médio ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0.05$). (VI) volume de inchamento, (CRA) capacidade de retenção de água, (CAA) capacidade de absorção de água, (CAO) capacidade de absorção de óleo. Fonte: Própria autoria.

A mucilagem da farinha de chia é constituída principalmente de xilose, glicose e ácido glucurônico que têm alta capacidade de retenção de água

atuando como um hidrocolóide ativo (LIN; DANIEL; WHISTLER, 1994; MUÑOZ et al., 2012). Enquanto as proteínas podem absorver duas vezes o seu peso (g) em água, aumentando a capacidade de absorção de água da farinha ao preparar a massa (MANLEY, 2001).

A capacidade de retenção de água (CRA) é a capacidade de um material úmido reter a água, que consiste na soma de água hidrodinâmica e água fisicamente ligada, a qual contribui significativamente para essa propriedade (MANCEBO; RODRIGUEZ; GÓMEZ, 2016). Na Tabela 4 observa-se diferenças significativas ($p < 0,05$) nos valores de CRA entre as amostras de FM, de FC e de suas misturas. A FC exibiu uma CRA de 14,7 vezes a sua massa inicial, similar aos resultados relatados por Vazquez et al. (2009) e Salgado; Cedillo e Beltrán (2012), os quais obtiveram uma CRA de 15,4 e 15,6 respectivamente em relação à massa inicial. A CRA da farinha de chia também é maior quando comparada a outras fontes tradicionais como o farelo de trigo e as sementes de linhaça (SALGADO; CEDILLO; BELTRÁN, 2012).

As misturas FM:FC não apresentaram diferenças significativas entre elas ($p < 0,05$) (Tabela 4). No entanto, a adição de farinha de chia aumentou significativamente ($p < 0,05$) a capacidade de absorção de água nas misturas FM:FC. Os resultados obtidos foram similares aos relatados por Kohajdová; Karovičová e Magala, (2013) em farinhas de leguminosas. As farinhas de lentilhas e de feijão elevaram consideravelmente a CAA das massas formuladas com essas matérias primas para aplicações em produtos de panificação.

As interações proteína-água podem influenciar a capacidade de absorção de água das farinhas (HEYWOOD et al., 2002). D'appolonia (1977) observou que a capacidade de absorção de água aumentou em misturas de farinhas com maior conteúdo de proteína. Mancebo, Rodriguez e Gómez (2016) estudaram as propriedades de hidratação da farinha de arroz com adição de proteína de ervilha e observaram que a incorporação de proteínas aumentou a capacidade de absorção de água da mistura.

O conteúdo de proteína também desempenha um papel importante na determinação da capacidade de retenção de óleo (CAO) das farinhas (KAUR et al., 2014). Na Tabela 4 pode-se observar que FC apresentou os teores ($p<0,05$) mais elevados de CAO em comparação com FM e as misturas. Não foram observadas diferenças significativas ($p<0,05$) entre as amostras FC10, FC20 e FM indicando que a adição de 20% de farinha de chia é insuficiente para gerar uma mudança na capacidade de absorção de óleo da fécula de mandioca. As propriedades de hidratação das farinhas são úteis para a determinação da quantidade de água em formulações de produtos de panificação para manter uma textura desejável. A quantidade máxima de água que um material pode conter depende da fonte, do método de análise, bem como das suas características físico-químicas e estruturais (RAGHAVENDRA et al., 2006).

5.2. Caracterização da massa de biscoito

As massas de biscoitos foram caracterizadas por ensaios em cisalhamento oscilatório, fluência e recuperação e por compressão biaxial.

As medidas oscilatórias de pequena deformação permitem a avaliação das características da massa em termos de características estruturais do material, em comparação com as grandes deformações dos métodos empíricos como o farinógrafo, mixógrafo e extensógrafo (SINGH; SINGH, 2013), que estão associadas ao processamento. Nesta análise a tensão/ou deformação deve ser pequena para não perturbar a estrutura do material.

O ensaio de compressão biaxial é um método que pode ser usado com materiais de alta viscosidade (MOREIRA; LO; PEREZ, 1995), e foi demonstrado que é possível detectar diferenças por escoamento extensional entre as amostras que podem não ser evidentes sob condições de cisalhamento (LO; MOREIRA; CASTELL-PEREZ, 1999).

5.2.1. Cisalhamento oscilatório

Em cisalhamento oscilatório, foram realizados ensaios de varredura de deformação e de varredura de frequência.

A região de viscoelasticidade linear (RVL) foi menor que 0,1% para as quatro formulações de massa de biscoito sem glúten (Figura 3). Nessa figura pode se observar que os valores de (G') são constantes em função da deformação na região viscoelástica linear (RVL), e diminuem com o decréscimo de (G') indicando o final dessa região, onde possivelmente ocorrem mudanças estruturais nos materiais. O limite de linearidade para as massas, no modo dinâmico, dentro da faixa de frequência aplicada (1 Hz) corresponde a amplitudes de deformação próximas a 0,01%.

Figura 3 - Módulo de armazenamento (G') em função da deformação para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% ($\triangle$ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.

Fonte: Própria autoria.

As massas de biscoito formuladas com 0% (FC0) e 10% (FC10) de farinha de chia apresentaram os maiores valores para o módulo de armazenamento e um limite de linearidade menor em comparação com as outras duas amostras. A ausência de compostos de caráter elástico na fécula de mandioca resulta em uma massa com menor resistência à deformação que se reflete na diminuição da região linear. Alguns autores reportam pequenos

limites de linearidade nas massas panificáveis com adição de amidos (SMITH; SMITH; TSCHOEGL, 1970; UTHAYAKUMARAN et al., 2002).

O comprimento da RVL pode ser usado como uma medida da estabilidade de uma amostra, uma vez que as propriedades estruturais são geralmente melhor relacionadas à elasticidade (MARIOTTI et al., 2009). As massas de biscoito com substituição de 20% (FC20) e 30% (FC30) de farinha de chia apresentaram uma RVL maior, indicando um sistema bem disperso e mais estável.

Os ensaios de varredura de frequência foram realizados com valores de deformação de 0,01% e o módulos viscoelásticos (G' e G'') em função da frequência são apresentados na Figura 4. Nessa figura pode se observar que o módulo de armazenamento (G') foi maior que o módulo de perda (G'') em toda a faixa de frequência avaliada, tanto para a massa controle (0% de FC) como para as massas com substituição parcial da fécula de mandioca por farinha de chia, indicando um comportamento sólido-elástico nas massas avaliadas. Esse resultado concorda com os reportados por Carrilho (2014), Dapčević; Torbica; Hadnadev (2013) e Demirkesen (2016) que estudaram os módulos viscoelásticos (G' ; G'') de massas de biscoitos sem glúten.

Figura 4- Módulos de armazenamento G' (símbolos fechados) e de perda G'' (símbolos abertos) em função da frequência para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% (Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.

Fonte: Própria autoria.

Os valores do módulo de perda (G'') para as massas preparadas com farinha de chia foram similares para frequências maiores que 5 Hz e podem ser explicados considerando a possível presença de aglomerados que são quebrados a altas frequências. Esse comportamento também foi observado por Moreira, Chenlo e Torres (2013) em massas sem glúten a base de farinha de castanha com adição de farinha de chia e hidrocolóides.

A massa controle apresentou os módulos viscoelásticos mais elevados. Isso pode estar relacionado à falta de uma estrutura proteica da fécula de mandioca que impede a formação de uma rede específica, ocasionando maior rigidez à massa.

Martínez e Gómez (2017) estudaram as propriedades viscoelásticas das massas sem glúten elaboradas a partir de diferentes farinhas (arroz e milho) e amidos (milho, batata e trigo) para a elaboração de pão. Os autores observaram que as massas formuladas com amidos apresentaram os valores mais altos para o módulo de armazenamento (G'), indicando menor caráter viscoso.

Na Figura 4 observou-se um comportamento similar entre a massa controle e a massa com adição de 10% de farinha de chia, o que parece indicar que essa porcentagem de substituição usada não teve influência no comportamento viscoelástico da massa. No entanto, na Figura 5 (curvas de $\tan \delta \times \omega$) pode-se observar que a adição de farinha de chia influenciou as características viscoelásticas das massas, mesmo com a menor porcentagem de substituição adicionada. O alto teor de fibras solúveis (Mucilagem) e proteínas da farinha de chia favoreceram o desenvolvimento das propriedades viscoelásticas da massa (FUSTIER et al., 2008).

Figura 5 - Tangente do ângulo de fase ($\tan \delta$) em função da frequência para as massas de biscoitos nas concentrações (m/m) de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20% ($\triangle$ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia.

Fonte: Própria autoria.

Os valores de $\tan \delta$ (G''/G') para todas as formulações foram inferiores a 1 (Figura 5) exibindo um comportamento sólido-elástico característico em massas de panificação. Resultados similares foram reportados por Tsatsaragkou et al. (2014) em massas de pão sem glúten a base de farinha de arroz contendo diferentes quantidades de farinha de alfarroba.

A água desempenha um importante papel na determinação das propriedades viscoelásticas das massas (MASI; CAVELLA; SEPE, 1998). Numa massa contendo múltiplos ingredientes, a baixa disponibilidade de água afeta a hidratação dos componentes da massa, e consequentemente as propriedades reológicas, e proporciona a formação de uma massa mais dura e inadequada no processo de assamento (MASTROMATTEO et al., 2012; SADOWSKA et al., 2003). A farinha de chia aumentou a capacidade de absorção de água das massas de biscoito (Tabela 4) e ocasionou uma diminuição nos módulos viscoelásticos (G' , G'').

A água possui um papel duplo: reduz as propriedades dinâmicas da massa e age como lubrificante, melhorando o relaxamento entre as moléculas

e confere menor resistência à deformação aplicada nos ensaios (MASI; CAVELLA; SEPE, 1998).

A Tabela 5 apresenta as constantes da equação da Lei de Potência, que descreve a dependência dos módulos viscoelástico (G' ; G'') com a frequência de oscilação, e os coeficientes de determinação para o ajuste desse modelo aos pontos experimentais. Os menores valores dos parâmetros K' e K'' foram observados nas amostras com maior concentração de farinha de chia, o que reflete no desenvolvimento de uma massa com maior viscoelasticidade. Esses resultados foram similares aos obtidos por Witczak et al. (2010) em massas de pão formuladas com amidos de batata e de milho e adição de maltodextrinas. Esses autores obtiveram que os valores das constantes K' e K'' diminuíram para as amostras com maior concentração de maltodextrinas e o maior valor das constantes foi obtido para a amostra controle, formulada somente com amidos. A adição de maltodextrinas melhorou o comportamento reológico das massas.

Tabela 5 – Constantes da equação Lei de Potência e os coeficientes de determinação para as massas de biscoitos com 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30) (m/m) de farinha de chia.

Massas	(G')			(G'')		
	$K'(\text{Pa.s}^{n'})$	n'	R^2	$K''(\text{Pa.s}^{n''})$	n''	R^2
FC0	127,9	0,16	0,9946	40,3	0,09	0,9478
FC10	112,4	0,19	0,9976	34,8	0,13	0,8790
FC20	77,3	0,19	0,9996	30,0	0,16	0,9667
FC30	66,5	0,21	0,9998	27,7	0,20	0,9778

Fonte: Própria autoria.

Os menores valores para as constantes n' e n'' foram obtidos para a massa controle (Tabela 5). Esse comportamento foi atribuído à fécula de mandioca, que apresentou baixas propriedades de hidratação (Tabela 4). Quanto menor for o teor de água, menor será a dependência de G' e G'' (caráter mais rígido) com a frequência (TSATSARAGKOU et al., 2014). Resultado similar foi reportado por Ziobro et al. (2012), quando trabalharam com massas de pão sem glúten a base de amidos de milho e de batata substituídos por amidos modificados. Esses autores observaram uma redução nos valores das constantes n' e n'' para a massa controle, indicando que esta formulação apresentava menor dependência da frequência angular.

Na Tabela 5 observa-se que as massas formuladas com farinha de chia apresentaram valores semelhantes para n' e um aumento na constante n'' , proporcional a porcentagem de farinha de chia adicionada na massa. Esse comportamento pode estar relacionado a mucilagem presente na farinha de chia. No caso da massa de biscoito a base de amido de mandioca substituída com farinha de chia, a mucilagem atua como hidrocolóide e contribui na formação de estrutura da massa. Witczak et al. (2010) observaram que a adição de maltodextrinas em sistemas sem glúten a base de amidos influenciou as propriedades reológicas da massa obtida, proporcionando uma estrutura com maior viscoelasticidade.

Os coeficientes de correlação (R^2) da equação de Lei da Potência mostraram um bom ajuste para os módulos viscoelásticos das massas de biscoito sem glúten em função da frequência (Tabela 5).

5.2.2. Ensaio de fluência e recuperação

As curvas obtidas nos ensaios de fluência e recuperação são mostradas na Figura 6. A tensão aplicada de 50 Pa não excedeu a região de viscoelasticidade linear para as massas de biscoitos formuladas. A substituição da fécula de mandioca por farinha de chia influenciou nas curvas de fluência e

recuperação das massas, os maiores valores de recuperação elástica foram obtidos para as massas formuladas com maior porcentagem de farinha de chia (FC20, FC30).

Na interpretação dos resultados do teste de fluência e recuperação foram usados dois Modelos: abordagem da derivada fracionária (SPOTTI et al., 2017) e o modelo de Burguers (MITCHELL, 1976; STEFFE, 1996), para o ajuste dos dados experimentais. Esses ajustes (linha contínua) estão representados nas Figuras 6.A (abordagem da derivada fracionária) e 6.B (modelo de Burguers) e os valores de suas constantes, bem como o coeficiente de determinação são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Curvas obtidas no teste de fluência e recuperação para as massas de biscoitos com concentrações de 0% ($\square$ FC0), 10% ($\circ$ FC10), 20%(Δ FC20) e 30% ($\times$ FC30) de farinha de chia. Símbolos: pontos experimentais; linha contínua: Modelo baseado no cálculo de derivada fracionária (A) e Modelo de Burguers (B).

Tabela 6. Parâmetros de ajuste do modelo de derivadas fracionadas para massas de biscoitos sem glúten.

Formulação	(α)	$\lambda_1 (1/Pa)$	$\lambda_2 (1/Pa)$	R^2
FC0	0,389 ± 0,008	0,0037 ± 5,7E-05	0,0039 ± 4,7E-05	0,9772
FC10	0,464 ± 0,003	0,0075 ± 4,6E-05	0,0045 ± 1,2E-05	0,9915
FC20	0,462 ± 0,007	0,0093 ± 8,6E-05	0,0069 ± 8,1E-05	0,9984
FC30	0,424 ± 0,006	0,0117 ± 1,8E-04	0,0084 ± 2,4E-05	0,9984

Valor médio ± desvio padrão, (α) parâmetro associado a viscoelasticidade do sistema, (λ_1) inverso do módulo elástico na fluência, (λ_2) inverso do módulo elástico na recuperação, (R^2) coeficiente de correlação. Fonte: Própria autoria.

Tabela 7 - Parâmetros de ajuste do modelo de Burgers para massas de biscoitos sem glúten

Formulação	$J_0 (1/Pa)$	$J_1 (1/Pa)$	$\lambda_{ret} (Min)$	$\eta_0 (Pa.s)$	R^2
FC0	0,0007 ± 6,7E-06	0,0032 ± 4,0E-05	22,42 ± 0,82	68,87	0,952
FC10	0,0021 ± 1,2E-05	0,0038 ± 2,1E-05	33,57 ± 3,30	18,94	0,952
FC20	0,0021 ± 5,0E-05	0,0064 ± 6,1E-05	45,37 ± 3,22	17,43	0,986
FC30	0,0026 ± 2,4E-05	0,0092 ± 4,4E-05	49,37 ± 3,71	16,70	0,994

Valor médio ± desvio padrão. (J_0) compliancia instantânea, (J_1) compliancia associada ao elemento de Kelvin-Voig, (λ_{ret}) tempo médio de retardado, (η_0) viscosidade do amortecedor Maxwell, (R^2) coeficiente de correlação. Fonte: Própria autoria.

No modelo fracionário, o parâmetro (α) pode variar entre 0 e 1, sendo $\alpha = 1$ para um material perfeitamente viscoso e $\alpha = 0$ para um material perfeitamente elástico. O valor de λ_2 pode assumir valores entre zero e λ_1 , quando este tende a zero, significa que a resistência do material é infinita e que não há nenhuma recuperação. Quando o valor tende a λ_1 , a resistência à recuperação é a mesma que a da fluência e o material se deforma e se recupera linearmente (SPOTTI et al., 2017).

A Tabela 6 mostra que as massas com farinha de chia apresentaram valores de α próximo a ($\sim 0,5$) o que sugere que essas formulações possuem

um melhor balanço entre as características elásticas e viscosas em comparação com a massa controle. O aumento na concentração de farinha de chia incorporada à massa do biscoito elevou os valores dos parâmetros de ajuste (λ_1) e (λ_2). Esse comportamento pode ser explicado pela interação entre as proteínas e a mucilagem (fibras solúveis) presentes na farinha de chia, e a distribuição da água nessa matriz que proporcionam características viscoelásticas à massa. Enquanto que para a amostra controle foram observados valores semelhantes para os parâmetros λ_1 e λ_2 (Tabela 6) indicando que a massa de fécula de mandioca se deforma e recupera linearmente (SPOTTI et al., 2017).

A massa controle apresentou maior resistência à deformação (Tabela 6), indicando ser uma massa mais rígida e com menor recuperação elástica. A resistência da massa à deformação pode ser atribuída à diferença no tamanho e na forma dos grânulos de amido (SINGH et al., 2003). Esse resultado concorda com a análise de varredura de frequência, em que a amostra controle apresentou maiores valores para os módulos viscoelásticos (G' , G'').

Em relação ao modelo de Burgers, a compliancia instantânea (J_0) e a recuperação elástica (J_1) (Tabela 7), foram menores para a massa controle. A distribuição dos grânulos de amido e a falta de estrutura proteica da fécula de mandioca geram certa resistência à deformação, tornando a massa mais dura e com menor viscoelasticidade.

A adição de farinha de chia aumentou os valores das constantes (J_0 ; J_1), influenciando nas características viscoelásticas das massas sem glúten. As proteínas e fibras contidas na farinha de chia contribuem para a formação de uma matriz que conferem as massas mais fluidez e maior viscoelasticidade. Estes resultados são similares aos observados por Moreira; Chenlo e Torres (2013) no comportamento das curvas de fluência e recuperação de massas sem glúten preparadas a partir de farinha de castanhas com a adição de farinha de chia e hidrocolóides e também por Onyango; Unbehend e Lindhauer (2009), quando trabalharam com massas

sem glúten formuladas com amidos de mandioca gelatinizado e de sorgo, celulose (fibras) e emulsificantes.

As constantes dos modelos usados sugerem que a adição de farinha de chia proporcionou massas com melhores características viscoelásticas e melhores propriedades de manipulação.

Tanto o modelo matemático da abordagem de derivada fracionária, como o modelo de Burgers apresentaram bons coeficientes de determinação (R^2) (Tabelas 6 e 7), no entanto, esses coeficientes foram maiores para o primeiro modelo. O modelo da abordagem de derivada fracionária foi útil para descrever o comportamento de fluência e recuperação das massas de biscoito sem glúten e tem como vantagem um menor número de parâmetros de ajuste, o que facilita a análise dos resultados de caracterização de um material viscoelástico.

O modelo de abordagem de derivada fracionária é usado na área de polímeros, porém sua aplicação na caracterização reológica de sistemas alimentícios ainda é escassa (SPOTTI et al., 2017). Por essa razão, o modelo de Burgers também foi usado no ajuste dos dados experimentais, pois é muito utilizado na modelagem do comportamento reológico de massas de panificação (LAZARIDOU et al., 2007; MOREIRA; CHENLO; TORRES, 2013; WITCZAK et al., 2010; ZIOBRO et al., 2012) e sua aplicação permitiu comparar e discutir melhor as constantes obtidas para os dois modelos aplicados.

5.2.3. Ensaio de compressão biaxial lubrificada

As propriedades viscoelásticas da massa de biscoito têm papel importante na qualidade dos produtos e é necessária sua determinação para a previsão do comportamento dos tipos distintos de farinha durante o processo de panificação (MACHADO, 2012).

Figura 7 - Perfil de viscosidade extensional biaxial em função da deformação para as massas de biscoitos nas concentrações de 0% (□FC0), 10% (○FC10), 20%(△FC20) e 30% (×FC30) de farinha de chia.

Fonte: própria autoria.

A Figura 7 mostra a viscosidade extensional biaxial (VEBA) para as massas de biscoito sem glúten. As massas formuladas com maior conteúdo de farinha de chia, e conseqüentemente maiores quantidades de fibras dietéticas, apresentaram menores valores de viscosidade extensional biaxial para uma mesma deformação, indicando um comportamento mais fluido em comparação à massa controle. Esse comportamento pode ser associado a uma maior interação da água dentro da matriz formada pelas ligações das proteínas-polissacarídeos.

Os resultados obtidos na Figura 7 diferem dos trabalhos feitos por Steffolani et al. (2014), Demirkesen (2016) e Demirkesen et al. (2010). Esses autores observaram um aumento na viscosidade extensional biaxial com a presença de fibras nas formulações de biscoitos e pães e sugeriram que a incorporação de fibras na massa pode formar emaranhamentos aumentando a sua resistência ao escoamento. Essa diferença pode estar relacionada ao tipo de fibras da farinha de chia, que tem uma excelente proporção de fibras

solúveis e insolúveis (REYES; TECANTE; VALDIVIA, 2008). A farinha de chia libera a mucilagem (fibra solúvel) à medida que entra em contato com a água e pode se comportar como um hidrocolóide (TROWELL et al., 1976). Em 1996, a FAO descreveu a mucilagem, como uma fonte potencial de goma de polissacarídeo devido às suas excepcionais propriedades mucilaginosas em baixa concentração de água (HULSE, 1996).

A presença de hidrocolóides pode melhorar a elasticidade das massas, devido ao aumento das propriedades viscoelásticas dos polissacarídeos em meio aquoso (LAZARIDOU et al., 2007). Alguns estudos relataram o uso de hidrocolóides como substitutos do glúten na formulação de massas sem glúten (SMITH, 1971; TOUFEILI et al., 1994).

Moreira, Chenlo e Torres (2013) avaliaram o efeito viscoelástico das massas de farinha de castanha com adição de farinha de chia (CHF) e hidrocolóides: goma guar (GG), hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) ou tragacanto (TG). A presença simultânea de chia e hidrocolóides melhorou significativamente as propriedades reológicas das massas. A viscoelasticidade da massa foi maior para as formulações com goma guar.

Lazaridou et al. (2007) estudaram o efeito dos hidrocolóides (pectina, carboximetilcelulose, agarose, xantana e β -glucana de aveia) na reologia da massa de pão sem glúten. O comportamento reológico das massas contendo hidrocolóides, mostrou que a xantana teve o efeito mais pronunciado sobre as propriedades viscoelásticas produzindo massas com maior firmeza. A CMC e a pectina funcionaram como melhoradores na elaboração dos pães sem glúten, pois resultaram em pães com volume significativamente elevado e altos valores de porosidade e viscoelasticidade. Além disso, a adição desses hidrocolóides não alterou a firmeza do miolo.

5.2.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O efeito da farinha de chia na microestrutura da massa de biscoito a base de fécula de mandioca também foi avaliado por microscopia eletrônica de varredura e as micrografias são apresentadas na Figura 8.

Os espaços vazios destacados (AR) na Figura 8.A1 e observados na maioria de micrografias são bolhas de ar incorporadas na massa durante a fase de mistura (MARIOTTI et al., 2009). As Figuras 8.A1 e 8.A2 mostraram que os grânulos de amido foram consideravelmente irregulares, com tamanho e forma não uniformes.

Os grânulos da fécula de mandioca podem ser ovais ou redondos com algumas características côncavas e convexas. O tamanho desses grânulos varia de (5 a 35) μm de diâmetro com a média de 20 μm (CEREDA, 2001) e é influenciado pelo estágio de desenvolvimento da planta (OLIVEIRA, 2011).

As micrografias das Figuras 8.A1; B1 e C1 mostraram os grânulos de amido revestidos com a mistura dos outros ingredientes (gordura, proteínas, água) (RONHOLT et al., 2012). Nas Figuras 8.A1 e A2 correspondentes a formulação da massa controle (sem farinha de chia) foi observado uma fase dispersa (matriz formada pelos demais componentes da formulação) que envolve os grânulos de amido e também glóbulos de gordura, sendo que esses grânulos de amido estão muito próximos, conferindo uma estrutura mais compacta à massa, comportamento de sólido. Esse comportamento foi observado na caracterização reológica dessa massa. Nas Figuras 8.B1; 8.C1 e 8.D1 (com substituição parcial de (10, 20 e 30)%) de farinha de chia, respectivamente) foram observados que os grânulos de amido e os glóbulos de gordura formam uma estrutura menos compacta, devido a um maior conteúdo de proteína e a formação de uma fase dispersa mais viscosa, principalmente devido à mucilagem liberada pela farinha de chia. Essa estrutura confere melhores características viscoelásticas, conforme observado na caracterização reológica desses materiais.

Figura 8- Micrografias das massas de biscoitos nas concentrações de 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30) de farinha de chia. Com Magnitudes de visualização: 500x na direita e 1500x na esquerda.

Fonte:

Própria autoria.

Nas Figuras 8.B1 e 8.B2 se observaram cristais de cálcio (Cr) que foram identificados pelo sistema de energia dispersiva (EDS). A farinha de chia é uma importante fonte de cálcio. Segundo Capitani (2013) a chia contém entre (13-354) vezes mais cálcio, que alimentos consumidos usualmente como o trigo, o arroz, a cevada, a aveia e o milho e possui um teor de cálcio 6 vezes superior em comparação ao leite.

Nas micrografias das Figuras 8.B2 e 8.D2 foi identificada uma estrutura poligonal (EP) que corresponde à mucilagem liberada pela chia, também observada por Muñoz et al. (2012). Essa estrutura explica o aumento nas propriedades de hidratação (capacidades de absorção, CAA, e de retenção, CRA, de água) (Tabela 4) da mistura de fécula de mandioca com farinha de chia com o aumento da concentração de farinha de chia. Essa estrutura é melhor visualizada na Figura 8.D2 onde também foi possível identificar aglomerados (AG) com forte aderência, que podem estar relacionados com o resíduo originado pela liberação da mucilagem. Na Figura 8.D1 pode ser visualizada uma microestrutura menos compacta (mais aberta) e o crescimento da mucilagem na forma de fibras. Salgado et al. (2013) observaram a estrutura da mucilagem de chia, formada por microfibrilas alongadas em uma rede. O tamanho destas fibras pode variar de (10 a 35) nm e são formadas principalmente de carboidratos (AZIAH; NOOR; HO, 2012).

Os fios mucilaginosos de chia podem ser considerados como nano agregados que poderiam ter mais sítios ativos possíveis em sua superfície para modificar suas propriedades físico-químicas, tornando-os adequados para serem usados como aditivos, mas especialmente como nanocompósitos devido ao seu tamanho manométrico (SALGADO et al., 2013).

De maneira geral, observou-se que os grânulos de amido presentes na massa de todas as formulações permaneceram intactos, o que indicou que o processo de mistura (formação da massa), congelamento e liofilização (preparo das amostras para MEV) não alterou a morfologia dos grânulos.

5.2.5. Densidade aparente da massa dos biscoitos

A densidade aparente (g.mL^{-1}) calculada para as diferentes massas de biscoitos ($\text{FC0} = 1,77 \pm 0,16$; $\text{FC10} = 1,69 \pm 0,56$; $\text{FC20} = 1,54 \pm 0,33$ e $\text{FC30} = 1,40 \pm 0,16$) não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) com o aumento da concentração de farinha de chia, o que permite inferir que a quantidade incorporada de ar durante a etapa de mistura, na preparação da massa foi similar para todas as amostras (HADINEZHAD; BUTLER, 2009).

5.3. Caracterização física do biscoito

Os biscoitos (Figura 9) foram avaliados pelas determinações de densidade aparente, espalhamento (razão diâmetro/espessura), umidade, firmeza (parâmetro de textura) e cor ($L^*a^*b^*$) (Tabela 8).

Figura 9 - Biscoitos sem glúten formulados a base de fécula de mandioca com substituição parcial de farinha de chia: 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 8 - Parâmetros físicos dos biscoitos sem glúten a base de fécula de mandioca com substituição parcial de farinha de chia: 0% (FC0), 10% (FC10), 20% (FC20) e 30% (FC30).

Parâmetro avaliado	Formulação			
	CF0	CF10	CF20	CF30
Densidade aparente (g.cm⁻³)	0,42 ± 0,04 ^a	0,48 ± 0,08 ^{a,b}	0,53 ± 0,08 ^{a,b}	0,59 ± 0,10 ^b
Espalhamento	4,00 ± 0,17 ^c	3,74 ± 0,31 ^{b,c}	3,40 ± 0,07 ^a	3,59 ± 0,13 ^{a,b}
Firmeza (N)	4,16 ± 0,03 ^a	5,26 ± 0,11 ^b	9,38 ± 0,02 ^c	10,73 ± 0,06 ^d
Umidade do biscoito (%)	3,45 ± 0,24 ^a	4,40 ± 0,33 ^{a,b}	5,01 ± 0,57 ^b	5,01 ± 0,25 ^b
Parâmetros de cor				
L*	85,7 ± 0,95 ^d	77,8 ± 0,57 ^c	72,3 ± 0,17 ^b	64,2 ± 0,56 ^a
a*	0,79 ± 0,11 ^a	1,74 ± 0,02 ^b	2,00 ± 0,20 ^b	3,06 ± 0,10 ^c
b*	15,7 ± 0,11 ^c	15,2 ± 0,24 ^c	13,8 ± 0,60 ^a	13,0 ± 1,04 ^a

Valor médio ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatisticamente significativas (P <0.05). Fonte: Própria autoria.

5.3.1. Densidade aparente do biscoito

Na Tabela 8 observou-se que os valores da densidade aparente dos biscoitos são muito menores que os valores encontrados na massa (item 5.2.5). No assamento do biscoito, a fécula de mandioca produz expansão na massa e uma estrutura porosa, o que promoveu a redução de sua densidade (MONTENEGRO et al., 2008). O biscoito produzido com substituição da fécula de mandioca por 30% de farinha de chia apresentou maior densidade aparente quando comparado ao biscoito controle ($p < 0,05$). No entanto, os biscoitos formulados com substituição de (10 e 20)% de farinha de chia não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de densidade aparente quando comparados ao biscoito controle (Tabela 8).

5.3.2. Espalhamento do biscoito

O espalhamento do biscoito foi significativamente maior ($p < 0,05$) para os biscoitos FC0 (controle) e FC10 (10% de farinha de chia) (Tabela 8). O grânulo de amido de mandioca tem um elevado poder de inchamento o que permite uma expansão considerável durante o assamento. Essa expansão pode ser atribuída à vaporização da água e a fluidez da pasta de amido (MONTENEGRO et al., 2008).

O espalhamento dos biscoitos é controlado principalmente pela capacidade dos componentes de absorver água (ASSIS et al., 2009). Os biscoitos preparados com maior porcentagem de substituição da fécula de mandioca por farinha de chia (FC20 e FC30) apresentaram maior espessura e menor espalhamento do que o biscoito controle. A capacidade de absorção de água foi maior nas blendas de fécula de mandioca com a proporção de 20 e 30% da farinha de chia (Tabela 4), assim a presença de componentes, como a fibra alimentar e a proteína, competem pela água livre presente na massa do biscoito, limitando a sua taxa de expansão. O comportamento observado nos biscoitos FC20 e FC30 pode ser consequência dos maiores conteúdos de proteínas e de fibras na massa, associado ao maior conteúdo de farinha de chia. O teor de proteína da massa tem impacto negativo no espalhamento dos biscoitos após a cocção, conforme discutido em Sollars (1959) e em Roche; Fowler (1975).

Rahim et al. (2005) avaliaram a qualidade dos biscoitos sem glúten formulados com farinha de amaranto. Esses autores observaram que o alto conteúdo de proteína da farinha de amaranto (35%) reduziu a expansão dos biscoitos e aumentou a sua espessura.

Carrilho (2014) elaborou biscoitos sem glúten com farinha e farelo de arroz e verificou que a fibra contida no farelo de arroz diminuiu o espalhamento dos biscoitos. Esses autores reportaram que o maior conteúdo de fibra na massa diminuiu a expansão dos biscoitos, sendo que a formulação com 30% de farelo de arroz apresentou menor espalhamento e maior espessura.

5.3.3. Textura dos biscoitos

Em relação à firmeza instrumental, todos os biscoitos foram fraturados sob tensão e a fratura aconteceu relativamente perto de sua zona central, onde foi concentrada a maior força aplicada, o que indica que a condição em relação à distância e os suportes para esta análise estava correta.

Na Tabela 8 pode ser observada diferença significativa ($p < 0,05$) na firmeza de todos os biscoitos avaliados. O aumento da concentração de farinha de chia provocou um incremento na força média de ruptura (N) dos biscoitos. O biscoito FC30 apresentou o valor mais elevado para esse parâmetro (média 10,73 N) e foi similar ao valor obtido por De La Barca et al. (2010) (10,88 N) para biscoitos sem glúten formulados com farinha de amaranto.

Segundo Hosney (1994) a dureza dos biscoitos pode ser atribuída à interação de proteínas e amido por ligações de hidrogênio. O incremento da firmeza dos biscoitos também pode ser atribuído ao alto conteúdo de fibra, presente na farinha de chia e consequentemente nos biscoitos com maior proporção dessa farinha. A fibra, embora seu efeito também dependa de seu tipo, tamanho de partícula e morfologia, geralmente reduz a expansão da massa e aumenta sua firmeza (LAGUNA et al., 2014). Os ingredientes fortemente hidrofílicos como as fibras, absorvem quantidades significativas de água e proporcionam massas mais duras e consequentemente mais firmes (SHARMA; GUJRAL, 2014). De Simas et al. (2009) avaliaram a incorporação da farinha de palma em biscoitos sem glúten a base de farinha de arroz e amido de milho e concluíram que os biscoitos com 30% de substituição de farinha de palma (rica em fibras) precisavam de maior força (12,59 N) para serem quebrados.

5.3.4. Umidade dos biscoitos

A umidade dos biscoitos variou de (3,4 a 5%) e foi observado que houve diferença significativa entre o biscoito controle e o biscoito com adição de farinha de chia. O baixo conteúdo de umidade dificulta o crescimento de microrganismos (FERREIRA; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2005). As diferenças observadas podem ser associadas ao alto teor de fibras e de proteínas presentes na farinha de chia. Kruger et al. (2003) e Vieira et al. (2015) verificaram um incremento na umidade dos biscoitos à medida que aumentou os teores de fibras e de proteínas, indicando que existe uma maior retenção de água nos biscoitos devido à natureza higroscópica destes componentes. Porém, esse comportamento não foi observado quando a farinha de chia foi substituída na proporção de 10 para 30% (Tabela 8).

5.3.5. Cor da superfície dos biscoitos

A coloração dos produtos de panificação está relacionada essencialmente com os ingredientes da formulação e é uma das principais características que afeta a aceitabilidade do produto. Quanto maior a substituição de farinha de chia mais escura foi a superfície do biscoito ($<L^*$), sendo que o parâmetro L^* foi estatisticamente diferente ($p<0,05$) para todas as formulações dos biscoitos (Tabela 8). Nessa tabela pode se observar que a intensidade vermelha na superfície do biscoito ($>a^*$) aumentou com a substituição da farinha de chia, sendo que os biscoitos com substituição de 10 e 20% de farinha de chia, não diferiram significativamente entre si. O parâmetro b^* (amarelo) da superfície do biscoito com 10% de farinha de chia não diferiu significativamente do biscoito controle e foi menor para os biscoitos formulados com substituição de 20 e 30% de farinha de chia, indicando menor tonalidade amarela.

O biscoito apresentou uma coloração na superfície mais escura com o aumento da concentração de farinha de chia, o que pode ser atribuído à cor dessa farinha. A cor mais escura na superfície dos biscoitos também pode ser

atribuída à reação de Maillard ou escurecimento não enzimático, que ocorre como consequência da presença de açúcares redutores e aminoácidos (CHEVALLIER et al., 2000). A reação de Maillard está presente nos alimentos submetidos a qualquer tipo de tratamento térmico, sendo a temperatura o parâmetro crítico relativamente a essa reação, que pode ser desejável ou não dependendo da finalidade do produto (PAVLOVIC; SANTOS; GLÓRIA, 1994). De acordo com Alpaslan e Hayta (2006) quanto maior é o conteúdo de fibra adicionada nos produtos, mais escura será a coloração destes. O conteúdo de fibra pode ser considerado outro fator responsável pela coloração da superfície dos biscoitos, pois com o aumento do conteúdo da farinha de chia nos biscoitos, maior a quantidade de fibra.

As massas com maior concentração de farinha de chia resultaram em biscoitos mais escuros, com maior densidade aparente e umidade (Figura 9). Os maiores conteúdos de proteínas e de fibras, e consequentemente a interação desses componentes com a água e a quantidade de água livre na massa em função da proporção de farinha de chia usada nas formulações promoveram uma redução no espalhamento e um incremento na firmeza. A maior quantidade de fécula de mandioca nas formulações aumentou a densidade aparente da massa e do diâmetro dos biscoitos.

5.4. Correlação dos parâmetros reológicos com as propriedades físicas do biscoito

Os coeficientes de correlação das características reológicas da massa e as propriedades físicas dos biscoitos sem glúten são apresentados na Tabela 9. Encontrou-se uma correlação negativa ($r = -0,98$ $p < 0,05$) entre a densidade dos biscoitos e a viscosidade extensional da massa. A falta de estrutura proteica da fécula de mandioca impede a formação de uma rede específica permitindo que os grânulos de amido permaneçam livres e possam se inchar rapidamente (MARIOTTI et al., 2009). Esses grânulos inchados preenchem o espaço livre no sistema, o que fortalece a estrutura da massa, ocasionado uma

maior rigidez na massa (MIYAZAKI; MAEDA; MORITA, 2005), aumentando a resistência à deformação e a expansão da massa, o que implica no incremento nos valores de viscosidade extensional e uma diminuição na densidade dos biscoitos (PEREIRA et al., 1999).

A densidade dos biscoitos pode ser associada à viscoelasticidade da massa. A adição de farinha de chia proporcionou massas com recuperação elástica que deram como resultados biscoitos mais densos ($r = 0,989$ $p < 0,05$).

O espalhamento dos biscoitos mostrou uma correlação negativa com a recuperação elástica ($r = -0,986$ $p < 0,05$) e por sua vez uma correlação positiva com a viscosidade extensional da massa ($r = 0,980$ $p < 0,05$). As massas com propriedades elásticas mais altas proporcionaram biscoitos mais espessos e com menor diâmetro, enquanto a massa com baixa viscoelasticidade resultou na formação de biscoitos mais finos com maior diâmetro. Um aumento nos conteúdos de proteínas e de fibras proporcionou maior viscoelasticidade a massa, e reduziu a expansão dos biscoitos após do assamento (ROCHE; FOWLIERI, 1975).

Encontrou-se uma correlação positiva entre a firmeza dos biscoitos e a recuperação elástica da massa ($r = 0,966$ $p < 0,05$), que pode ser associada ao aumento dos conteúdos de proteínas e de fibras com o aumento da concentração de farinha de chia.

A umidade do biscoito foi maior com o aumento da recuperação elástica da massa ($r = 0,967$ $p < 0,05$). As proteínas e fibras solúveis da farinha de chia ocasionaram um aumento nas propriedades viscoelásticas, a presença destes elementos também influenciou as propriedades de hidratação da massa devido a sua natureza hidrofílica (Tabela 4), dando como resultado biscoitos com maior teor de umidade. A correlação negativa ($r = -0,972$ $p < 0,05$) observada entre a umidade e a viscosidade extensional da massa explica o efeito contrário observado no biscoito controle (formulado sem adição de farinha de chia).

A recuperação elástica e a viscosidade extensional da massa apresentaram uma interação significativa sobre as propriedades finais dos biscoitos, à exceção da firmeza que só foi correlacionada com a recuperação elástica da massa. Os coeficientes de correlação indicaram que todos os parâmetros físicos avaliados foram influenciados por essas propriedades reológicas. A recuperação elástica e a viscosidade extensional da massa foram correlacionadas, e mostraram uma correção negativa ($r = -0,999$ $p < 0,05$), indicando uma relação inversamente proporcional que pode ajudar a prever as propriedades finais dos produtos de panificação.

Tabela 9. Coeficientes de correlação entre as características reológicas da massa e os parâmetros físicos dos biscoitos.

	Densidade (g.cm ⁻³)	Espalhamento	Firmeza (N)	Umidade (%)	Modulo (G', 1 Hz)	Modulo (G'',1 Hz)	Recuperação elástica (1/Pa)	VEBA (Pa.s)
Densidade (g.cm⁻³)	1							
Espalhamento	-0,95179	1						
Firmeza (N)	0,96146	-0,9487	1					
Umidade (%)	0,92448	-0,99481	0,912028	1				
Modulo G' (1 Hz)	0,15850	0,13948	0,119465	-0,22793	1			
Modulo G'' (1 Hz)	-0,73436	0,68505	-0,87184	-0,61386	-0,34958	1		
Recuperação elástica (1/Pa)	0,98954*	-0,98608*	0,96682*	0,96716*	0,01987	-0,71907	1	
VEBA (Pa.s)	-0,98205*	0,98053*	-0,93156	-0,97203*	0,018104	0,636438	-0,9935*	1

*($p < 0,05$) Fonte própria.

6. CONCLUSÕES

O aumento do conteúdo de farinha de chia influenciou significativamente as propriedades de hidratação das blendas de fécula de mandioca e farinha de chia, os parâmetros reológicos da massa e a qualidade física dos biscoitos sem glúten. A microscopia eletrônica de varredura permitiu observar a liberação e formação da mucilagem dentro da estrutura da massa, o que pode ser associado aos altos valores de CRA e CAA obtidos para as misturas de fécula de mandioca e farinha de chia. As massas com maior substituição de farinha de chia apresentaram maior recuperação elástica, menores valores de módulo viscoelásticos e menor viscosidade extensional, indicando massas com maior viscoelasticidade e maior resistência à deformação.

Os resultados dos testes de fluência e recuperação corroboram com os resultados de varredura de frequência, ambos os testes revelaram uma diminuição da força da massa com o aumento do teor de farinha de chia, que foi relacionada ao aumento da viscoelasticidade da massa.

Os dados de fluência e recuperação foram modelados com sucesso (R^2) pelos modelos matemáticos de abordagem de derivada fracionária e de Burgers. Os parâmetros desses modelos foram usados para verificar possível correlação com as propriedades dos biscoitos.

A correlação de Pearson foi considerada forte entre as propriedades físicas dos biscoitos e os parâmetros reológicos obtidos nos ensaios reológicos de fluência e recuperação e de compressão biaxial, sugerindo que esses parâmetros podem ser usados como indicadores de qualidade.

As formulações com maiores concentrações de farinha de chia resultaram em biscoitos mais escuros, com maior densidade aparente, umidade e firmeza. A presença de proteínas e fibras na massa ocasionou uma redução no espalhamento dos biscoitos. A formulação controle (sem farinha de chia) apresentou maior densidade aparente para a massa e maior diâmetro dos biscoitos.

Os resultados encontrados sugerem que a caracterização reologia da massa poderia contribuir para prever as propriedades finais dos produtos de panificação, e que a substituição parcial de farinha de chia poderia ser utilizada para melhorar as características físicas e nutricionais na fabricação biscoitos sem glúten a base de fécula de mandioca.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AACC. **American Association Cereal Chemists. Approved methods.**, 1995.
- AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists International**, 2012.
- ABDUL-HAMID, A.; LUAN, Y. S. Functional properties of dietary ® bre prepared from defatted rice bran. v. 68, p. 15–19, 2000.
- ABIMAPI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BISCOITOS, M. A. E P. E B.; INDUSTRIALIZADOS. **Estatísticas de Biscoito**, 2017.
- ABRAMOWITZ, M., & STEGUN, I. A. **Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. Washington United States Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1964. p 1046.
- ALPASLAN, M.; HAYTA, M. The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. **Journal of Food Quality**, v. 29, n. 6, p. 617–627, 2006.
- ÁLVAREZ-CHÁVEZ, L. M. et al. Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 3, p. 687–697, 2008.
- ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. S4, p. 240–257, 2009.
- AMANTE, E. R. **Caracterização de Amidos de Variedades de Mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e de Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **method 985.29 Total dietary fiber in foods (enzymatic–gravimetric method)**, 1990.
- ARAÚJO, H. M. C. et al. Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. **Revista de Nutricao**, v. 23, n. 3, p. 467–474, 2010.
- ASSIS, L. M. DE et al. Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos com substituição de farinha de trigo por farinha de aveia ou farinha de arroz parboilizado. **Alim. Nutr.**, v. 20, n. 1, p. 21–30, 2009.
- ATKINSON, C.; FARROW, J.; BARRET, V.; WALDEN, H. **Cookies**. Editora Barnes & Noble Books. New York: 2003 p. 512.
- AVELAR, A. DE F. **Elaboração e aceitação sensorial de biscoito grissini a base de mandioca (*Manihot esculenta*)**. 39 f. 2015 (Tecnólogo em

Alimentos)- Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

AYERZA, R.; COATES, W. **Chia: Rediscovering a forgotten crop of the Aztecs**. The Univ. ed. Tucson Arizona: Press, 2005^a.

AYERZA, R. The seed's protein and oil content, fatty acid composition and growing cycle length of a single genotype of Chia (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental factors. **Journal of Oleo Science**, v. 58, p. 347 – 354, 2009.

AYERZA, R.; COATES, W. **Chia seed (*Salvia hispanica* L .) as an ω -3 fatty acid source for broilers : Influence on fatty acid composition , cholesterol and fat content of white and dark meats , Growth Performan. n. October 2016, p. 826–837, 2002.**

AYERZA, R.; COATES, W. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. **Nutrition Research**, v. 25, n. 11, p. 995–1003, 2005^b.

AYERZA H, R. Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 72, n. 9, p. 1079–1081, 1995.

AYERZA H, 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**, v. 34, n. 2, p. 1366–1371, 2011.

AZIAH, A. A. N.; NOOR, A. Y. M.; HO, L. H. Physicochemical and organoleptic properties of cookies incorporated with legume flour. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 4, p. 1539–1543, 2012.

BAGOLIN DO NASCIMENTO, A. et al. Availability, cost and nutritional composition of gluten-free products. **British Food Journal**, v. 116, n. 12, p. 1842–1852, 2014.

BARBOSA, M. C. **Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido de semente de jaca (*Artocarpus Integrifolia*)**. 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, itapeting: 2013.

BENNION, E.B.; BENT, A.J.; BAMFORD, G. S. T. **The technology of cake making**. v. 6, p. 423, 1997. (Ed). A.J. Bent, Edmund Baron Bennion.

BETIOLI, A. M. et al. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares Rheological characterization of cement paste: association of complementary techniques. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 37–48, 2009.

BILIADERIS, C. G. BILIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch

with food. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 69, p. 60–78, 1991.

BORDERÍAS, A. J.; SÁNCHEZ-ALONSO, I.; PÉREZ-MATEOS, M. New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 10, p. 458–465, 2005.

BRASIL. **revistas pela CNNPA (Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos), relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro**, 1978a.

BRASIL. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas.**, 1978b.

BRASIL. **Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, constantes do anexo desta Portaria**, 2005.

BRITO, L. G. DA S.; MOREIRA, I. C. **Aplicação de Chia (*Salvia hispanica*) no processamento de pães visando o enriqueciemnto nutricional e funcional**. 2008. p. 139 -152. In: OLIVEIRA, Ana Flávia de; STORTO, Letícia Jovelina. **Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas - Vol. 1**. São Paulo: Blucher, 2016.

BUENO, MIRIAN; DI SAPIO, OSVALDO; BAROLO, MELISA; BUSILACCHI, HÉCTOR; QUIROGA, MIRTA; SEVERINI, C. **Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L.(*Lamiaceae*) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina)**. 2010.

BULEON A, P. COLONNA, V. PLANCHOT, S. B. Starch granules : structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85–112, 1998.

BURDEN, M. et al. Cost and availability of gluten-free food in the UK: In store and online. **Postgraduate Medical Journal**, v. 91, n. 1081, p. 622–626, 2015.

BUSHWAY, A. A.; BELYEA, P. R.; BUSHWAY, R. J. Chia Seed as a Source of Oil, Polysaccharide, and Protein. **Journal of Food Science**, v. 46, n. 5, p. 1349–1350, 1981.

CAMARGO, K. F. DE; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 586–591, 2008.

CAPITANI, M. I. **Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*salvia hispanica* I .) Aplicación en tecnología de alimentos**. (Tesis Doctoral), Universidad De La Plata, Argentina. p. 1–204, 2013

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de**

argamassas pelo método de squeeze-flow.Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis: p. 1-31, 2005.

CARRILHO, L. S. F. B. **Bolachas sem glúten a partir de subprodutos da indústria.** 2014. 60 f. (Dissertação mestrado) Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; TAKAHASHI, M. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas,. **Fundação Cargill. São Paulo.**, v. 3, p. 30–46, 2003.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido.**Fundação Cargill (Serie: **Culturas de tuberosas amiláceas Latinoamericanas**,São Paulo, 2001.

CEREDA, M. P. **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas.** São Paulo: Fundação Cargill, 2002.

CHEVALLIER, S. et al. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. **Journal of Cereal Science**, v. 31, n. 3, p. 241–252, 2000.

COATES, W.; AYERZA, R. Production potential of chia in northwestern Argentina. **Industrial Crops and Products**, v. 5, n. 3, p. 229–233, 1996.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Revisão : Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos Review : Chemical composition, functional properties and technological applications. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 4, p. 259–268, 2014.

COSTA, A.; MATEUS, D.; BORGES, S. Redalyc. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Holos**, v. 1, p.97-111, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil, 2005.

CRAIG, S. A.; MANINGAT, C. C.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C. Starch paste clarity. **Cereal Chemistry**, v. 66, p. 173–182, 1989.

D'APPOLONIA. Rheological and baking studies of legume–wheat flour blends. **Cereal Chem**, p. 54:63, 1977.

DA SILVA, B. P. et al. Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1709–1716, 2017.

DAPČEVIĆ HADNADEV, T. R.; TORBICA, A. M.; HADNADEV, M. S. Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 7, p. 1770–1781, 2013.

DAVIES, L. Starch-composition, modifications, applications and nutritional value in foodstuffs. **Food Technology Europe**, v. 2, p. 44–52, 1995.

DE LA BARCA, A. M. C. et al. Gluten-free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 65, n. 3, p. 241–246, 2010.

DE SIMAS, K. N. et al. Effect of king palm (*Archontophoenix alexandrae*) flour incorporation on physicochemical and textural characteristics of gluten-free cookies. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 531–538, 2009.

D DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura. Aplicações e preparação de amostras**. p. 60, Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DEMIATE, I. M. et al. Características viscoamilográficas de amidos de mandioca quimicamente modificados. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 11, n. 1, p. 7–17, 2005.

DEMIRKESEN, I. et al. Rheological properties of gluten-free bread formulations. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 2, p. 295–303, 2010.

DEMIRKESEN, I. Formulation of chestnut cookies and their rheological and quality characteristics. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 4, p. 264–273, 2016.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 30, n. 4, p. 692–700, 2006.

DICK, M. et al. Atividade antioxidante de semente se chia brasileira e mexicana. **5º Simpósio de Segurança Alimentar - Alimentação e Saúde**, n. 1, p. 5, 2015..

DOBRA SZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v. 38, p. 229–245, 2003.

ELIASSON, A. C. Starch in food – structure, function and applications. **Journal of texture studies**. New York: Boca Raton. 1997.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. **Journal Non-Newtonian Fluid Mech**, v. 132, p. 1–27, 2005.

ESPOSITO, F. et al. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. **Food Research International**, v. 38, n. 10, p. 1167–1173, 2005.

FERREIRA, P. P. **Extração , Caracterização e Aplicações de Fécula de açafraão (*Curcuma longa* L .)**. 50 f. (Dissertação Mestrado) Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. 2014.

FERREIRA, T. R. B. **Caracterização nutricional e funcional da farinha de chia (*Salvia hispanica*) e sua aplicação no desenvolvimento de pães**. 2013. 112 f. (Dissertação Mestrado) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2013.

FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. D. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciências Agrotécnicas**, v. 29, n. 4, p. 795–802, 2005.

FIORDA, F. A. et al. LWT - Food Science and Technology Microestructure , texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth fl our , cassava starch and cassava bagasse. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 132–138, 2013.

F RANCIS, F. J. Colorimetric Properties of Foods. In: RAO, M. A. . R. S. S. H. & K, D. A. **Engineering Properties of Foods**. ST: Taylor ed. New York, p. 703–732. 2005.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M. . C.; L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. .; SARMENTO, S. B. S. . **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido**. 1. ed. Campinas: Fundação Cargill: p 224. 2001.

FRY, L.; MADDEN, A. M.; FALLAIZE, R. An investigation into the nutritional composition and cost of gluten-free versus regular food products in the UK. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 31, n. 1, p. 108–120, 2018.

FUJITA, A. H.; FIGUEROA, M. O. R. Composição centesimal e teor de beta-glucanas em cereais e derivados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 116–120, 2003.

FUSTIER, P. et al. Flour constituent interactions and their influence on dough rheology and quality of semi-sweet biscuits: A mixture design approach with reconstituted blends of gluten, water-solubles and starch fractions. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 144–158, 2008.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 3–4, p. 143–152, 2004.

GANDUR, M. C. **Comportamento Dinâmico Complexo em Despelamento de Fitas Adesivas**. (Tese de doutorado) Universidade de Campinas, unicamp, p.128, 2001.

GANZAROLI, J. F; TANAMATI, A.; SILVA, M. **Avaliação do teor de lipídeos In: Totais e da Composição de Ácidos Graxos de Semente Salvia Hispânica L (chia)**. XVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Campo Mourão: 2012.

GEWEHR, M. F. et al. Análises químicas em flocos de quinoa: caracterização para a utilização em produtos alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 4, p. 280–287, 2012.

GIBOREAU, A.; CUVELIER, G.; LAUNAY, B. Rheological behavior of threebiopolymer/water system, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. **Journal of Texture Studies**, v. 25, p. 119–137, 1994.

GORINSTEIN, S. et al. Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 952–957, 2001.

HADINEZHAD, M.; BUTLER, F. Effect of flour type and dough rheological properties on cookie spread measured dynamically during baking. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 2, p. 178–183, 2009.

HEYWOOD, A. A. et al. Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-expelling system. **JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 79, n. 12, p. 1249–1253, 2002.

HORSTMANN, S. et al. Fundamental study on the impact of gluten-free starches on the quality of gluten-free model breads. **Foods**, v. 5, n. 2, p. 30, 2016.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. Edition 2 ed. American Association of Cereal Chemists, 1994.

HULSE, J. **Flavour , spices and edible gums : Opportunities for integrated agroforestry systems**. International Conference on Domestication and Commercialization of Non-timber Fores, Systems, Products in Agroforestry, FAO. Uganda: 1996

IAGHER, F.; REICHER, F.; GANTER, J. L. M. S. Structural and rheological properties of polysaccharides from mango (*Mangifera indica* L.) pulp. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 31, n. 1–3, p. 9–17, 2002.

INGLETT, G. E.; CHEN, D.; LIU, S. Physical properties of sugar cookies containing chia-oat composites. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 15, p. 3226–3233, 2014.

IXTAINA, V. Y. et al. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 2, p. 166–174, 2011.

JACOB, J.; LEELAVATHI, K. Effect of fat-type on cookie dough and cookie quality. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 299–305, 2007.

J ANE, J. S. Starch Properties, Modifications and applications. Pure applied

chemistry. **Pure Applied Chemistry**, v. 32, p. 751–757, 1995.

JIMÉNEZ, F. E. G. **Caracterización de compuestos fenólicos presente en la semilla y aceite de chía (*Salvia hispanica* L.), mediante electroforesis capilar**. 2010. 201 f. (tesis Maestría) - Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 2010.

JIN, F. et al. Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 67, n. 2, p. 105–110, 2012.

JISHA, S.; PADMAJA, G. Whey Protein Concentrate fortified baked goods from cassava-based composite flours: nutritional and functional properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 1, p. 92–101, 2011.

JISHA, S.; PADMAJA, G.; SAJEEV, M. S. Nutritional and textural studies on dietary fiber-enriched muffins and biscuits from cassava-based composite flours. **Journal of Food Quality**, v. 33, p. 79–99, 2010.

JOSEPH P., C. Genetic diversity among varieties of Chia (*Salvia hispanica* L.). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 51, n. 7, p. 773–781, 2004.

JOUANIN, A. et al. Food processing and breeding strategies for coeliac-safe and healthy wheat products. **Food Research International**, p. 1–11, 2017.

KAMALJIT K; BALJEET S; AMARJEET K. Preparation of bakery products by incorporating pea flour as a functional ingredient. **Food Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 130–135, 2010.

KAUR, A. et al. Relationships of flour solvent retention capacity, secondary structure and rheological properties with the cookie making characteristics of wheat cultivars. **Food Chemistry**, v. 158, p. 48–55, 2014.

KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. **Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives**. Blackie Academic & Professional, Glasgow: Springer, p. 296, 1995.

KIM, J. C.; DE RUITER, D. Bread from non-wheat flours. **Food Technology**, v. 22, p. 867–878, 1968.

KOHAJDOVÁ, Z.; KAROVIČOVÁ, J.; MAGALA, M. Effect of lentil and bean flours on rheological and baking properties of wheat dough. **Chemical Papers**, v. 67, n. 4, p. 398–407, 2013.

KOKSEL, F.; SCANLON, M. G. Effects of composition on dough development and air entrainment in doughs made from gluten-starch blends. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 445–450, 2012.

KRAMER, A., SZCZESNIAK, A. T. M. OF F. **Texture Measurements of**

Foods: Psychophysical Fundamentals; Sensory, Mechanical, Chemical Procedures and Their Interrelationships, Springer, 1973.

KRUGER, C. C. H. et al. Biscoitos tipo “cookie” e “snack” enriquecidos, respectivamente com caseína obtida por coagulação enzimática e caseinato de sódio. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 81–86, 2003.

KUPPER, C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. **Gastroenterology**, v. 128, n. 4, p. 121–127, 2005.

LAGUNA, L. et al. Role of fibre morphology in some quality features of fibre-enriched biscuits. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 1, p. 163–178, 2014.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: EDUSP, p. 646, 2006

LARA, E. et al. Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 622–630, 2011.

LAZARIDOU, A. et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 1033–1047, 2007.

LEONEL, M.; MARTINS, J. C.; MISCHAN, M. M. Produção de snacks funcionais à base de farinha de soja e polvilho azedo. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1418–1423, 2010.

LIM, S. T.; KASEMSUWAN, T.; JANE, J. L. Characterization of phosphorous in starch by p-31 nuclear magnetic-resonance spectroscopy. **Cereal Chemistry**, v. 71, p. 468–472, 1994.

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

LIU, Q. Understanding starches and their role in foods. **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications.**, p. 432, ed.RC Press 2005.

LO, T.; MOREIRA; CASTELL-PEREZ. Rheological properties of corn meal dough. **Food Science and Technology International**, v. 5, n. 1, p. 59–65, 1999.

LOPES, A. C. **Mucilagem de chia e sua utilização no processamento de biscoito salgado isento de glúten**. 2017. 72 f. (Dissertação Mestrado). Tecnologia De Alimentos, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Londrina, 2017

LOPES, E. A.; DORA, B.; MELO, G. DE. Influência do controle da etapa de molhagem dos grãos na qualidade microbiológica da farinha de trigo. **Alim. Nutr**, v. 17, n. 2, p. 209–218, 2006.

LÓPEZ, G. et al. Relationship between Physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 9, p. 2773–2778, 1996.

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

MACHADO, A. P. O. **Propriedades viscoelásticas de massa de farinha de arroz e do concentrado proteico de orizenina**. 2012. 49 f. (Dissertação Mestrado). Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Federal de Viçosa, Viçosa minas gerais, 2012.

MANCEBO, C. M.; RODRIGUEZ, P.; GÓMEZ, M. Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 67, p. 127–132, 2016.

MANLEY, D. **Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry**. 3 ed. Abington Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001.

MARINELI, R. DA S. et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2P2, p. 1304–1310, 2014.

MARIOTTI, M. et al. The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 963–975, 2009.

MARTÍNEZ, M. L. et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 78–82, 2012.

MARTÍNEZ, M. M.; GÓMEZ, M. Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. **Journal of Food Engineering**, v. 197, p. 78–86, 2017.

MASI, P.; CAVELLA, S.; PIAZZA, L. An Interpretation of the rheological behavior of wheat flour dough based on fundamental tests. **Bread Staling**. book, p. 18, 2001.

MASI P., CAVELLA S., S. M. Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p. 428–432, 1998.

MASTROMATTEO, M. et al. Formulation optimisation of vegetable flour-loaded

functional bread. Part II: Effect of the flour hydration on the bread quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 10, p. 2109–2116, 2012.

MESQUITA, C. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 3, p. 404–410, 2013.

MIGLIAVACCA, R. A.; VASCONCELOS, A. L. S.; SANTOS, C. L. . B.; C., J. L. **Uso da cultura da chia como opção de rotação no sistema de plantio direto**. 14º Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Brasília. 2014.

MITCHELL, J. R. Rheology gels. **Journal of Textural Studies**, v. 7, n. 3, p. 313–339, 1976.

MIYAZAKI, M.; MAEDA, T.; MORITA, N. Gelatinization properties and bread quality of flours substituted with hydroxypropylated, acetylated and phosphorylated cross-linked tapioca starches. **Journal of Applied Glycoscience**, v. 52, n. 4, p. 345–350, 2005.

MONTENEGRO, F. M. et al. Biscoitos de polvilho azedo enriquecidos com fibras solúveis e insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 184–191, 2008.

MOORE, C.O., TUSCHHOFF, J.V., HASTINGS, C.W., SCHANEFELT, R. V. Applications of starches in foods . **Chemistry and Technology**, v. 2, p. 575–591, 1984.

MORAES, K. S. et al. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 233–242, 2010.

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**, v. 50, n. 1, p. 160–166, 2013.

MOREIRA, R. G.; LO, T-ER.; CASTELL-PEREZ, M. E. Rheological changes in cooked cornmeal dough due to differences in moisture content using squeezing flow viscometry. **Food Science and Technology International**, v. 1, p. 41–45, 1995.

MORETTO E; FEET R. **Processamento e análise de biscoitos**. São Paulo: Varela. p. 97, 1999.

MORRIS, E. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. **Food science and technology**, v. 67, p. 517–546., 1995.

MOURA, C. C. DE et al. Biscoitos enriquecidos com farelo de linhaça marrom (*Linum Usitatissimum* L.): valor nutritivo e aceitabilidade. **DEMETRA**:

Alimentação, Nutrição & Saúde, v. 9, n. 1, p. 71–82, 2014.

MOURÃO, W.; LEONARDO, J.; BAPTISTELLA, C. O cultivo da chia no brasil: futuro e perspectivas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.161-179, 2014.

MUÑOZ, L. A. COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 1, p. 216–224, 2012.

O'SHEA, N.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. State of the Art in Gluten-Free Research. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 6, p. 1067–1076, 2014.

OLIVEIRA, D. C. DE. **Caracterização e potencial Tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

OLIVOS-LUGO, B. L.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. Á.; 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**, v. 16, p. 89–96, 2010.

ONYANGO, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M. G. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 949–955, 2009.

PAVANELLI, A. P. Aditivos para panificação: conceitos e funcionalidade. **Associação Brasileira da Indústria de Aditivos e Melhoradores para Alimentos e Bebidas - ABIAM**, 2000.

PAVLOVIC, S.; SANTOS, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. Maillard reaction during the processing of “Doce de leite”. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 66, n. 2, p. 129–132, 1994.

PEREIRA, B. D. S. et al. Análise físico-química e sensorial do pão de batata isento de glúten enriquecido com farinha de chia. **Demetra: Alimentação, Nutrição e Saúde**, v. 8, n. 2, p. 125–136, 2013.

PEREIRA, J. et al. Féculas fermentadas na fabricação de biscoitos: estudo de fontes alternativas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 287–293, 1999.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2003.

- PHILIPPI, S. T. Nutrição e Técnica Dietética. **Barueri: Manole**, p. 56–66, 2006.
- PILEGGI, R. G., CINCOTTO, M. A., JOHN, V. M. Conceitos reológicos aplicados no desenvolvimento de argamassas. **Revista de ciência e tecnologia de materiais de construção civil.**, v. 3, p. 62–76, 2006.
- RAGHAVENDRA, S. N. et al. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 3, p. 281–286, 2006.
- RAHIM, A. S. M. L. S. A. Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. **European Food Research and Technology**, n. 221, p. 597–601, 2005.
- RAO, M. A.; TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, n. 2, p. 123–132, 1999.
- RESENDE, F. DE S. **Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão**. 2011. 80 f. (Dissertação Mestrado). Engenharia Química - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011.
- REWERS, M. Epidemiology of celiac disease: What are the prevalence, incidence, and progression of celiac disease? **Gastroenterology**, v. 128, n. 4 SUPPL. 1, p. 47–51, 2005.
- REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Chemistry**, v. 107, n. 2, p. 656–663, 2008.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química dos Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher. 2004.
- RICKARD, J.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, M. V. The physico-chemical properties of cassava starch. Review . **Tropical Science**, v. 31, n. 2, p. 189–207, 1991.
- ROCHE, I. A. D. E. L. A.; FOWLERI, D. B. Wheat quality evaluation. 1. accuracy and precision of prediction tests. **Canadian Journal of Plant Science**, n. 55, p. 241–249, 1975.
- RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho E, enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 184 f. (Dissertação Mestrado) - Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- RONDA, F.; VILLANUEVA, M.; COLLAR, C. Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 12–

20, 2014.

RONHOLT, S. et al. Polymorphism, microstructure and rheology of butter. Effects of cream heat treatment. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1730–1739, 2012.

ROSS, K. A.; PYRAK-NOLTE, L. J.; CAMPANELLA, O. H. The use of ultrasound and shear oscillatory tests to characterize the effect of mixing time on the rheological properties of dough. **Food Research International**, v. 37, n. 6, p. 567–577, 2004.

ROUILLÉ, J. et al. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 45–57, 2005.

SADOWSKA, J. et al. Changes of wheat dough and bread quality and structure as a result of germinated pea flour addition. **European Food Research and Technology**, v. 216, n. 1, p. 46–50, 2003.

SALGADO-CRUZ, M. DE LA P. et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 453–462, 2013.

SALGADO, M.; CEDILLO, D.; BELTRÁN, C. Estudio de las Propiedades Funcionales de la Semilla de Chía (*Salvia hispánica*) y de la Fibra Dietaria. **VII congreso nacional de ciencia de los alimentos y III de ciencia y tecnología de alimentos**. Guanajuato, Mexico. p. 1–6, 2012.

SALTIN, S.; SUMNU, S. G. Physical Properties of Foods. **Food Science Text Series**, 2006.

SANDOVAL-OLIVEROS, M. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 193–201, 2013.

SATURNI, L.; FERRETTI, G.; BACCHETTI, T. The gluten-free diet: Safety and nutritional quality. **Nutrients**, v. 2, n. 1, p. 16–34, 2010.

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

SEGURA-NIETO, M.; BARBA DE LA ROSA, A. P.; PAREDES- LÓPEZ, O. Biochemistry of amaranth protein. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed.). In: PRESS, C. (Ed.). **Amaranth: Biology, Chemistry and Technology**. 1999. ed. p. 76–95.

SHARMA, P.; GUJRAL, H. S. Cookie making behavior of wheat-barley flour blends and effects on antioxidant properties. **LWT - Food Science and**

Technology, v. 55, n. 1, p. 301–307, 2014.

SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of experimental botany**, v. 53, n. 370, p. 947–958, 2002.

SHITTU, T. A. et al. Bread from composite cassava-wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, v. 41, n. 6, p. 569–578, 2008.

SINGH, J. et al. Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours. **Food Chemistry**, v. 83, n. 3, p. 387–393, 2003.

SINGH, J.; WHELAN, K. Limited availability and higher cost of gluten-free foods. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 24, n. 5, p. 479–486, 2011.

SINGH, S.; SINGH, N. Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 2, p. 342–348, 2013.

SMITH, J.R., SMITH, T.L., & TSCHOEGL, N. W. Rheological properties of wheat flour doughs III. Dynamic shear modulus and its dependence on amplitude, frequency, and dough composition. **Rheologica Acta**, v. 9(2), p. 239–252, 1970.

SMITH, E. B. Gluten-free breads for patients with uremia. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 59, n. 6, p. 572–574, 1971.

SOLLARS, W. . Effects of the water soluble constituents of wheat flours on cookie diameter. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 498–513, 1959.

SPOTTI, M. J. et al. Whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis and heat treatment: Comparison of creep and recovery behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 696–704, 2017.

STAUDACHER; GIBSON; Invited commentary how healthy is a gluten-free diet. **Journal of Nutrition**, v. 114, p. 1539–1541, 2015.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. East Lansing, MI, USA. p. 428, 1996.

STEFFOLANI, E. et al. Effect of chia (*Salvia hispanica* L) addition on the quality of gluten-free bread. **Journal of Food Quality**, v. 37, n. 5, p. 309–317, 2014.

SURIYA, M. et al. Functional and physicochemical characteristics of cookies prepared from *Amorphophallus paeoniifolius* flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 7, p. 2156–2165, 2017.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215–225, 2002.

TATTERSALL, G. H. Banfill, P. F. G. **The rheology of fresh concrete**. Editor: Pitman advanced publishing program. Universidade de Michigan. p. 356, 1983.

TAVERNA, L.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. **Ciencie y tecnología de los alimentos**, v. 32, n. 4, p. 826–834, 2012.

TERESA, M.; SILVA, P. Qualidade física , química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim Physical , chemical and sensory quality of cookies elaborated. **Journal food Technology** . p. 139–146, 2013.

THEETHIRA, T. G.; DENNIS, M. Celiac disease and the gluten-free diet: Consequences and recommendations for improvement. **Digestive Diseases**, v. 33, n. 2, p. 175–182, 2015.

TOUFEILI, I. et al. Formulation of Gluten-Free Pocket-Type Flat Breads: Optimization of Methylcellulose , Gum Arabic , and Egg Albumen Levels by Response Surface Methodology. **American Association of Cereal Chemists**, v. 71, n. 6, p. 594–601, 1994.

TROWELL H, SOUTHGATE DA, WOLEVER TM, LEEDS AR, GASSULL MA, J. D. Dietary Fibre Redefined. **The Lancet**, v. 307, n. 1, p. 967, 1976.

TSATSARAGKOU, K. et al. Effect of Carob Flour Addition on the Rheological Properties of Gluten-Free Breads. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 3, p. 868–876, 2014.

Journal of Supercritical Fluids, v. 56, n. 2, p. 174–178, 2011.

UTHAYAKUMARAN, S., NEWBERRY, M., PHAN-THIEN, N., & TANNER, R. I. Small and large strain rheology of wheat gluten. **Rheologica Acta**, v. 41 (1), p. 162–172, 2002

VALCÁRCEL-YAMANI, B.; RONDÁN-SANABRIA, G. G.; FINARDI-FILHO, F. The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* molina), olluco (*Ullucus tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* ruiz & pavón). **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 49, n. 3, p. 453–464, 2013.

VAZQUEZ-OVANDO, ROSADO-RUBIO, CHEL-GUERRERO, B. A. D. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 168–173, 2009.

VERDÚ, S. et al. Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. **Journal of**

Cereal Science, v. 65, p. 67–73, 2015.

VIEIRA, T. DOS S. et al. Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 285–292, 2015.

VITTI, P.; GARCIA, E.E.C.; OLIVEIRA, L. M. DE. **Tecnologia de biscoitos**. Campinas, SP: ITAL: p. 86, 1998.

VOLLMER, G., JOSS, G., STURM, W., VREDEN, N. **Elementos De Bromatologia Descritiva**. EDITORIAL, ACRIBIA. p. 670, 1999.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. **Starch Chemistry and Technology**. (ed). Print Book & E-Book. 2nd Edition, 1984.

WILDMAN, R. E. C. Nutraceuticals: a brief review of historical and teleological aspects. **Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods**, p. 1;12, 2001.

WITCZAK, M. et al. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 2, p. 258–265, 2010.

WYSS, H. M. et al. Strain-Rate Frequency Superposition (SRFS) - A rheological probe of structural relaxation in soft materials. **Journal Physical Review Letters** v. 9, n. 2. p. 1–5, 2008.

YAO, N. Y.; LARSEN, R. J.; WEITZ, D. A. Probing nonlinear rheology with inertio-elastic oscillations **Journal of Rheology**.v.52, n.4. p. 1013–1025, 2008.

ZARKADAS, M. et al. The impact of a gluten-free diet on adults with coeliac disease: results of a national survey. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 19, n. 1, p. 41–49, 2006.

ZETTEL, V. et al. Influence of gel from ground chia (*Salvia hispanica* L.) for wheat bread production. **European Food Research and Technology**, v. 240, n. 3, p. 655–662, 2014.

ZIOBRO, R. et al. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 68–74, 2012.

APÊNDICE

Apêndice A. Ajuste do modelo de derivada fraccionada para as massas de biscoitos FC0 (Fécula de mandioca 100%)

Apêndice B. Ajuste do modelo de derivada fraccionada para as massas de biscoitos FC10 (Fécula de mandioca, farinha de chia 90:10).

Apêndice C. Ajuste do modelo de derivada fraccionada para as massas de biscoitos FC20 (Fécula de mandioca, farinha de chia 80:20)

Apêndice D. Ajuste do modelo de derivada fraccionada para as massas de biscoitos FC30 (Fécula de mandioca, farinha de chia 70:30)

Apêndice E. Ajuste do modelo de Burgers para as massas de biscoitos FC0 (Fécula de mandioca 100%).

Apêndice F. Ajuste do modelo de Burgers para as massas de biscoitos FC10 (Fécula de mandioca, farinha de chia 90:10).

Apêndice G. Ajuste do modelo de Burgers para as massas de biscoitos FC20 (Fécula de mandioca, farinha de chia 80:20).

Apêndice H. Ajuste do modelo de Burgers para as massas de biscoitos FC30 (Fécula de mandioca, farinha de chia 70:3).

Anexo I. Resultado final dos biscoitos a base de fécula de mandioca com adição de farinha de chia

Anexo II. Dimensões dos biscoitos a base de fécula de mandioca com adição de farinha de chia.

Formulação	Dimensões dos biscoitos	
	Diâmetro final	Espessura final
FC0	4,44 ± 0,08	1,11 ± 0,02
FC10	4,25 ± 0,08	1,14 ± 0,08
FC20	4,23 ± 0,06	1,12 ± 0,02
FC30	4,20 ± 0,08	1,12 ± 0,03