



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA E
DO TEMPO DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE
MASSAS GLÚTEN-FREE FUNCIONAIS**

NAYARA JESSICA DA SILVA RAMOS

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO/2021

NAYARA JESSICA DA SILVA RAMOS

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA E
DO TEMPO DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE
MASSAS GLÚTEN-FREE FUNCIONAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadores: Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão

Profa. Dra. Thaisa Abrantes Souza Gusmão

Agência Financiadora: CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO/2021

R175e Ramos, Nayara Jessica da Silva.
Efeito da concentração de transglutaminase microbiana e do tempo de extrusão nas propriedades tecnológicas de massas glúten-free funcionais / Nayara Jessica da Silva Ramos. – Campina Grande, 2021.
67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.
"Orientação: Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão, Prof.^a Dr.^a Thaisa Abrantes Souza Gusmão".
Referências.

1. Extrusão de Massas. 2. Transglutaminase Microbiana. 3. Perfil de Textura. 4. Reologia de Massa. I. Gusmão, Rennan Pereira de. II. Gusmão, Thaisa Abrantes Souza. III. Título.

CDU 664.641(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

NAYARA JESSICA DA SILVA RAMOS

Efeito da concentração de transglutaminase microbiana e do tempo de extrusão nas propriedades tecnológicas de massas glúten-free funcionais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Aprovada em: 30 de Julho de 2021.

Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão (Orientador PPGEALI-UFCG)

Profª Drª Thaisa Abrantes Souza Gusmão (Orientadora PPGEALI-UFCG)

Prof. Drª. Ana Paula Trindade Rocha (Examinador Interno PPGEALI-UFCG)

Profª Drª. Julice Dutra Lopes (Examinador Externo-UFPB)



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, COORDENADOR (A)**, em 15/09/2021, às 14:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENNAN PEREIRA DE GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/09/2021, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julice Dutra Lopes, Usuário Externo**, em 15/09/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **THAISA ABRANTES SOUZA GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/09/2021, às 09:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1774446** e o código CRC **AC583606**.

Epígrafe

“Por uma graça fielmente recebida, Ele me concedia uma multidão de outras.”

Santa Terezinha

Dedico esse trabalho ao meu primo, Emanuel Cléber (in memoriam). Sei o quanto ficaria feliz em comemorar comigo e com nossa família.

Diante de um momento tão delicado da vida, em meio ao caos de uma pandemia, Deus me concede a graça de estar viva e com saúde. Ter a oportunidade de realizar seja qual for a atividade, é um motivo de completo louvor. Recebo a graça da presença de Deus na minha vida, Ele sempre está comigo e me ajudou a concluir o mestrado.

Em cada conquista minha, sinto o coração da minha mãe, minha luz, Maria da Guia, se encher de alegria. Agradeço a ela por torcer tanto por mim e à minha irmã, Merlia, minha fortaleza, exemplo de mulher para mim, que gerou nossa Camila, nosso grande amor. Minha eterna gratidão, às mulheres de minha vida. Ao meu cunhado Caio, minha gratidão por tanto auxílio na vida.

Meu esposo, Glauber, viu o resultado da seleção de mestrado antes mesmo de mim e nunca vou esquecer o quão emocionado e feliz ele ficou, por me ver conquistando e alcançando um objetivo tão almejado. O verdadeiro sentimento se demonstra em ver o outro feliz, em ser preenchido de felicidade e gratidão a Deus pela conquista do outro. Minha gratidão a ele por ser, verdadeiramente, um companheiro de vida.

Minha gratidão ao Professor Rennan pela orientação do trabalho e por todas as vezes que me estimulou a estudar mais e subir mais degraus na vida acadêmica. Agradeço a professora Thaisa por me ajudar e as professoras Ana Paula e Julice que me acompanharam nas defesas e muito contribuíram, sempre compreensivas.

Aos meus amigos, minha gratidão. Eles são, definitivamente, o tesouro citado na Bíblia. Em especial, Pedro e Suelma, que são um refúgio e uma certeza constante de felicidade, seja qual for a tempestade que estejamos enfrentando. Minha gratidão a Thaise e Laryssa que sempre torcem por mim e me acompanham em cada etapa da vida.

Agradeço a Edmar, aluno do projeto PIBIC por todo auxílio e por estar sempre disposto a ajudar. Aos meus companheiros da turma pioneira do mestrado de Engenharia de Alimentos, obrigada. Agradeço aos professores e pessoal técnico do Laboratório de Engenharia de Alimentos (Campus Campina Grande e Campus Cuité) e do Laboratório de Engenharia Civil da UFCG. Agradeço a CAPES, pelo incentivo à pesquisa.

Obrigada, obrigada e obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma para obtenção da massa alimentícia	32
Figura 2 - Diagrama de Pareto para a firmeza	41
Figura 3 - Superfície de resposta para a firmeza	42
Figura 4 - Diagrama de Pareto para a mastigabilidade	43
Figura 5 - Superfície de resposta para a mastigabilidade	44
Figura 6 - Diagrama de Pareto para a coesividade	45
Figura 7 - Superfície de resposta para a coesividade	45
Figura 8 – Comportamento reológico da Taxa de cisalhamento (1/s), Tensão de cisalhamento (Pa) e Viscosidade (Pa.s) das massas alimentícias	46
Figura 9 – Módulo de Armazenamento (G'), Módulo de Perda (G'') e Tan (δ) em função da Temperatura e Frequência angular	48
Figura 8 - Diagrama de Pareto para a*	53
Figura 9 - Superfície de resposta para a*	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação base para a produção de massa alimentícia	28
Tabela 2 - Planejamento fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais para o desenvolvimento das massas	29
Tabela 3 - Respostas das propriedades de cozimento de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão	34
Tabela 4 - Respostas dos parâmetros do perfil de textura de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão	39
Tabela 5 - Respostas dos parâmetros L^* , a^* e b^* de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão	51
Tabela 6 - Resultados da aplicação da ANOVA (Análise de variância) para o modelo linear diante do parâmetro a^* das massas alimentícias gluten free funcionais	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Massa alimentícia	14
3.2 Produtos glúten-free e doença celíaca	15
3.3 Massa alimentícia extrusada glúten-free.....	17
3.4 Arroz vermelho	20
3.5 Quinoa.....	21
3.6 Transglutaminase	23
3.7 Transglutaminase na indústria de alimentos	24
3.8 Extrusão	25
3.9 Extrusão na indústria de alimentos	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Materiais	28
4.2 Planejamento experimental para obtenção das massas alimentícias.....	29
4.3 Moagem e acondicionamento	30
4.4 Produção da massa alimentícia glúten-free funcional	30
4.5 Descrição das etapas do processamento das massas.....	30
4.5.1 Mistura de ingredientes e extrusão	30
4.5.2 Cozimento.....	30
4.5.3 Armazenamento.....	31
4.6 Determinação da qualidade de cozimento do macarrão	31
4.6.1 Tempo ótimo de cozimento	31
4.6.2 Perda de massa em cocção.....	31
4.6.3 Aumento de volume ou índice de inchaço.....	31
4.6.4 Umidade	32
4.7 Análise do perfil de textura.....	32
4.8 Análise de reologia dinâmica.....	32
4.9 Cor	32
4.10 Análise de compostos bioativos.....	32
4.10.1 Obtenção do extrato.....	32

4.10.2	Determinação dos compostos fenólicos totais.....	33
4.11	Análise dos resultados	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Determinação da qualidade de cozimento do macarrão	34
5.1.1	Tempo ótimo de cozimento	34
5.1.2	Aumento de volume	35
5.1.3	Perda com cozimento.....	36
5.1.4	Umidade	36
5.2	Análise do perfil de textura.....	38
5.3	Análise de reologia dinâmica.....	44
5.4	Cor	50
5.5	Análise de compostos bioativos.....	52
5.5.1	Determinação dos compostos fenólicos totais.....	52
6.	CONCLUSÕES.....	54
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do efeito da concentração de transglutaminase microbiana e do tempo de extrusão nas propriedades tecnológicas de massas glúten-free funcionais, produzidas com farinhas integrais de arroz vermelho e quinoa branca. Foram avaliadas as propriedades texturais e reológicas das massas e determinadas, as propriedades físicas, tecnológicas e funcionais, antes e após o cozimento. As farinhas de arroz e quinoa foram obtidas por moagem em moinho de discos. As massas foram produzidas tendo como base farinha de arroz vermelho integral, 10% de farinha integral de quinoa branca, 10% de polvilho doce, 3% de psyllium, 30% de água e concentrações de enzima transglutaminase variando em 0,5%, 1,0 % e 1,5%. Foram utilizados três tempos de extrusão: 5,10 e 15 minutos, de acordo com um delineamento fatorial de 2^2 com 3 pontos centrais para ser testados efeitos lineares. As amostras de massa foram analisadas, quando a qualidade de cozimento, perfil de textura, propriedades reológicas, cor e compostos bioativos, sendo quantificados os níveis de compostos fenólicos. Um maior tempo de extrusão e menor teor de MTgase proporcionaram uma maior solubilização do amido e enfraquecimento da rede proteica da massa, resultando em maior perda de cozimento e menor teor de umidade. A firmeza das massas foi afetada pelo maior tempo de extrusão, uma vez que o alto estresse de cisalhamento a temperatura favorecem a formação de uma rede amilácea fortalecida. O comportamento das curvas do estudo da reologia indicou que as massas apresentam comportamento típico de materiais pseudoplásticos, com característica predominantemente mais elásticas do que viscosas e a estrutura do produto se assemelha com um gel. A coloração avermelhada (+a*) foi percebida nas amostras com menor concentração de MTgase, devido a predominância do pigmento avermelhado da farinha de arroz vermelho. A interação média entre MTgase e tempo de extrusão, referente as amostras do ponto central do estudo, resultou em maior rompimento de ligações e maior acessibilidade fenólica nas amostras. O tempo de extrusão e a concentração da MTgase exercem influência nas propriedades de cozimento, físicas, reológicas e funcionais das massas.

Palavras-chave: extrusão de massas; transglutaminase microbiana; perfil de textura; reologia de massa.

ABSTRACT

This work aims to study the effect of microbial transglutaminase concentration and extrusion time on the technological properties of functional gluten-free doughs, produced with red rice and white quinoa wholemeal flours. The textural and rheological properties of the doughs were evaluated and the physical, technological and functional properties, before and after cooking, were determined. Rice and quinoa flours were obtained by grinding in a disk mill. The pastas were produced based on wholegrain red rice flour, 10% white quinoa wholemeal flour, 10% sweet powder, 3% psyllium, 30% water and transglutaminase enzyme concentrations varying by 0.5%, 1.0% and 1.5%. Three extrusion times were used: 5, 10 and 15 minutes, according to a factorial design of 2² with 3 central points to test linear effects. The dough samples were analyzed for cooking quality, texture profile, rheological properties, color and bioactive compounds, and the levels of phenolic compounds were quantified. A longer extrusion time and lower MTgase content provided greater starch solubilization and a weakening of the dough's protein network, resulting in greater cooking loss and lower moisture content. The firmness of the doughs was affected by the longer extrusion time, since the high shear stress and temperature favor the formation of a strengthened starch network. The behavior of the curves in the rheology study indicates that the masses present a typical behavior of pseudoplastic materials, with a characteristic that is predominantly more elastic than viscous and the product structure resembles a gel. The reddish color (+a*) was noticed in samples with lower concentration of MTgase, due to the predominance of the reddish pigment in the red rice flour. The mean interaction between MTgase and extrusion time, referring to the samples from the central point of the study, resulted in greater breaking of bonds and greater phenolic accessibility in the samples. The extrusion time and the concentration of MTgase influence the cooking, physical, rheological and functional properties of the doughs.

Keywords: mass extrusion; microbial transglutaminase; texture profile; mass rheology.

1. INTRODUÇÃO

A massa é um alimento amiláceo básico de conveniência popular amplamente consumido em todo o mundo e recebe aceitação sensorial do consumidor em todas as faixas etárias, devido à sua acessibilidade, versatilidade, longa vida útil e valor sensorial (Peressini et al, 2019; Chusak et al., 2019). As massas frescas, do ponto de vista nutricional, são ricas em amido e possuem baixos teores de gordura e calorias, podendo ser enriquecidas com vitaminas e minerais (Guerreiro, 2006) através da adição de matérias-primas altamente nutritivas, tornando-se transportadoras de substâncias promotoras de saúde com funções fisiológicas específicas (Bouasla et al., 2017; Nocente, Taddei, Galassi, Gazza, 2019).

A ingestão de glúten pode causar problemas de saúde como doença celíaca, alergia ao trigo e sensibilidade ao glúten não celíaca, em um amplo espectro de populações (Kahraman et al., 2018; Resende et al., 2017). Para os indivíduos celíacos ou que possuem sensibilidade não celíaca ao glúten, é necessária a adoção de dietas que excluam permanentemente diversos produtos derivados de trigo, dentre estes, as massas alimentícias (Dieli-Crimi, et al., 2015). A demanda e expansão do mercado de produtos sem glúten impulsionam a indústria de alimentos no desenvolvimento de novas formulações de alimentos glúten-free (Arufe; Sineiro; Moreira, 2019; Paciulli et al., 2018).

São encontrados nos grãos de arroz vermelho, componentes nutricionais e biofuncionais como, fibras, proteínas, elevados teores de compostos bioativos e um elevado teor de compostos fenólicos, associada a alta capacidade antioxidante, além de possuir características sensoriais diferenciadas do arroz branco, tornando-o uma boa fonte de alimentos nutricionais à base de grãos integrais (Meza, 2015; Ding et al., 2018). A utilização dos grãos de cultivares pigmentados de arroz, em diferentes preparações alimentícias, contribui para o aumento dos nutrientes consumidos na dieta alimentar de pessoas celíacas, com sensibilidade ao glúten ou alergia ao trigo (Lima, 2016).

Os grãos de quinoa desempenham um papel importante no enriquecimento na dieta humana pelos benefícios nutricionais únicos da cultura (Bhargava e Srivastava, 2013). É um ingrediente alimentar que atende às necessidades de proteínas e carboidratos

das pessoas com patologias relacionadas ao glúten, porque naturalmente, possui baixas prolamina e glutamina (Sezgin; Sanlier, 2019; Polari, 2017). Essas sementes também apresentam benefícios de conservação, pois seu baixo teor de umidade, cria um ambiente hostil para os microrganismos, prevenindo reações químicas e enzimáticas que potencializam a deterioração do produto (Multari et al., 2018).

A extrusão pode ser definida como um processo termomecânico em que os materiais são fisicamente e quimicamente transformados através de um stress mecânico e térmico gerado por parafusos rotatórios e tambores aquecidos (Fellows, 2009), promovidos em um único equipamento, o extrusor. A tecnologia de extrusão, como um processo complexo, foi projetada para criar muitos produtos alimentares (Kowalski et al., 2018), incluindo massas alimentícias. Além disso, os produtos extrusados são também mais atraentes para os consumidores, uma vez que existe uma ampla escolha de ingredientes, formas e texturas dos alimentos que podem ser utilizadas e produzidas (Nikmaram et al., 2017).

Uma alternativa para produzir e melhorar os aspectos tecnológicos de produtos derivados de arroz é o uso de transglutaminase microbiana, uma enzima segura, de baixo custo e de ampla aplicação na indústria de alimentos (Aaron & Torsten, 2019; Amirdivani et al., 2018). Usada como uma cola industrial importante, conecta proteínas para melhorar as propriedades de qualidade dos produtos, como gelificação, solubilidade, formação de espuma, viscosidade, retenção de água, estabilidade da emulsão, parâmetros de textura, sabor, aparência e prazo de validade, além de reduzir a alergenicidade dos produtos alimentícios de origem animal e vegetal (Matthias et al., 2016; Joye et al., 2009; Leszczynska et al., 2006) sendo utilizada cada vez mais em produtos específicos para portadores de doença celíaca (Gentile et al., 2002).

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do efeito da concentração de transglutaminase microbiana e do tempo de extrusão nas propriedades tecnológicas de massas glúten-free funcionais, produzidas com farinhas integrais de arroz vermelho e quinoa branca. Foram avaliadas as propriedades texturais e reológicas das massas e foram obtidas, as propriedades físicas, tecnológicas e funcionais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o efeito da concentração de transglutaminase microbiana e do tempo de extrusão nas propriedades tecnológicas de massas glúten-free funcionais, produzidas com farinhas integrais de arroz vermelho e quinoa branca.

2.2 Objetivos específicos

Produzir as formulações de massa alimentícia com diferentes teores de transglutaminase microbiana;

Realizar a extrusão das massas nos diferentes tempos determinados;

Estudar as propriedades reológicas das massas obtidas;

Avaliar as propriedades de cozimento das massas;

Realizar a caracterização física das massas dos parâmetros de firmeza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade;

Analisar as propriedades funcionais das massas: teor de compostos fenólicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Massa alimentícia

Massa alimentícia ou macarrão é o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, obtido pela mistura mecânica da farinha ou semolina de trigo com água fria ou quente, podendo conter outros ingredientes, como ovos, corantes e conservantes, submetidos à adequados processamentos tecnológicos, antes ou depois do acondicionamento em embalagens (BRASIL, 2000; Guerreiro, 2006). O trigo duro é considerado a matéria-prima mais adequada para a produção de massas alimentícias de alta qualidade, devido às suas propriedades culinárias, cor e aroma (Giménez et al., 2013; Littardi et al., 2020).

Existem duas versões sobre a chegada do macarrão à Europa. Uma indica que o macarrão teria aportado em Veneza em 1295 pelas mãos de Marco Pólo e outra versão relata que na Itália, em 1279, foi registrada no inventário de Ponzio Bastione uma “cesta de massas”. A palavra utilizada no inventário era *macaronis*, que seria derivada do verbo *maccari*, de um antigo dialeto da Sicília. A versão mais aceita pelos historiadores faz referência aos árabes, que seriam os pais do macarrão. Os árabes chamavam o macarrão de *itrjia*, que era uma massa seca, para melhor conservação nas longas travessias pelo deserto. Os árabes teriam levado o macarrão à Sicília no século IX, quando conquistaram a maior ilha italiana (Café et al., 2003).

No Brasil, a introdução do macarrão nos hábitos alimentares coube aos imigrantes italianos, principalmente na Região Sul. O crescente interesse fez surgir pequenas fábricas de macarrão no país, tendo sempre como mão de obra, a família italiana. Sendo uma produção rudimentar, de baixo volume e caseira, até começarem a surgir as primeiras indústrias de fabricação, possuindo atualmente modernas máquinas de fabricação do macarrão (Guerreiro, 2006).

De acordo com a International Pasta Organisation (IPO) a estimativa da produção de massas no mundo apresenta Estados Unidos, Itália, Brasil, Turquia e Rússia como os maiores produtores. Como potencial consumidora, a Itália lidera o ranking da estimativa per capita de consumo, com 28,0 kg/hab. Os dados estatísticos de 2019 divulgados pela ABIMAPI - Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e

Pães & Bolos Industrializados mostram que a distribuição per capita do consumo de massas alimentícias no Brasil é de 4,808 kg/hab.

A massa é um alimento amiláceo básico de conveniência popular amplamente consumido em todo o mundo e recebe aceitação sensorial do consumidor em todas as faixas etárias, devido à sua conveniência em termos de acessibilidade, versatilidade, longa vida útil e valor sensorial (Nocente, Taddei, Galassi, Gazza, 2019; Peressini et al, 2019; Chusak et al., 2019). Produzida pela mistura de ingredientes com alto teor de amido, a massa não é considerada um produto nutricionalmente balanceado, pois apresenta baixas quantidades de constituintes fitoquímicos, baixo valor biológico protéico e de fibras (Gull, Prasad, & Kumar, 2016; Littardi et al, 2020). A sua formulação simples, torna a massa um bom produto para adição de matérias primas altamente nutritivas e uma transportadora para substâncias promotoras de saúde com funções fisiológicas específicas (Bouasla et al., 2017; Nocente, Taddei, Galassi, Gazza, 2019).

A estrutura da massa tradicional depende de interações físicas e químicas que são estabelecidas entre o amido e as proteínas durante a preparação da massa. A reologia da massa é diretamente afetada pela presença de proteínas do glúten, influenciando também nas propriedades de cozimento (Sissons, Soh & Turner, 2007; Sicignano et al., 2015; Martin et al., 2019). Uma massa de alta qualidade deve apresentar baixa perda de cozimento, baixa viscosidade e estrutura firme (Phongthai et al., 2017).

3.2 Produtos glúten-free e doença celíaca

O glúten é um conjunto de proteínas de reserva usadas por algumas plantas para nutrir suas sementes durante a germinação. É encontrado no endosperma das sementes de cereais como trigo, centeio e cevada (Resende et al., 2017). É uma substância elástica, aderente, insolúvel em água e responsável pela formação da estrutura das massas dos alimentos. O complexo viscoelástico de proteína é formado após o processo de amassamento dos cereais, constituído por frações de gliadina e de glutenina que, na farinha de trigo, totalizam 85% da fração proteica (Santos et al., 2016; Sgarbieri, 1996).

A gliadina, que constitui aproximadamente 30 a 45% do glúten purificado, é uma mistura altamente heterogênea de proteínas solúveis em etanol 70%. É formada por cadeias simples e torna-se extremamente viscosa quando hidratada e apresenta pequena ou nenhuma resistência à extensão (Sgarbieri, 1996; Hosney, 1998). As gluteninas são polímeros e pertencem a um grupo heterogêneo de proteínas. Fisicamente são elásticas, e

resistentes à ruptura, devido à sua estrutura e massa molar (Sgarbieri, 1996), contribuindo para a elasticidade da massa (Raguzzoni, 2007).

A ingestão de glúten pode causar problemas de saúde como doença celíaca (DC), alergia ao trigo (AT) e sensibilidade ao glúten não celíaca (SGNC) em um amplo espectro de populações (Kahraman et al., 2018; Resende et al., 2017). A DC afeta cerca de 1% da população mundial e é caracterizada por alterações no sistema digestivo quando são consumidos produtos com glúten e suas prolaminas, presente no trigo (gliadina), centeio (secalina) e cevada (hordeína) (Lancetti et al., 2020; Sulieman et al., 2018; O’Shea et al., 2014). Essa enteropatia sistêmica, imunomediada é desencadeada, em indivíduos geneticamente predispostos (Krupa-Kozak, 2014). É caracterizada pela presença de autoanticorpos e resulta em uma variedade de manifestações intestinais e extra-intestinais, clínicas e subclínicas, além da produção de anomalias no intestino, resultando em adsorção inadequada de nutrientes (Gutiérrez, 2018; Ludvigsson et al., 2014).

A alergia ao trigo é uma reação de hipersensibilidade à proteína do trigo - reação às gliadinas, particularmente a ω 5-gliadina (principal alérgeno dependente do trigo). É uma alergia alimentar em que o indivíduo pode ser sensibilizado pela exposição através da pele ou vias aéreas (Elli et al., 2015). A sensibilidade ao glúten não celíaca é uma entidade mal definida, caracterizada pela combinação de sintomas intestinais ou extra-intestinais que ocorrem tipicamente após a ingestão do glúten que desaparecem com a dieta de exclusão, nas situações em que o diagnóstico de DC e AT foi excluído (Resende et al., 2017; Hill et al., 2016).

A demanda e expansão do mercado de produtos sem glúten impulsionam a indústria de alimentos no desenvolvimento de novas formulações levando em consideração o aumento de pacientes com doença celíaca e os casos diagnosticados de alergia ao trigo e sensibilidade ao glúten, além das pessoas que optaram por dietas saudáveis como estilo de vida (Arufe; Sineiro; Moreira, 2019; Paciulli et al., 2018; Sulieman et al., 2018).

Os consumidores procuram alimentos isentos de glúten que sejam convenientes, com bom gosto, preço barato e nutritivos (Paciulli et al., 2018). O conteúdo de energia e nutrientes destes produtos exige atenção, pois a substituição da farinha de trigo por alternativas sem glúten pode resultar em ingestão inadequada de nutrientes (Rico et al., 2019).

As dietas dos pacientes celíacos devem apresentar-se totalmente isentas de glúten, portanto, existe uma preocupação quanto a adequada ingestão de macro e micronutrientes importantes. A falta de conteúdos suficientes de folatos e ferro (micronutrientes essenciais) (Moroni, Dal Bello & Arendt, 2009) e um consumo excessivo de proteínas e gorduras, juntamente com uma redução na ingestão de carboidratos complexos, fibras alimentares, vitaminas e minerais (Gutiérrez, 2018), são consequências nutricionais importantes que estão relacionadas à dieta GF (glúten-free).

Matrizes alimentares como produtos de panificação, lanches e massas são frequentemente preparadas com grãos integrais, em sua forma natural ou processados como farinha, adicionados ou não de ingredientes ricos em fibras alimentares (Patiño-Rodríguez et al., 2019).

Porém, a substituição do glúten apresenta um grande desafio tecnológico (Lazaridou, et al., 2007), porque diferentemente da farinha de trigo, as farinhas que não contêm glúten são incapazes de formar uma massa coesa e viscoelástica (Seetapan et al., 2019) formando uma rede mal estruturada em relação as características físicas e reológicas do produto (Jeong; Kim; Lee, 2016).

3.3 Massa alimentícia extrusada glúten-free

O processo de fabricação das massas alimentícias é relativamente simples, inicia-se com a mistura e amassamento dos ingredientes, tais como farinha de trigo e água, com adição ou não de outras substâncias permitidas. Posteriormente, realiza-se a laminação, corte, secagem e armazenamento. Outra forma de processamento é por extrusão, em que as etapas de mistura, amassamento e moldagem ocorrem num mesmo equipamento denominado de extrusor. Logo após, seguem para a secagem e acondicionamento (Fogagnoli & Seravalli, 2014).

O método de cozimento por extrusão é uma tecnologia alternativa adequada para a fabricação de produtos do tipo massa glúten-free, pois envolve a unificação das etapas de pré-gelatinização e formação de rede de proteínas (Merayo et al., 2011; Marti et al., 2010).

De modo geral, os trabalhos reportam a elaboração de massas com substituições parciais de farinha de trigo por outras farinhas buscando melhorias nutricionais sem acometer as características sensoriais dos produtos. Para aqueles que estão relacionados

à substituição total da farinha de trigo por outras na elaboração de massas alimentícias, eles objetivavam produzi-las para os portadores de doença celíaca melhorando a qualidade de vida deles (Vieira, et al, 2015).

Segundo Marti e Pagani (2013), o glúten é importante na promoção da estrutura, elasticidade e palatabilidade da massa. O macarrão elaborado sem o glúten, geralmente, apresenta qualidade inferior à do macarrão elaborado com semolina. O processo de sovatação da massa na panificação resulta no aprisionamento do gás carbônico através das redes formadas pelas proteínas gliadinas e gluteninas, as quais interagem com as moléculas de água promovendo a funcionalidade, elasticidade e resistência das massas.

A escolha de ingredientes que melhorem as características tecnológicas de massas se torna bastante complexa, visto que aditivos químicos são considerados não saudáveis pelo consumidor. Assim sendo, a indústria tende a acrescentar proteínas extraídas de fontes naturais, buscando melhorar as características nutricionais e de textura do alimento gluten-free (Marti et al., 2013).

De acordo com Silva et al., (2016) na massa sem glúten, a rede viscoelástica do glúten está ausente, e o aquecimento intensivo aplicado durante o processo de extrusão exige modificações importantes na organização do amido, levando à criação de uma nova estrutura formada por amido retrogradado ou parcialmente gelatinizado (Lucisano et al., 2012).

Assim, o desenvolvimento de um produto farináceo glúten-free não é um processo simples, pois é necessário criar uma matriz que seja uniforme e suficientemente coesa para suportar o processo de cozimento e conferir atributos de qualidade ao produto final (Gimenez et al., 2013). Portanto, a incorporação de ingredientes alternativos (ao trigo) para a produção de massas alimentícias requer ajustes de processamento e aditivos (Schoenlechner et al., 2010).

No desenvolvimento de produtos sem glúten, a substituição das funcionalidades desta proteína representa, portanto, a maior dificuldade quanto às questões tecnológicas. Tradicionalmente em substituição à farinha de trigo utiliza-se a farinha de arroz. No entanto, pela ausência do glúten, a inserção de aditivos alimentares como proteínas e hidrocoloides são essenciais para dar coesividade e estabilidade à massa (Phongthai et al., 2017).

Diante da complexidade da avaliação, as propriedades de textura vêm sendo estudadas com o auxílio de equipamentos, em conjunto com análises sensoriais, de forma a se obter um melhor resultado. A percepção humana acerca dessas características é de extrema relevância, já que é considerada um ponto crítico no desenvolvimento e na aceitação de alimentos (Chambers et al., 2017).

Marti et al. (2010) demonstraram que através da utilização de farinha de arroz parcialmente cozido (vapor) e de um processo de extrusão a altas temperaturas (100°C) que promove a gelatinização do amido é possível produzir massa de arroz sem recorrer à utilização de aditivos, como acontece com o método referido anteriormente. Durante o processo de aquecimento ocorre a absorção de água e inchamento dos grânulos de amido, originando a desestabilização da estrutura cristalina do interior dos grânulos resultando na perda de birrefringência. Este processo designa-se por gelatinização. Quando a temperatura de gelatinização é atingida, os grânulos aumentam de volume, resultando na ruptura da estrutura das zonas semicristalinas. Em seguida ocorre a fusão dos cristais, perda de birrefringência e dá-se a solubilização do amido o que contribui para o aumento da viscosidade (Ratnayake & Jackson, 2007).

As características como a variedade e a origem do arroz afetam os atributos estruturais da massa, pois existe correlação com as propriedades de gelatinização do amido, como por exemplo a proporção de amilose e amilopectina, tipo de cristalinidade, tamanho e estrutura do grânulo de amido (Wani et al., 2012).

Geralmente, a hidratação da massa alimentícia é realizada em torno de 33 % de água na formulação, mas esse valor varia de acordo com a granulometria da farinha, com os ingredientes adicionados à massa e com a qualidade da farinha ou sêmola utilizada. Quando a água é utilizada em quantidades insuficientes, a massa alimentícia tem suas características alteradas, pois não existe a formação de uma massa coesa, o que atrapalha a formação da rede de glúten e as etapas de extrusão/laminação (KILL; TURNBULL, 2001).

Xue et al., (2020) estudaram a deterioração do macarrão fresco de arroz integral nas perspectivas macro e micro. O estudo indicou que a lipase do arroz integral se tornou inativada, o que pode ser devido à alta temperatura, pressão e força de cisalhamento do processo de extrusão e evaporação repetida (Dalbhagat, Mahato, & Mishra, 2019). A estrutura cristalina original do amido de arroz foi rompida e um complexo amido-lipídio

foi formado durante o processo de extrusão (Liu, Chi, Huang, Li, & Chen, 2019; Mir et al., 2016) devido às duplas hélices da amilose que são desamarradas durante o processo de extrusão (Yang et al., 2019). Além disso, os picos característicos, na DRX, a 17 ° corresponderam ao amido de arroz cristalino nativo e retrogradado após a extrusão. Os resultados do estudo também sugerem que o sabor “graxo” inicial do FBRN foi derivado dos aldeídos gerados pela alta temperatura e pressão do processo de extrusão.

3.4 Arroz vermelho

O arroz (*Oryza sativa L.*) contribuiu para a construção e nutrição de civilizações, moldando sociedades e, acima de tudo, alimentando um mundo em crescimento (Woolston, 2014). É um alimento básico para a maioria da população e uma das culturas mais importantes do mundo. Embora o arroz branco (não pigmentado), seja a variedade mais popular, existem grãos de arroz pigmentados (*Oryza sativa L.*), como marrom, vermelho (marrom avermelhado) e preto (preto arroxeadado), dependendo do conteúdo de antocianina no episperma (Finocchiaro, 2007; Shao et al., 2018).

As variedades preta e vermelha, que possuem uma grande quantidade de compostos bioativos, como antocianina e antocianidina, na camada externa da cariopse, são ricas em compostos fenólicos em sua estrutura (Paiva et al., 2016; Shao et al., 2018; Das e Bhattacharya, 2019). Os compostos fenólicos podem levar a um aumento na vida útil dos alimentos perecíveis, retardando o processo oxidativo durante o armazenamento dos alimentos (Vargas et al., 2017).

Encontrados em grande quantidade no arroz vermelho, entre os vários benefícios que os compostos fenólicos podem exercer na saúde dos consumidores, a atividade antioxidante é uma propriedade importante, exercendo papel potencial nas formulações de alimentos (Samyori, Das e Deka, 2017). Inclui-se nos benefícios, propriedades anticarcinogênicas, antialérgicas, anti-inflamatórias, anti-aterosclerose (Paiva et al., 2016; Deng et al., 2013) anti-hipertensivas, anti-hiperlipidêmicas, antifadiga, neuroprotetoras, antidiabéticas, anti-inflamatórias, antibioses, antitumorais (Bule, Khan e Niaz, 2019), anti-influenza, antiobesidade e de ação contra várias doenças crônicas e degenerativas do ser humano (Samyori, Das e Deka, 2017).

São encontrados nos grãos de arroz vermelho, componentes nutricionais e biofuncionais como ácido γ -aminobutírico, γ -orizanol, fibras alimentares, vitaminas e

minerais (Finocchiaro, 2007; Gunaratne et al., 2013; Callaway, 2014) tornando-o uma boa fonte de alimentos nutricionais à base de grãos integrais (Ding et al., 2018). A utilização dos grãos de cultivares pigmentadas de arroz, em diferentes preparações alimentícias, contribui para o aumento dos nutrientes consumidos na dieta alimentar de pessoas celíacas, com sensibilidade ao glúten ou alergia ao trigo, podendo assim, suprir uma demanda por produtos voltados ao atendimento desses nichos específicos de mercado, o qual está em grande ascensão no segmento agroindustrial (Lima, 2016).

No Brasil, país onde a cultura do arroz vermelho exerce uma grande expressão, os cultivares de arroz vermelho apresentam coloração que vão do vermelho claro ao escuro e são divididos em três tipos: arroz-silvestre, arroz espontâneo ou daninho e arroz cultivado, dependendo do grau de domesticação. A produção de arroz vermelho no Brasil concentra-se na região semiárida do Nordeste, sobressaindo os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. A Embrapa deu início aos estudos e a utilização da variabilidade genética do arroz vermelho no Brasil, a partir do estabelecimento de uma coleção de variedades desse tipo especial de arroz, permanecendo em conservação nos bancos ativos de germoplasma do Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (CPAMN) - Piauí (PI) e do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP) – Santo Antonio de Goiás (GO) (Pereira e Morais, 2014; Pereira et al., 2015).

3.5 Quinoa

A quinoa é uma espécie granífera, que pertence à família *Chenopodiaceae*, domesticada pelos povos habitantes da Cordilheira dos Andes, há milhares de anos. O gênero *Chenopodium* apresenta-se distribuído pelo mundo com várias espécies, dessas, destacam-se *C. quinoa*, *C. palidicaule* (de origem andina) e *C. berlandieri* ssp. *nutaliae* (de origem mexicana), geralmente chamadas de pseudocereais da América, pois não é um membro da família Gramineae, mas produz sementes que podem ser moídas em farinha e usadas como uma colheita de cereais (Repo-Carrasco-Valencia e Serna, 2011).

A adaptabilidade da quinoa reflete a diversidade de ambientes que ocorrem na região de origem. Em sua adaptação ao cultivo no Brasil, tem-se objetivado tolerância ao estresse (seca, acidez do solo, baixas temperaturas), elevados rendimentos de grãos e de biomassa, além de outras características agronômicas (Spehar, C. R.; Santos, R. L. B., 2002; 2003; Spehar, C. R., 2006).

Os grãos de quinoa desempenham um papel importante no combate à desnutrição nos países em desenvolvimento (Pereira et al., 2020) e no enriquecimento na dieta humana pelos benefícios nutricionais únicos da cultura (Bhargava e Srivastava, 2013), atendendo aproximadamente a metade da necessidade individual de ingestão de energia e proteínas. A sua superioridade em relação a outros grãos como trigo, milho, arroz, cevada, aveia, centeio e sorgo, resulta de seu conteúdo mais rico em proteínas, lipídios e cinzas e do menor conteúdo de carboidratos (NaVruz-Varli e Sanlier, 2016).

Além das características bioativas, essas sementes também apresentam benefícios de conservação, pois seu baixo teor de umidade prolonga sua durabilidade, criando um ambiente hostil para os microrganismos e prevenindo reações químicas e enzimáticas que potencializam a deterioração do produto (Multari, Marsol-Vall, Keskitalo, Yang, & Suomela, 2018).

O revestimento externo de sementes de quinoa (pericarpo) é rico em saponinas, que têm atividades biológicas importantes para a saúde humana, incluindo atividades antifúngicas, antivirais, anticâncer, hipoglicêmicas, diuréticas e anti-inflamatórias. Porém, as saponinas atribuem aos grãos o sabor amargo, identificado como um fator antinutritivo (FNA) devido a uma correlação com baixa digestibilidade, além de reduzir a palatabilidade. Essa característica pode ser reduzida através do processamento das sementes (lavagem e/ou descasque abrasivo) ou através da produção de farinhas de quinoa (Montemurro; Pontonio; Rizzello, 2019; Jan; Panesar; Singh, 2018; Mad; Sterk; Mittelbach; Rechberger, 2006).

A variabilidade genética da quinoa é grande, cerca de 250 espécies da planta (Ceyhun Sezgin; Sanlier, 2019) estão distribuídas por todo o mundo, possibilitando selecionar, adaptar e cultivar cultivares para uma ampla gama de condições ambientais exigentes (García et al., 2011; Repo-Carrasco-Valência; Serna, 2011).

Liu et al., (2020) estudaram as propriedades físico-químicas e funcionais da fibra alimentar solúvel de farelos de quinoa vermelha (Gongzha 8), branca (Qingbaili 1) e preta (Qingheili 1); Wang, Zhao e Yuan (2020) avaliaram a composição e estrutura secundária de proteínas isoladas de variedades chinesas de quinoa branca, preta e cinza. Väkeväinen et al., (2019) utilizaram as variedades castanho escuro Pasankalla (PK) e branco rosada de Huancayo (RH) no desenvolvimento de produtos veganos fermentados; Valdez-Arana et al., (2019) estudaram as propriedades físico-químicas e funcionais do amido isolado e

sua correlação com a farinha das quinoas peruanas branca de Hualhuas (BH), rosada de Huancayo (RHY) e Pasankalla (PK).

A quinoa é um ingrediente alimentar que atende às necessidades de proteínas e carboidratos das pessoas com doença celíaca, dos indivíduos alérgicos ao trigo e das pessoas vegetarianas e das que adotaram a dieta GF (gluten-free) porque, naturalmente, não possui glúten (baixa prolamina e glutamina) (Ceyhun Sezgin; Sanlier, 2019; Jan; Panesar; Singh, 2018; Polari, 2017).

3.6 Transglutaminase

A transglutaminase (peptídeo R-glutaminil: amina γ -glutamiltransferase; EC 2. 3. 2. 13) é uma das enzimas capazes de introduzir reticulações covalentes entre proteínas, catalisa principalmente uma reação de transferência de acila entre o grupo γ -carboxiamida do resíduo glutaminil ligado ao peptídeo e uma variedade de aminas primárias (Kumazawa et al., 2001; Nonaka et al., 1989).

O grupo tiol de uma cisteína essencial para a atividade catalítica ataca a cadeia lateral de um resíduo de glutamina acessível da proteína do substrato para formar o complexo acil-enzima e amônia. Na etapa seguinte, uma amina primária desloca a enzima criando uma glutamina carboxamida modificada. Se a lisina ligada à proteína estiver envolvida neste processo, a reticulação intramolecular ou intermolecular ocorre por meio de ligações isopeptídicas N ϵ (γ glutamil) lisina. Assim, a reação da transglutaminase leva à formação irreversível de agregados de proteínas (Pasternack et al., 1998).

A produção e a comercialização da TG sabe basearam-se em uma triagem realizada em microorganismos, para que fossem descobertos os que produziam enzimas do tipo TGase. O microorganismo que possuía estas características foi classificado taxonomicamente como uma variante do *Streptoverticillium mobaraense* (Kumazawa et al., 2001). Algumas cepas de *Streptoverticillium*, que possuem a capacidade de produzir a MTGase são *S. griseocarneum*, *S. cinnamoneum* subsp. *Cinnamoneum* e *S. mobaraense* (Macedo; Sato, 2005).

Atualmente, o TG microbiano de p. *Streptoverticillium* sp. (ou *Streptoverticillium* S-8112) é usado como uma cola industrial importante, conectando proteínas para melhorar as propriedades de qualidade dos produtos, como gelificação, solubilidade, formação de espuma, viscosidade, retenção de água, estabilidade da emulsão, parâmetros

de textura, sabor, aparência e prazo de validade, além de reduzir a alergenicidade dos produtos alimentícios de origem animal e vegetal (Matthias et al., 2016; Joye et al., 2009; Leszczynska et al., 2006) sendo utilizada cada vez mais em produtos específicos para portadores de doença celíaca (Gentile et al., 2002).

A principal vantagem da transglutaminase de origem microbiana sobre todas as outras fontes da enzima é a de que há produção de uma enzima cálcio independente, de peso molecular relativamente baixo e de custo de produção baixo quando comparado aos outros processos de obtenção de transglutaminases (Jaekel, 2013). As ligações formadas pela transglutaminase são absorvidas normalmente pelo organismo humano, sem nenhum prejuízo ao valor nutricional dos alimentos ou alteração em seu sabor ou aroma originais. No Brasil, a enzima transglutaminase está disponível na linha ACTIVA®, preparações produzidas pela Ajinomoto que usam a enzima como ingrediente chave para oferecer vários benefícios à indústria de alimentos (Food & Ingredients, 2013).

3.7 Transglutaminase na indústria de alimentos

Pesquisadores e a indústria alimentícia intensificaram sua busca por métodos e produtos seguros que possam alterar as propriedades tecnológicas regulares e funcionais das macromoléculas alimentares, uma vez que a funcionalidade afeta a qualidade sensorial e nutricional dos produtos (Shleikin; Danilov; Ternovskoy, 2011; Gaspar; Góes-Favoni, 2015).

Sabendo das propriedades de construção das proteínas no alimento no desenvolvimento de novas propriedades funcionais, a enzima microbiana transglutaminase (MTGase; proteína-glutamina gama-glutamyltransferase, EC 2.3.2.13), identificada como segura, de alta disponibilidade e baixo custo (Amirdivani et al., 2018) é uma alternativa eficiente e promissora, porque catalisa reações de transferência de acila, desamidação e reticulação (polimerização) entre proteínas intra ou inter-cadeias de glutamina resíduos peptídicos (dador de acilo) e lisina (aceitador de acilo) promovendo a obtenção de produtos não tóxicos (Özrenk, 2006; Gaspar; Góes-Favoni, 2015).

A MTGase se mostrou capaz de gelificar soluções concentradas de proteínas como: proteínas de soja, do leite, de carne bovina, suína e de peixe. Além disso, nas proteínas, pode incorporar aminoácidos ou peptídeos, através de ligações covalentes e

modular as propriedades de solubilidade, emulsificação, gelificação e retenção de água (Gharibzahedi et al., 2018; Liang et al., 2019).

Em macarrões instantâneos e outras massas, e tem tido sucesso na preservação da textura da massa pós cozimento, independentemente da qualidade da farinha. (Ceresino et al., 2018; Bonfim et al., 2015; Macedo; Sato, 2005). A fabricação de produtos combinados é importante do ponto de vista econômico e nutricional. Ao combinar matérias-primas é possível regular a composição de aminoácidos, lipídios e minerais dos alimentos, para enriquecê-los com vitaminas, microelementos e fibras alimentares (Shleikin; Danilov; Ternovskoy, 2011).

De acordo com Miwa (2020) em relação a reatividade do MTG com proteínas alimentares, tem-se que: as proteínas do leite reagem muito bem com a caseína e o caseinato de sódio e, dependente das condições, com α -Lactalbumina e β -Lactoglobulina. Do ovo, as proteínas reagem bem com a proteína da gema do ovo e, dependendo das condições, com a da clara do ovo (ovalbumina). Gelatina, Miofibrila, Miosina reagem muito bem com as proteínas da carne, além também da boa reação com o colágeno e, dependendo das condições, com a mioglobina. Globulina 11S e Globulina 7S reagem muito bem com as proteínas da soja. Gliadina e Glutenina reagem bem as proteínas do trigo. Além disso, a MTGase vem se destacando como potencial substituto de gordura em diversos produtos e na formação de géis culinários termicamente resistentes (Calvarro et al., 2016; Collado et al., 2020).

3.8 Extrusão

A extrusão pode ser definida como um processo termomecânico em que os materiais são fisicamente e quimicamente transformados através de um stress mecânico e térmico gerado por parafusos rotatórios e tambores aquecidos (Fellows, 2009), promovidos em um único equipamento, o extrusor. O extrusor para alimentos é uma máquina que permite um processamento contínuo dependente de combinação de várias operações unitárias tais como o transporte e compressão, mistura, corte, plastificação, derretimento, cocção, desnaturação, fragmentação, texturização e modelagem (Emin, 2016; Fellows, 2006).

O processo de extrusão pode ser promovido através da utilização de um pistão, de um conjunto de rolos ou de parafuso(s) para forçar o material, normalmente através de

uma abertura estreita, a chegar à forma desejada. Em muitos processos de extrusão alimentar, o aquecimento e a cozedura das matérias-primas têm lugar simultaneamente, à medida que estas são misturadas e dão forma ao produto final (Heldman e Hartel, 1997; Lopes-da-Silva et al., 2015). Deste modo, após as respetivas matérias-primas sofrerem um aquecimento que conduz ao seu amolecimento ou até à fusão, o produto é moldado por este orifício de saída (matriz), consolidando a sua forma (Baird e Reed, 1989; Muelenaere/ 1989; Fellows, 2006).

O extrusor se comporta como trocador de calor devido às trocas envolvendo as paredes do cilindro, a rosca e o material alimentício. Desempenha também a função de reator químico de processamento de biopolímeros e de misturas de alimentos pois é capaz, de cozinhar, gelatinizar, desnaturar e esterilizar usando altas temperaturas (até 250 °C) num tempo de residência relativamente curto (1 a 2 minutos) e altas pressões (até 25 mPa) (Clark, 1978). Nessas condições, há, durante o processo, abertura das estruturas terciária e quaternária dos biopolímeros resultando na quebra e rearranjo das pontes de hidrogênio e dissulfetos permitindo a plastificação e a formação de texturas desejáveis (Olkku e Linko, 1977).

No processo de extrusão, muitas variáveis podem interferir no resultado final dos produtos extrudados. Além da diversidade e proporção dos ingredientes usados, a quantidade de água, a temperatura e a velocidade de rotação do extrusor (Moscicki e Van Zuilichem, 2011). existem dois tipos de variáveis que diretamente influenciam no processo de extrusão: independentes e dependentes. As independentes incluem: composição do ingrediente alimentar, tamanho da partícula, condições de mistura e velocidade de alimentação; desenho do extrusor (cilindro, parafuso, matriz); condições de operação do extrusor (velocidade do parafuso, temperatura do cilindro e velocidade de corte). As variáveis dependentes incluem: viscosidade do material, temperatura e pressão; tempo de residência e mistura; propriedades do produto extrusado (Yacu, 1990). Para otimizar o processo, costuma-se controlar uma ou mais variáveis durante o processamento (Sebio, 1996).

3.9 Extrusão na indústria de alimentos

As diferentes formas de combinação de operações e processos na extrusora, são função da escolha dos parâmetros de extrusão adequados à obtenção do produto final e/ou dos produtos intermédios pretendidos (Meuser e Wiedmann, 1989). Porém, pode-se

considerar que há duas modalidades de extrusão aplicadas na indústria alimentar (Fellows, 2006): extrusão a quente e extrusão a frio.

A extrusão a quente é empregue com o intuito de cozedura de materiais, geralmente amiláceos e/ou proteaginosos, processados de forma a obter uma massa plástica viscosa. Outras importantes utilizações da extrusão a quente são a gelatinização do amido, a inativação enzimática para prevenção de alterações indesejáveis, a redução da flora microbiana, a destruição de toxinas termolábeis e a destruição de substâncias menos resistentes ao calor que de outro modo, poderiam propiciar alterações organolépticas prejudiciais ao produto (Harper, 1979; Fellows, 2006) e diminuir a sua inocuidade (Lopes-da-Silva et al., 2015).

Já a extrusão a frio, com temperaturas de cerca de 50 °C no produto (Hauck, 1993), é usada para moldagem de massas alimentícias e no processamento de produtos cárneos e de gomas. Certos autores, como Fellows (2006), consideram ainda como extrusão a frio o emprego de temperaturas intermédias, da ordem de 80 °C (Hauck, 1993), como as que são usadas no processamento de massas em panificação ou de rações semi-úmidas para animais. Já no que diz respeito especificamente às extrusoras,

Heldman e Hartel (1997) consideram três tipos: as que operam a frio, e que fazem a mistura e moldagem; as que operam a baixa pressão, envolvendo a cozedura e a produção a temperaturas inferiores a 100 °C; e, as que operam a extrusão a alta pressão, envolvendo a cozedura e a produção a temperaturas superiores a 100 °C.

Os produtos alimentares obtidos por extrusão são múltiplos, podendo ser encontrados em diversas secções de espaços comerciais como mercearias/ supermercados e lojas de conveniência, e incluem, designadamente, produtos derivados de cereais, produtos de confeitaria, produtos à base de proteínas texturizadas e alimentos para animais de companhia (Lopes-da-Silva et al., 2015).

O aumento da utilização do processo de extrusão tem despertado o interesse em conhecer os possíveis efeitos do processamento nos alimentos, principalmente no que se refere às propriedades nutricionais, físico-químicas e funcionais. A prevenção ou redução da destruição dos nutrientes, em conjunto com melhorias do amido ou digestibilidade da proteína, é de importância na maioria das aplicações de extrusão (Singh et al., 2007; Balasubramanian et al., 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse estudo foi realizado nos laboratórios do LEA (Laboratório de Engenharia de Alimentos) pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos (UAEAli) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Foram utilizados equipamentos e aparelhos dos seguintes laboratórios:

- Laboratório de Medidas Físicas;
- Laboratório de Panificação;
- Laboratório de Computação;
- Laboratório de Tecnologia do Frio.

A reologia nas massas foi estudada no e no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP), pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN, Campus Campina Grande, Campina Grande - PB.

4.1 Materiais

As massas alimentícias foram produzidas, seguindo formulação base da Tabela 1, variando os teores de transglutaminase microbiana e tempo de extrusão de acordo com a matriz do planejamento experimental do estudo. Na formulação, foram utilizados: farinha integral de arroz vermelho e farinha de quinoa branca (obtidas por processo de moagem realizado em laboratório), psyllium (NATURE'S WAY, EUA), polvilho doce (YOKI, São Paulo – SP), transglutaminase microbiana e água filtrada. As porcentagens dos componentes da formulação foram calculadas tendo-se, como base a quantidade de farinha integral de arroz vermelho (100%).

Tabela 1 - Formulação base para a produção de massa alimentícia

Ingrediente	(% base de farinha)
Farinha integral de arroz vermelho**	100
Farinha integral de quinoa branca	10
Polvilho doce	10
Psyllium	3

Transglutaminase microbiana	***
Água	30

* Em relação ao total de farinha integral de arroz vermelho;

*** Será variado de acordo com o planejamento experimental

4.2 Planejamento experimental para obtenção das massas alimentícias

O processo de obtenção das massas alimentícias foi estudado mediante planejamento experimental fatorial completo 2^2 com 3 experimentos no ponto central, sendo as variáveis independentes (teor de transglutaminase microbiana, tempo de extrusão), avaliadas em dois níveis (-1 e +1), totalizando 7 experimentos. As variáveis dependentes do planejamento são: textura, reologia e características de cozimento. A Tabela 2 contém a matriz do planejamento que foi utilizada para o estudo.

Tabela 2 - Planejamento fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais para o desenvolvimento das massas alimentícias

Experimento	Teor de transglutaminase microbiana (%)	Tempo de extrusão (min)
1	1,0 (-1)	5 (-1)
2	2,0 (+1)	5 (-1)
3	1,0 (-1)	15 (+1)
4	2,0 (+1)	15 (+1)
5	1,5 (0)	10 (0)
6	1,5 (0)	10 (0)
7	1,5 (0)	10 (0)

4.3 Moagem e acondicionamento

O arroz vermelho e a quinoa foram submetidos a moagem em moinho de disco, em processo de batelada de 50 g. Após a moagem, as farinhas integrais de arroz vermelho e quinoa foram acondicionadas em embalagens herméticas de polietileno com fecho próprio, mantidas em temperatura ambiente de $25\text{ °C} \pm 3,0\text{ °C}$ para posterior utilização na formulação da massa alimentícia.

4.4 Produção da massa alimentícia glúten-free funcional

As massas alimentícias foram produzidas conforme fluxograma (Figura 1), seguindo formulação base da Tabela 1, variando os teores de transglutaminase microbiana e tempo de extrusão de acordo com a matriz do planejamento experimental do estudo.

Figura 1 – Fluxograma para obtenção da massa alimentícia



4.5 Descrição das etapas do processamento das massas

4.5.1 Mistura de ingredientes e extrusão

A mistura de ingredientes e a extrusão foi realizada em extrusora automática pasta maker (fabricante PHILIPS), com capacidade de produção de 20 kg/dia.

4.5.2 Cozimento

A massa foi submetida ao cozimento, a temperatura de aproximadamente 90 °C. O tempo ótimo de cozimento das massas foi determinado.

4.5.3 Armazenamento

Após a etapa de extrusão, as massas foram embaladas (embalagens plásticas de polietileno com fecho próprio) e armazenadas a temperatura de congelamento, cerca de -5 °C, para posterior caracterização.

4.6 Determinação da qualidade de cozimento do macarrão

Para conhecimento de propriedades de cocção das massas alimentícias produzidas foi utilizado o método 16 – 50 e 66 - 50 da AACC (AACC, 2011).

4.6.1 Tempo ótimo de cozimento

O tempo de cozimento ideal para as amostras de massa foi estimado de acordo com o método AACC 16–50 (AACC International, 1995), com adaptações. Foram colocados 25 g de massa em um recipiente contendo 300 ml de água em ebulição (100 °C). Em intervalos de um minuto, 1 g da massa foi retirada e comprimida entre duas placas de vidro, até que o centro não se apresentasse mais esbranquiçado, indicando o ponto “al dente” das massas. As amostras de massa utilizadas não continham a enzima transglutaminase, para que fossem percebidos os efeitos da incorporação nas análises físicas e reológicas.

4.6.2 Perda de massa em cocção

A análise de perda de massa foi realizada utilizando a água do cozimento da massa, a qual foi depositada em béquer previamente tarado e levada para estufa na temperatura de 105°C até peso constante. O resultado foi calculado conforme a equação 1, conforme a diferença entre peso inicial e final no béquer:

$$PM = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (1)$$

4.6.3 Aumento de volume ou índice de inchaço

O índice foi determinado para conhecimento da quantidade de água por massa seca, o que indica o crescimento volumétrico das massas elaboradas. A análise seguiu metodologia a qual a massa cozida foi levada à estufa com temperatura de 105 °C até peso constante. O cálculo do índice realizou-se conforme a equação 3:

$$AV = \frac{\text{Peso massa cozida (P}_2\text{)} - \text{Peso da massa seca (P}_3\text{)}}{\text{Peso da massa seca (P}_3\text{)}} \quad (2)$$

4.6.4 Umidade

A análise de umidade foi realizada em balança determinadora de umidade, fabricante Bel, modelo G163L, Itália. Foram pesadas 5 g da amostra da massa. O tempo de realização foi de 2 minutos, a 110°C como recomendado para análise precisa de umidade.

4.7 Análise do perfil de textura

O perfil de textura das massas foi realizado com o auxílio do texturômetro modelo TAXT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), equipado com probe cilíndrico de compressão, com 36 mm de diâmetro e será realizada sob as seguintes condições: velocidade pré-teste, do teste e pós-teste de 2,0 mm/s, 5,0 mm/s e 5,0 mm/s, respectivamente; com distância de 20 mm, tipo de gatilho 20 g e tempo entre as duas compressões de 5 s. Os parâmetros de textura determinados foram: firmeza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade. Foram realizadas 10 leituras de cada amostra (Carr; Tadini, 2003).

4.8 Análise de reologia dinâmica

As propriedades reológicas das massas alimentícias foram medidas em reômetro Discovery HR-1 hybrid, em regime oscilatório, equipado com geometria de placas paralelas de 25 mm de diâmetro, em temperatura de 25 °C, intervalo entre as placas de 2 mm e frequência angular variando de 1 a 100 rad/s, sob atmosfera de ar.

4.9 Cor

A análise de cor foi realizada utilizando-se colorímetro Mini Scan Hunter Lab XE Plus, Reston, VA, EUA, sendo determinada de acordo com Sistema CIE-L*a*b* (Commission Internationale L'Eclairage) em que foram obtidos os parâmetros luminosidade (L*), intensidade de preto (+a*) e intensidade de amarelo (+b*) conforme metodologia de Altamirano-Fortoul, Rosell (2011).

4.10 Análise de compostos bioativos

4.10.1 Obtenção do extrato

Os componentes antioxidantes das massas foram extraídos conforme Yu; Nanguet; Beta (2013) com modificações. Inicialmente pesou-se 1 g de massa, foi misturado 10 mL de uma solução metanol a 80% e deixado em repouso por 1 hora em temperatura ambiente (23 ±1 °C) na ausência de luz. O extrato foi filtrado em papel filtro

em papel filtro *Whatman*, 125 mm e rotaevaporado a 37 °C. Em seguida foi colocado em frasco de vidro âmbar para a realização das análises.

4.10.2 Determinação dos compostos fenólicos totais

Os componentes antioxidantes das massas foram extraídos conforme Yu; Nanguet; Beta (2013) com modificações. Inicialmente pesou-se 1 g de massa, foi misturado 10 mL de uma solução metanol a 80% e deixado em repouso por 1 hora em temperatura ambiente (23 ± 1 °C) na ausência de luz. O extrato foi filtrado em papel filtro em papel filtro *Whatman*, 125 mm e rotaevaporado a 37 °C. Em seguida foi colocado em frasco de vidro âmbar para a realização das análises.

Para determinar o teor de compostos fenólicos totais utilizou-se metodologia descrita por Liu et al. (2002) com adaptações. Foram misturados 250 µL dos extratos em tubo de ensaio com 1250 µL do reagente Folin-Ciocalteu a 10%. As soluções foram agitadas em vórtex (Logen Scientific, modelo LSM56-II-VM, Fortaleza/Ceará, Brasil) por 30 segundos e armazenadas em temperatura ambiente (23 ± 1 °C) na ausência da luz por 6 minutos. Após, foram adicionados 1000 µL da solução de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi levada ao banho maria (Novatecnica[®], modelo NT232, Piracicaba – SP, Brasil) a uma temperatura de 50 ± 1 °C, durante 5 min. Após, a absorbância foi medida a 765 nm utilizando espectrofotômetro (BEL Photonics, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Também foi realizado um branco com a ausência dos extratos para zerar o espectrofotômetro. O conteúdo de compostos fenólicos totais das amostras foi determinado utilizando uma curva padrão preparada com ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra (mg EAG/100 g).

4.11 Análise dos resultados

Os dados experimentais em triplicata e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Foi utilizado o software STATISTICA versão 7.0 para o desenvolvimento das análises (STASOFT, 2007). Os gráficos resultantes da análise reológica das massas foram trabalhados no GraphPad Prism8, versão 8.0.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação da qualidade de cozimento do macarrão

A rede de proteínas e de glúten é responsável pela integridade física da massa durante o cozimento, uma estrutura mais fraca possui maior perda de sólidos solúveis na água de cozimento (Peron, 2015). Em produtos sem glúten, a perda de sólidos é resultado da lixiviação de amido gelatinizado livre, por isso é dependente do grau de gelatinização do amido (Marti et al., 2010).

De acordo com Fernandes et al., (2013) uma massa alimentícia deve apresentar baixo tempo de cozimento, pouca perda de sólidos na água de cozimento e grande aumento de peso quando cozido. Os resultados das propriedades de cozimento das massas alimentícias são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Respostas das propriedades de cozimento de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão

Exp.	Aumento de volume (%)	Perda com Cozimento (%)	Umidade (%)
1	106,5	5,5	32,7
2	103,5	5,1	33,4
3	98,8	6,6	30,8
4	116,3	6,5	30,7
5	110	5,3	31,1
6	110,5	5,2	31
7	109,5	5	31,2

1: 1%TG e 5' extrusão; 2: 2%TG e 5' extrusão; 3: 1%TG e 15' extrusão; 4: 2%TG e 15' extrusão; 5, 6, 7: 1,5%TG e 10' extrusão

5.1.1 Tempo ótimo de cozimento

O tempo de cozimento ideal das massas foi determinado na ausência da incorporação da enzima, para que fosse percebida a influência da adição nas formulações na caracterização física e reológica. Neste estudo, a variação do tempo foi considerada muito baixa entre as amostras. Com 4 minutos de cocção, as massas não apresentavam

mais o centro esbranquiçado, indicando o ponto al dente e, portanto, o cozimento do amido nas amostras.

5.1.2 Aumento de volume

O processo usado para certas massas comerciais não permite geralmente a gelatinização completa dos grânulos de amido, uma vez que são produzidos por extrusão a frio. Portanto, o processo de gelatinização e a maior parte do aumento de peso ocorrerão durante o processo de cozimento (Silva et al., 2016). A massa 4, adicionada da maior quantidade de MTgase, capaz de formar uma rede que imita a matriz do glúten e extrusada pelo maior tempo do estudo, apresentou o maior ganho de peso em percentual, após o processo de cozimento, sendo de 116,3%. A redução da quantidade de transglutaminase na formulação, fez com que a retenção de água no cozimento diminuísse e, portanto, a amostra 3 apresentou o menor aumento de volume.

Muitos estudos têm focado no desenvolvimento de massas alimentícias a partir de matérias-primas não convencionais, geralmente com maior teor de fibras e/ou proteínas, o que pode levar à diminuição do peso e do volume (Silva et al., 2019). De acordo com Bruneel (2010) para que uma massa alimentícia possa ter uma boa absorção no cozimento, o ganho da massa tem que ser duas vezes o seu peso inicial, ou seja, um ganho de 200%, Hummel (1966), sugere valores entre 200 e 300 g/100g para o aumento ser considerado satisfatório. As massas sem glúten funcionais deste estudo, não apresentaram, portanto, índices satisfatórios de aumento de peso após o processo de cozimento.

Em massas alimentícias frescas o aumento de volume é menor, pois parte da água é absorvida durante o processo de mistura dos ingredientes; no estudo de Shiozawa et al., (2020), as massas frescas com farinha de arroz obtiveram maior absorção de água, o que também é justificado pela maior quantidade de amido. No estudo de massas sem glúten preparadas com arroz integral e mistura de fubá via extrusão termoplástica, Silva et al., (2016) perceberam que a massa aumentou em média para o dobro de seu tamanho, mas a extrusão do processo não afetou os resultados de aumento de peso e volume. Resultados diferentes deste estudo, uma vez que o tempo de extrusão influenciou no aumento da massa.

5.1.3 Perda com cozimento

A perda com cozimento é um fator crítico para a qualidade da massa em termos do índice de resistência à desintegração durante o cozimento (Larrosa et al., 2016). A baixa perda de cozimento indica uma alta qualidade da massa cozida. Geralmente, 7,0-8,0% de perda por cozimento é aceitável (Susanna & Prabhasankar, 2013). Em massas sem glúten, a perda de sólidos durante o cozimento é principalmente devido à solubilização de amido gelatinizado ligado da superfície do produto (Resmini & Pagani, 1983).

Neste estudo, a maior perda com cozimento foi percebida da massa 3 (6,6%) resultando da menor concentração de transglutaminase e maior tempo de extrusão da massa. A principal mudança que ocorre no amido durante o processo de extrusão é a ruptura de regiões cristalinas no grânulo, seguida pela perda de integridade e, no caso dos amidos de cereais, a formação de complexos lipídio-amilose, que diminuem a digestibilidade e a solubilidade dos amidos cozidos (Galloway et al., 1989). Isso pode justificar a maior perda com cozimento, resultando do maior processamento por extrusão da massa.

Phongthai et al., (2017) estudaram os efeitos do enriquecimento de proteínas nas propriedades da massa sem glúten à base de farinha de arroz, as amostras de massas produzidas no estudo foram preferíveis às massas de arroz moído obtidas por extrusão convencional (sem adição de outras farinhas), podendo ser um indicativo de que o tempo de extrusão convencional afete a perda de cozimento negativamente, como percebido neste estudo.

Durante o processo de cozimento, os componentes solúveis do amido e outras partes solúveis, como os polissacarídeos sem amido, lixiviam na água de cozimento (Ajila et al., 2010). O aumento da perda com cozimento pode ser devido à fraca interação da proteína e da matriz de amido que é destruída durante o cozimento, além da diluição da proteína do glúten e, portanto, ao enfraquecimento do amido e da matriz proteica (Surasani et al., 2019). A amostra com menor teor de transglutaminase, apresentou a maior perda, devido ao enfraquecimento da rede de proteínas da massa.

5.1.4 Umidade

Dexter et al. (1981) constataram que, além da temperatura, um conteúdo ligeiramente alto de umidade no espaguete pode, também, aumentar a possibilidade de

gelatinização do amido, explicando-se perdas relativamente altas por cozimento. No estudo de massas sem glúten preparadas com arroz integral e mistura de fubá via extrusão termoplástica, Silva et al., (2016) perceberam que apenas o teor de umidade contribuiu extensivamente para a variação da perda de cozimento. No presente estudo, o teor de umidade e a perda de cozimento também estão proporcionalmente correlacionadas, uma vez que quanto maior o teor de umidade da massa, menor a perda de cozimento.

A massa fresca, devido ao seu alto teor de umidade, próximo a 30% (sendo no máximo, 35%), requer cuidados especiais para sua preservação. Pelo fato de não sofrer uma intensa desidratação, como a massa seca, mantém suas características de textura e sabor mais semelhantes aos da massa caseira (Guerreiro, 2006). O maior teor de umidade encontrado nesse estudo foi o da massa 2 que apresentava o maior teor de MTgase e menor tempo de extrusão, com 33,4% do parâmetro.

5.2 Análise do perfil de textura

Os resultados da análise de perfil de textura (TPA) são apresentados na Tabela 4, para as respostas de elasticidade e adesividade, não foi possível estabelecer modelos significativos, ou seja, os dados experimentais não se ajustaram ao modelo (linear); este resultado indica que, apesar das variações no tempo de extrusão e nas concentrações de transglutaminase microbiana, estas não influenciaram nas características descritas, obtendo-se uma uniformidade para os tratamentos estudados.

Tabela 4 - Respostas dos parâmetros do perfil de textura de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão

Exp.	Firmeza (N)	Adesividade	Coersividade	Elasticidade (mm)	Mastigabilidade (J)
1	5,432	0,398	0,548	0,999	2,931
2	7,183	0,152	0,496	1	3,602
3	13,37	0,506	0,482	0,999	6,444
4	8,954	0,297	0,525	1	4,678
5	9,129	0,179	0,512	0,999	4,684
6	9,117	0,181	0,512	0,999	4,682
7	9,123	0,179	0,512	0,999	4,691

*média de dez repetições (\pm desvio padrão).

1: 1%TG e 5' extrusão; **2:** 2%TG e 5' extrusão; **3:** 1%TG e 15' extrusão; **4:** 2%TG e 15' extrusão; **5, 6, 7:** 1,5%TG e 10' extrusão.

Para as variáveis de resposta dos parâmetros firmeza, mastigabilidade e coersividade foi possível estabelecer modelos significativos. Sendo constatado, após análise dos resultados, que o coeficiente da adição de MTgase em diferentes concentrações, a influência do tempo de extrusão e a média foram estatisticamente significativas para o nível de 95% de confiança. Os modelos codificados (Resposta = $\beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_1x_2$) estão apresentados nas equações 3, 4 e 5, com os coeficientes estatisticamente significativos em negrito.

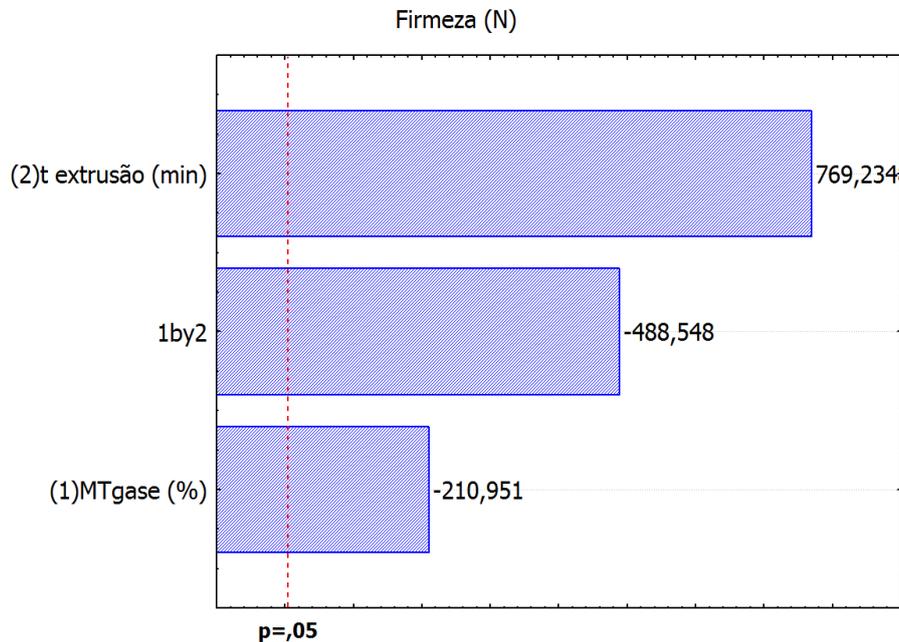
$$\text{Firmeza} = \mathbf{8,90100} - 0,66550\text{MTgase} + \mathbf{2,42675t_{extrusão}} - 1,54125 \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{Mastigabilidade} = \mathbf{4,530486} - 0,273475\text{MTgase} + \mathbf{1,147325t_{extrusão}} - \mathbf{0,609325} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Coersividade} = \mathbf{0,512400} - \mathbf{0,002275\text{MTgase}} - \mathbf{0,009125t_{extrusão}} + \mathbf{0,023825} \quad \text{Eq. 5}$$

A Figura 2 apresenta o gráfico de Pareto com nível de 95% de confiança para a estimativa dos efeitos do parâmetro firmeza.

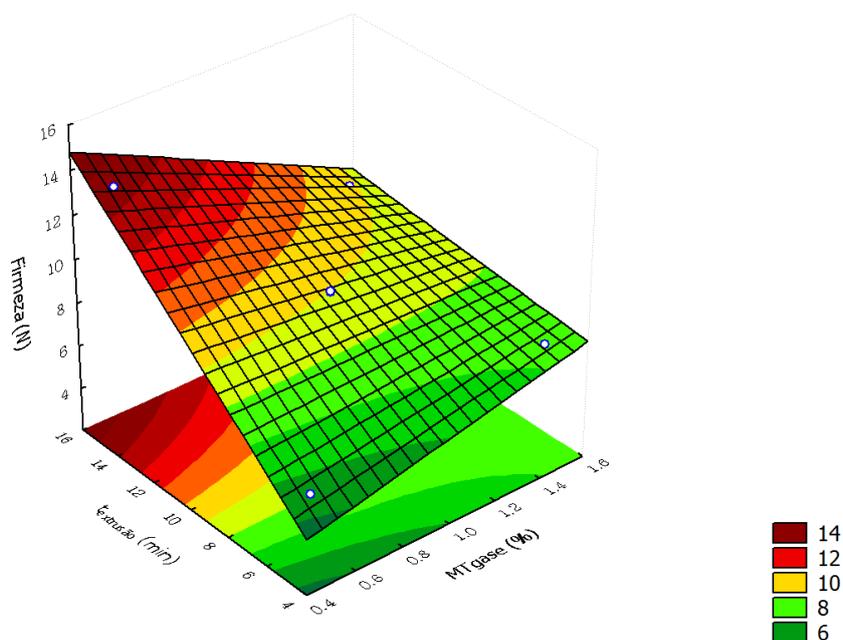
Figura 2 - Diagrama de Pareto para a firmeza



Analisando os efeitos principais das variáveis $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ e $\text{MTgase}(\%)$ (Figura 2), percebe-se que ambas influenciaram, com efeito estimado de 210% e 770%, respectivamente, a firmeza das massas. Sendo o $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ diretamente proporcional (sinal positivo) a firmeza das amostras e a $\text{MTgase}(\%)$ inversamente proporcional (sinal negativo). Observa-se também, que a interação dos dois fatores ($t_{\text{extrusão}}+\text{MTgase}$), influencia na firmeza das amostras de forma inversamente proporcional, com efeito estimado de -489%.

Analisando a superfície de resposta (Figura 3) tem-se que aumentando o $t_{\text{extrusão}}$ obtém-se uma maior firmeza das amostras, ao mesmo tempo que, aumentando a concentração de MTgase , a firmeza das amostras é diminuída.

Figura 3 - Superfície de resposta para a firmeza



A pré-gelatinização do amido para a produção de massas favorece a integridade do produto, devido a uma reorganização da estrutura molecular da amilopectina, em virtude da retrogradação, resultando em massas alimentícias com maior firmeza (Sivaramakrishnan et al., 2004). Além disso, a provável formação de rede proteica sobre os grânulos de amido também pode resultar em um produto com maior firmeza (Schmiele et al., 2013).

Analisando a superfície de resposta (Figura 3) tem-se que aumentando o $t_{extrusão}$ obtém-se uma maior firmeza das amostras, ao mesmo tempo que, aumentando a concentração de MTgase, a firmeza das amostras é diminuída. Na massa alimentícia do ensaio 3 deste estudo, foram adicionados 1% de MTgase e a extrusão foi realizada pelo tempo máximo de 15 minutos, apresentando o maior valor de firmeza do estudo (13,368N). Quanto mais tempo aplicado na extrusão da massa e quanto menor o percentual de MTgase, maior a firmeza.

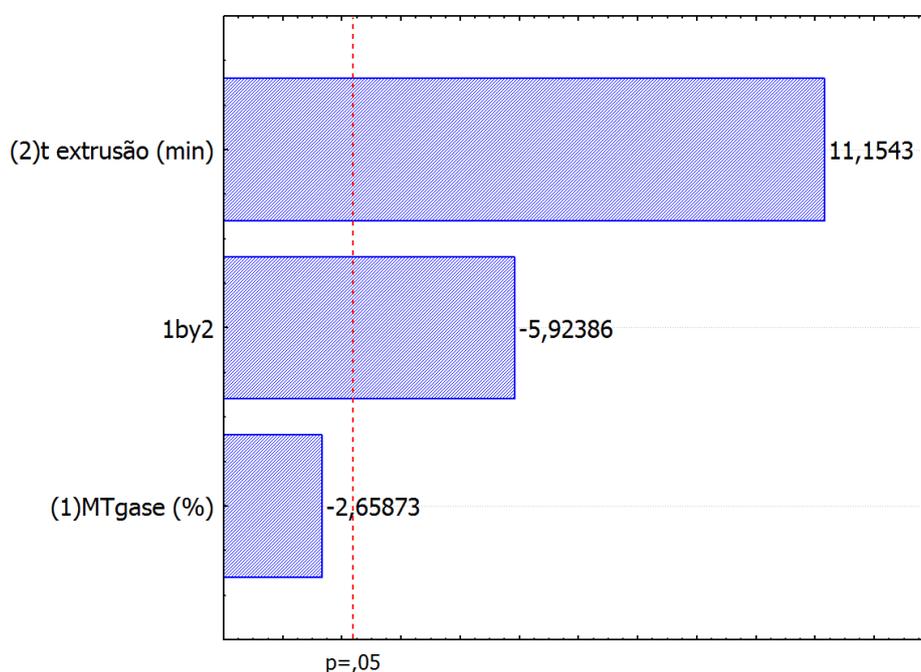
Bouasla et al., (2016) estudaram o efeito das condições de cozimento por extrusão em massa de ervilha amarela pré-cozida sem glúten e perceberam que a dureza da massa pré-cozida hidratada aumentou conforme a velocidade do parafuso da extrusora aumentou. O alto estresse de cisalhamento e temperatura pareceram favorecer a formação de uma rede amilácea fortalecida envolvendo a maioria das macromoléculas de amido com efeito positivo na firmeza da massa cozida (Marti et al., 2013), esse efeito também

foi percebido por Silva, Ascheri, Ascheri (2016) em massa sem glúten preparada com uma mistura de arroz integral e fubá via extrusão termoplástica.

Fradinho et al. (2020) estudaram os efeitos da incorporação de espirulina em massa fresca sem glúten, e para eles, a firmeza de massas isentas de glúten não parece estar diretamente relacionada com seu conteúdo de proteínas. Nesse estudo, isso pode ser confirmado uma vez que apesar da rede proteica proporcionada pela MTgase, a incorporação da enzima não exerceu maior influência na firmeza das massas.

A Figura 4 apresenta o gráfico de Pareto com nível de 95% de confiança para a estimativa dos efeitos do parâmetro mastigabilidade.

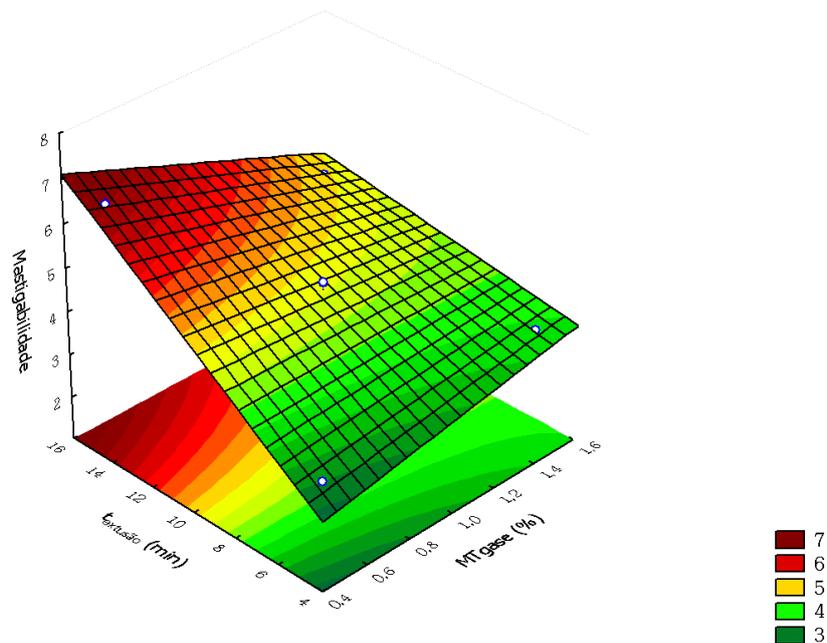
Figura 4 - Diagrama de Pareto para a mastigabilidade



Analisando os efeitos principais das variáveis $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ e $\text{MTgase}(\%)$ (Figura 4), percebe-se apenas o $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$, com efeito estimado de 11,15% influenciou a mastigabilidade das massas. Sendo o $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ diretamente proporcional (sinal positivo) a mastigabilidade das amostras. Observa-se também, que a interação dos dois fatores ($t_{\text{extrusão}}+\text{MTgase}$), influencia na mastigabilidade das amostras de forma inversamente proporcional, com efeito estimado de -5,92%.

Analisando a superfície de resposta (Figura 5) tem-se que aumentando o $t_{\text{extrusão}}$ obtém-se uma maior mastigabilidade das amostras.

Figura 5 - Superfície de resposta para a mastigabilidade

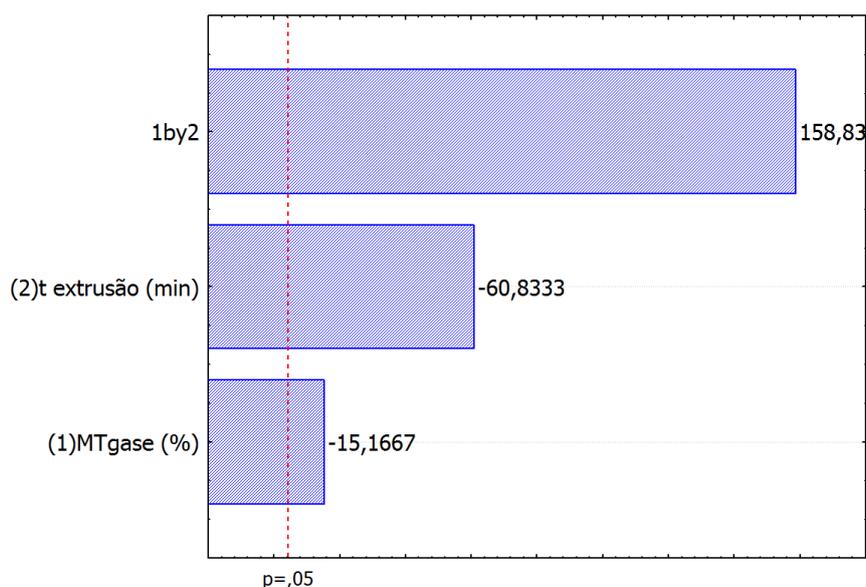


A mastigabilidade é indicada como uma energia requerida para mastigar uma amostra (velocidade constante) e reduzi-la a consistência até que se possa engolir (Bitencourt et al., 2014). Na massa alimentícia do ensaio 3 deste estudo, foram adicionados 1% de MTgase e a extrusão foi realizada pelo tempo máximo de 15 minutos, apresentando o maior valor de mastigabilidade do estudo (4,6913). Quanto mais tempo aplicado na extrusão da massa, maior a mastigabilidade.

Em estudo da melhoria de massa gluten-free cozida, Larrosa et al., (2016) percebeu-se que a mastigabilidade da massa sem glúten pode estar relacionada à força elástica da matriz proteica da amostra (Sozer et al., 2007) e foi inversamente proporcional ao teor de água na massa, sendo que todas as massas GF obtiveram maiores valores de mastigabilidade do que a massa controle de trigo. Esse mesmo comportamento foi observado neste estudo. A amostra com menor teor de umidade apresentou maior facilidade para mastigação, mostrando que a amostra 3, com 1% de MTgase possui uma rede proteica mais frágil e fraturável.

A Figura 6 apresenta o gráfico de Pareto com nível de 95% de confiança para a estimativa dos efeitos do parâmetro coesividade.

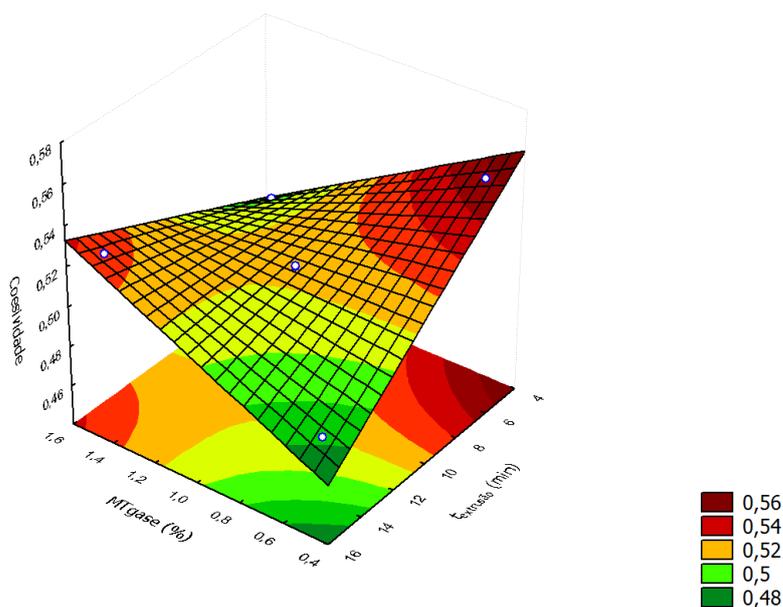
Figura 6 - Diagrama de Pareto para a coesividade



Analisando os efeitos principais das variáveis $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ e $\text{MTgase}(\%)$ (Figura 6), percebe-se que ambas influenciaram, com efeito estimado de $-60,83\%$ e $-15,17\%$, respectivamente, a coesividade das massas. Sendo ambos, o $t_{\text{extrusão}}(\text{min})$ e a $\text{MTgase}(\%)$ inversamente proporcionais (sinal negativo) a coesividade das amostras. Observa-se também, que a interação dos dois fatores ($t_{\text{extrusão}}+\text{MTgase}$), influencia na coesividade das amostras de forma diretamente proporcional, com efeito estimado de $158,83\%$.

Analisando a superfície de resposta (Figura 7) tem-se que aumentando o $t_{\text{extrusão}}$ obtém-se uma menor coesividade das amostras, ao mesmo tempo que, aumentando a concentração de MTgase , a coesividade das amostras também é diminuída.

Figura 7 - Superfície de resposta para a coesividade



A coesividade da massa cozida depende principalmente da competição entre as moléculas de amido e proteínas para formar uma rede contínua (Sozer et al., 2007). Analisando a superfície de resposta (Figura 7) tem-se que aumentando o $t_{\text{extrusão}}$ obtém-se uma menor coesividade das amostras, ao mesmo tempo que, aumentando a concentração de MTgase, a coesividade das amostras também é diminuída. Na massa alimentícia do ensaio 1 deste estudo, foram adicionados 1% de MTgase e a extrusão foi realizada pelo tempo mínimo de 5 minutos, apresentando o maior valor de coesividade do estudo (0,5480). Quanto menos tempo aplicado na extrusão da massa e quanto menor o percentual de MTgase, maior a coesividade.

Em estudo de Larrosa et al., (2016) sobre a melhoria da textura e qualidade de massa cozida sem glúten, a coesividade variou de 0,57 a 0,71 para todas as amostras estudadas e nenhuma das formulações diferiu significativamente do controle de farinha de trigo, indicando uma formação de uma rede contínua pela interação das moléculas de amido e proteínas. Neste estudo, quando menor a firmeza e mastigabilidade da amostra, maior a coesividade. A rede de proteínas que envolve as moléculas de amido das amostras com menor tempo de extrusão e menor teor de MTgase sofrem menor retrogradação e por isso a massa se torna mais coesa.

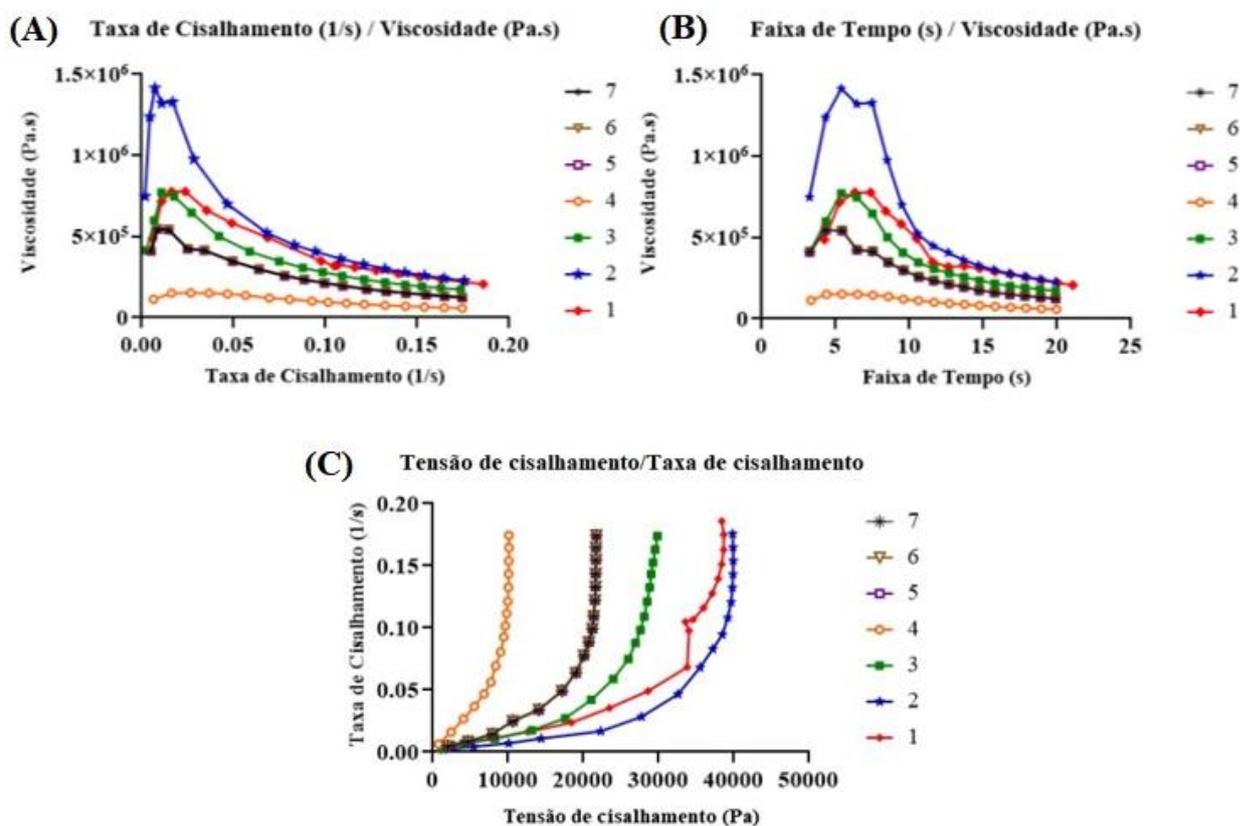
5.3 Análise de reologia dinâmica

As propriedades reológicas das massas alimentícias referentes as amostras 1 a 7 com diferentes concentrações de MTgase e diferentes tempos de extrusão são apresentadas nos gráficos mostrados nas Figuras 8 e 9.

O comportamento das curvas é típico de materiais pseudoplásticos, uma vez que, a massa alimentícia, é considerada um sistema polimérico (Braydson, 1981).

Se as cadeias macromoleculares inicialmente não alinhadas forem submetidas ao cisalhamento elas tendem a se alinhar com o eixo maior na direção do cisalhamento, reduzindo assim a viscosidade. O grau de alinhamento é uma função da taxa de cisalhamento. Na taxa de cisalhamento baixa, há apenas um desvio da aleatoriedade, enquanto, na taxa de cisalhamento mais alta, as cadeias macromoleculares são quase completamente desemaranhadas e orientadas (George et al., 1996).

Figura 8 – Comportamento reológico da Taxa de cisalhamento (1/s), Tensão de cisalhamento (Pa) e Viscosidade (Pa.s) das massas alimentícias



1: 1%TG e 5' extrusão; 2: 2%TG e 5' extrusão; 3: 1%TG e 15' extrusão; 4: 2%TG e 15' extrusão; 5, 6, 7: 1,5%TG e 10' extrusão.

Neste estudo (Figura 8 – (A)), percebe-se que a massa 2, que possuía o maior teor de MTgase e foi extrusada por 5', apresenta uma taxa de cisalhamento maior e, conseqüentemente, devido ao maior cisalhamento, apresenta uma curva mais acentuada em relação a viscosidade, que pode ser explicada pela utilização da MTgase, que proporciona aumento da viscosidade e elasticidade do gel em alimentos (Melo, 2013).

A viscosidade da massa é diretamente influenciada pelo grau de gelatinização do amido dos materiais de alimentação (Hsieh et al., 1991). A incorporação da MTgase a 2% a 5' de extrusão na amostra 2 (Figura 8 – (B)) pode estar relacionada ao rearranjo macromolecular promovido pela interação das farinhas e da MTgase na massa, uma vez que grânulos de amido com alto grau de intumescimento, resultam em maior pico de viscosidade (Marti et al., 2013).

Os grânulos de amido de amido sofrem gelatinização e fusão por ação do calor e da umidade, nas pontes de hidrogênio, entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas à estrutura do grânulo. Sob condições de excesso de água, as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo (menos ordenadas) são rompidas primeiro, permitindo que a água se associe com grupos hidroxilas livres.

O maior teor de umidade do estudo (33,4%) da amostra 2, percebeu que o conteúdo maior de água dessa amostra pode ter levado os grânulos de amido ao entumescimento e à proporção de aberturas adicionais, resultando em um aumento rápido da viscosidade (pico) e uma possível desnitrização do amido, posteriormente, proporcionando a diminuição da viscosidade pela relação inversa da capacidade de retenção de água com o tamanho das moléculas de amilose, por exemplo.

O gráfico (C) – Figura 8, indica que a viscosidade é alterada de acordo com a quantidade de força que é aplicada também muda. Os pseudoplásticos são substâncias que, em repouso, apresentam suas moléculas em um estado desordenado e, quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quando maior esta força, maior será a ordenação e conseqüentemente, menor será a viscosidade.

Quando a umidade da massa é alta o suficiente para permitir a mobilidade molecular das cadeias de proteínas, durante a extrusão das massas, as forças de compressão e cisalhamento desdobram os polímeros, facilitando seu emparelhamento hidrofóbico (Martin et al., 2019).

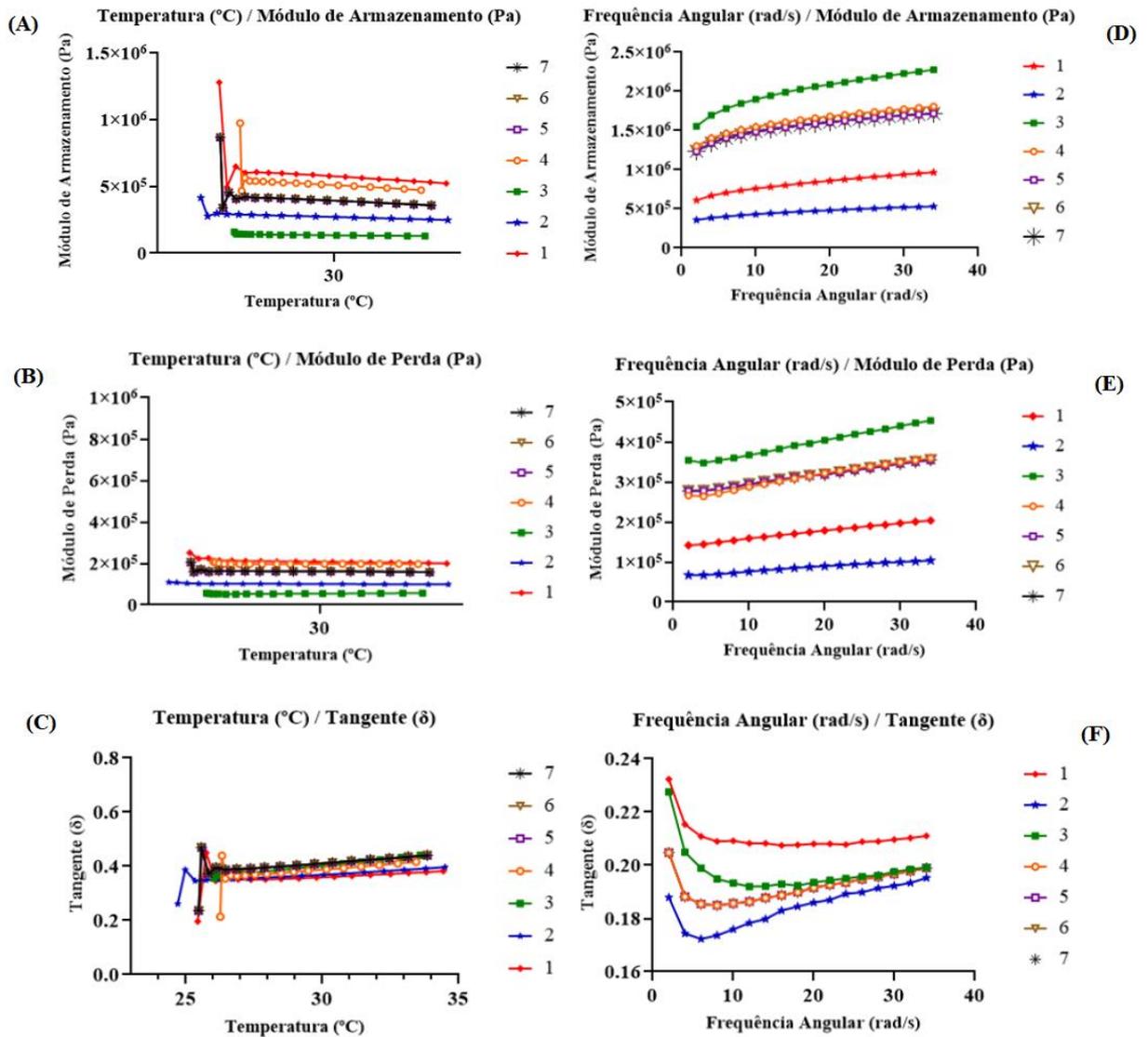
As amostras 2 e 4 apresentam os dois extremos do gráfico (C) – Figura 8. A amostra 4 que possui 2% de MTgase, foi extrusada por 15' e possui 30,7% de umidade (a menor do estudo), precisou de uma menor tensão para que a taxa de cisalhamento fosse aumentada. As características dessa amostra fizeram com que as moléculas se ordenassem de forma mais rápida. A amostra 2, por outro lado, apresentou efeito inverso na organização das moléculas e, portanto, a tensão de cisalhamento foi maior, mesmo possuindo 33,4% de umidade (a maior do estudo). Pôde-se perceber que quanto menor o tempo de extrusão das massas, maior a tensão de cisalhamento das amostras.

Em massa sem glúten enriquecida com a farinha extrusada de arroz vermelho, Baran Das & Bhattacharya (2018) obtiveram resultados semelhantes a este estudo, em

que o comportamento pseudoplástico das massas foi observado e a temperatura e tensão exerceram influência dos parâmetros de reologia e na viscosidade aparente das massas.

Os módulos de armazenamento (G') e perda (G'') e os valores para $\tan(\delta)$ em função da temperatura e da frequência angular são mostrados nos gráficos da Figura 9:

Figura 9 – Módulo de Armazenamento (G'), Módulo de Perda (G'') e $\tan(\delta)$ em função da Temperatura e Frequência angular



1: 1%TG e 5' extrusão; 2: 2%TG e 5' extrusão; 3: 1%TG e 15' extrusão; 4: 2%TG e 15' extrusão; 5, 6, 7: 1,5%TG e 10' extrusão.

O ensaio dinâmico–mecânico é capaz de fornecer informações a respeito do comportamento viscoelástico do sistema, separando o módulo em dois componentes: a contribuição elástica e viscosa.

No ensaio de varrimento de temperatura, G' e G'' são determinados em função da temperatura, numa frequência fixa. Este teste é apropriado para estudo da formação de gel durante o resfriamento de uma dispersão aquecida (Rao; Cooley, 1993), gelatinização de dispersões de amido durante o aquecimento e a formação de géis de proteínas. Durante a extrusão, para todas as amostras, os fatores de perda ($\tan \delta$) foram menores que 1, indicando uma característica mais elástica ao invés de um estado viscoso.

Os módulos de perda (G'') (Figura 9 – B) apresentam comportamento semelhantes para todos os ensaios, foram próximos a 0,1 no final da fase de extrusão, sugerindo uma estrutura semelhante a um gel. Pequenos picos foram percebidos em temperatura próxima a 25 °C para o parâmetro $\tan(\delta)$ (Figura 9 – C) e depois as amostras se alinharam, indicando que a partir de 27 °C as amostras dissipam energia uniformemente. Um pico com aumento de G' (Figura 9 – A) foi observado em todas as amostras na temperatura inicial de 25 °C, em especial na amostra 1, que passou por menos tempo de extrusão e tinha o menor conteúdo de MTgase na massa, devido à desnaturação da proteína e o inchaço do amido ocorrido durante o início do processo de extrusão. A partir da temperatura em torno de 27 °C ocorreu um decréscimo de G' com uniformização do comportamento, podendo ser explicado pela boa resistência da rede de proteínas proporcionada pela incorporação da MTgase nas massas.

No varrimento de frequência, a tensão ou a deformação é uma função oscilatória, normalmente senoidal (Canevarolo Jr, 2002), tem como função avaliar as modificações da estrutura interna do produto, a partir dos dados experimentais de G' (módulo de armazenamento) e G'' (módulo de perda) em função da frequência, com tensão e temperatura constantes, produzindo o espectro mecânico. Em géis, o módulo elástico (G') é sempre maior que o módulo viscoso (G''), sendo que os módulos em géis fracos são dependentes da frequência e em géis fortes, não (Sousa, 2001).

A $\tan(\delta)$, chamada de fator de perda ou de amortecimento é a razão entre a energia dissipada por ciclo e a energia potencial máxima armazenada durante o ciclo. Esta relação é muito útil na caracterização de sistemas poliméricos, uma vez que materiais mais rígidos irão apresentar valores de $\tan(\delta)$ menores e, do mesmo modo, materiais mais flexíveis

irão apresentar valores de $\tan(\delta)$ maiores (Sousa, 2001). Geralmente, um G' mais alto e uma $\tan(\delta)$ mais baixa indicam um material mais elástico e sólido (Peressini, 2019). Neste estudo (Figura 3 – C) os valores de $\tan(\delta)$ estão bem abaixo de 1, indicando um comportamento elástico das amostras.

Neste estudo, para frequência angular constante, as componentes de armazenamento e perda apresentaram comportamentos semelhantes. Sendo verificado um pequeno aumento de G' (Figura 9 – D) em relação a G'' (Figura 9 – E). Verificou-se, portanto, que a componente elástica (G') é superior à componente viscosa (G''), demonstrando um comportamento predominantemente elástico, típico de um gel forte, uma vez que os módulos viscoelásticos não são dependentes da frequência.

A característica de gel forte, pode ter sido influenciada pela incorporação da transglutaminase microbiana nas massas. Uma vez que a MTGase é capaz de gelificar soluções concentradas de proteínas modulando as propriedades de solubilidade, emulsificação, gelificação e retenção de água dos alimentos (Gharibzahedi et al., 2018).

Está bem estabelecido que os módulos dinâmicos (G' e G'') são sensíveis ao conteúdo de água, aumentando conforme o conteúdo de água diminui (Peressini & Sensidoni, 2009). Neste estudo, os maiores valores de G' e G'' confirmam que a menor umidade do estudo influenciou os maiores módulos do estudo. As amostras 3 e 4, com 30,7 e 30,8% de umidade respectivamente, apresentaram maiores módulos de armazenamento e de perda do estudo.

Também das amostras 3 e 4, percebe que o tempo de extrusão de 15 minutos exerceu influência positiva sobre as componentes G' e G'' , uma vez que o tempo de 5 minutos de extrusão, diminuiu as componentes. Aumentos de tempo de processamento, e temperatura durante o processo de extrusão diminuem os valores de retrogradação do amido e influenciam inversamente todas as propriedades de colagem de massas extrudadas (Silva, Ascheri e Ascheri, 2016). Os módulos de perda e armazenamento são maiores quanto maior o tempo de extrusão.

A extrusão das massas deste estudo por um maior tempo, resultou em uma maior gelatinização do amido, culminando na formação de uma rede contínua de moléculas de amilose solubilizada que ligam os grânulos de amido (provenientes da farinha de arroz vermelho, que possui a mesma proporção para todas as amostras) através de ligações de hidrogênio (Lu et al., 2011), indicando que após o maior processamento por extrusão a

estrutura das massas fica mais forte, existindo, portanto, uma uniformização das características reológicas das massas.

5.4 Cor

Os resultados da análise de cor são apresentados na Tabela 5. Para os parâmetros de Luminosidade (L^*) e b^* não foi possível estabelecer modelos significativos, ou seja, os dados experimentais não se ajustaram ao modelo (linear); este resultado indica que, apesar das variações no tempo de extrusão e nas concentrações de transglutaminase microbiana, estas não influenciaram nas características descritas, obtendo-se uma uniformidade para os tratamentos estudados.

Tabela 5 - Respostas dos parâmetros L^* , a^* e b^* de massa alimentícia com variação de MTgase e tempo de extrusão

Exp	CIE		
	L	a^*	b^*
1	83,27051	0,782051	4,603846
2	79,35465	-0,53953	1,182558
3	84,14786	0,129915	3,497436
4	71,36526	-0,82421	-1,2
5	71,12047	-0,19764	4,486614
6	71,07021	-0,07012	4,482131
7	71,13141	-0,20012	4,488071

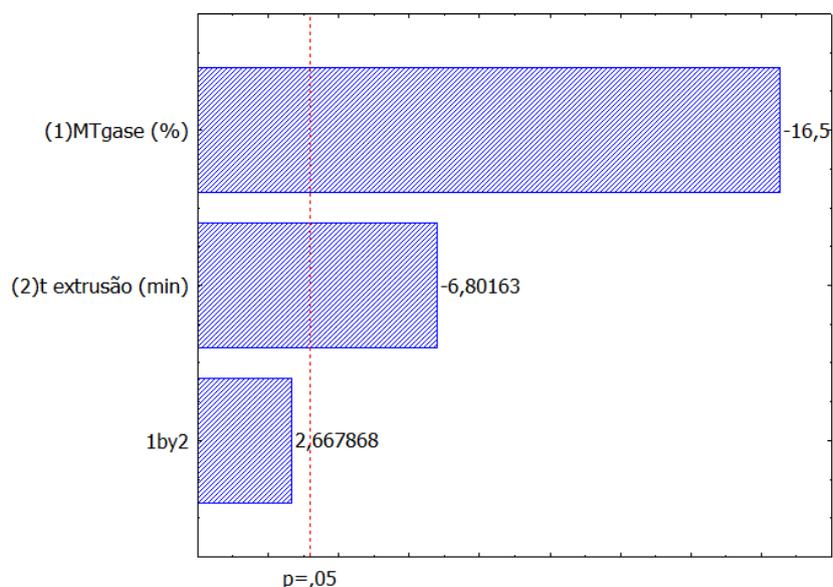
1: 1%TG e 5' extrusão; **2:** 2%TG e 5' extrusão; **3:** 1%TG e 15' extrusão; **4:** 2%TG e 15' extrusão; **5, 6, 7:** 1,5%TG e 10' extrusão.

Foi possível estabelecer modelos significativos através das respostas obtidas para o parâmetro de cromaticidade a^* deste estudo. O modelo codificado está apresentado na Equação 6, com os coeficientes estatisticamente significativos em negrito.

$$a^* = -0,131379 - 0,568926MTgase - 0,234204t_{extrusão} - 0,091864 \quad \text{Eq. 6}$$

A Figura 10 apresenta o gráfico de Pareto com nível de 95% de confiança para a estimativa dos efeitos.

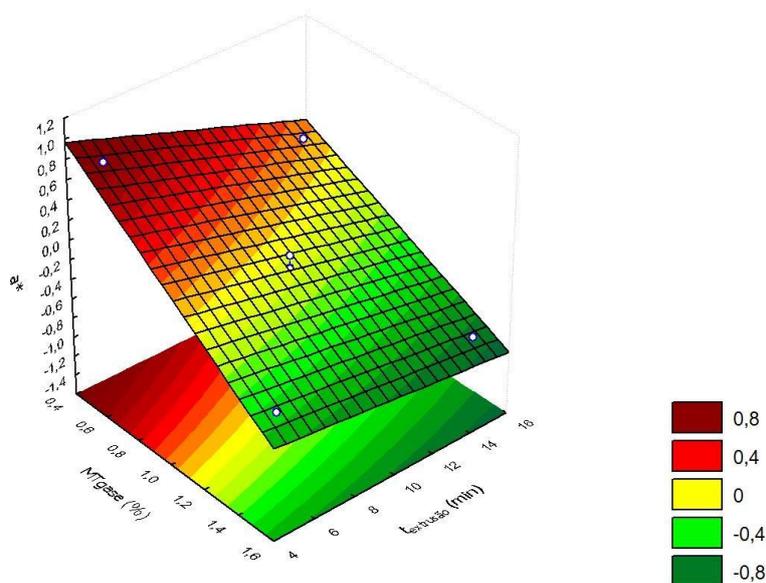
Figura 10 - Diagrama de Pareto para a*



Analisando os efeitos principais das variáveis MTgase(%) e $t_{extrusão}$ (min) (Figura 10), percebe-se que ambas influenciaram, com efeito estimado de -16,52% e -6,8%, respectivamente, a firmeza das massas. Sendo a MTgase (%) e o $t_{extrusão}$ (min) inversamente proporcionais (sinal negativo) para a cromaticidade a^* das amostras. Observa-se também, que a interação dos dois fatores ($t_{extrusão}+MTgase$), não influencia na cromaticidade a^* das amostras.

Analisando a superfície de resposta (Figura 11) tem-se que aumentando a concentração de concentração de MTgase a^* é diminuída e aumentando o $t_{extrusão}$ obtém-se uma menor a^* das amostras.

Figura 11 - Superfície de resposta para a*



A cor é um parâmetro importante na determinação da qualidade e aceitabilidade da massa. Em massas cozidas ocorre o escurecimento da massa alimentícia devido a propriedades que geralmente afetam o escurecimento da cor como a exposição à temperatura gerando perdas de compostos que refletem na cor do produto após cocção (Silva et al., 2019). Além da difusão dos pigmentos para a água de cozedura, as alterações da cor podem estar associadas à reação de oxidação dos pigmentos durante o tratamento térmico (Oliveira, 2019).

O croma a^* representa a tonalidade vermelho-verde, valores positivos significam coloração avermelhada. Neste estudo, percebeu-se que, quanto menor o teor de MTgase na massa, maior a^* ela apresenta. O tom avermelhado apresenta-se pela coloração da farinha de arroz vermelho incorporada à massa. Logo, neste estudo, as amostras 1 e 3 são mais avermelhadas pela menor presença da cor branca da transglutaminase nas massas.

No estudo de Phongthai et al., (2017) entre as massas sem glúten enriquecidas com quatro fontes de proteína, observou uma significativa intensidade de cor diferente em termos de L^* , a^* e b^* . A adição de concentrado de proteína de farelo de arroz teve um grande impacto nesses parâmetros de cor, possivelmente porque era obviamente mais escuro do que as outras fontes de proteína. Além disso, os pigmentos acastanhados gerados pela reação de Maillard entre os açúcares redutores e os aminoácidos livres durante o processo de extrusão podem ser outro motivo que afeta a cor das amostras de massa.

5.5 Análise de compostos bioativos

5.5.1 Determinação dos compostos fenólicos totais

A quantificação do teor de compostos fenólicos totais, determinado pelo método Folin-Ciocalteu, está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantificação do teor de compostos fenólicos das massas alimentícias

Exp.	mg EAG/100g de massa
1	19,11
2	22,89
3	28,61
4	32,63
5	39,68

6	39,93
7	39,73

1: 1%TG e 5' extrusão; 2: 2%TG e 5' extrusão; 3: 1%TG e 15' extrusão; 4: 2%TG e 15' extrusão; 5, 6, 7: 1,5%TG e 10' extrusão.

Psyllium contém fenólicos e flavonóides que possuem capacidade de redução e atividades de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Patel, Mishra e Jha, 2016) e de acordo com Shao, et al. (2018) o arroz vermelho também é rico em fenólicos, em seu estudo, o grão apresentou 19,59 mgGAE/100g, sendo assim, a farinha também apresenta alto potencial de enriquecimento de fenólicos.

O fenômeno de aumento da digestibilidade proteica é percebido como efeito da extrusão, porém quanto aos compostos bioativos com propriedades antioxidantes como os compostos fenólicos e flavonóides, os efeitos da extrusão não são especificamente conhecidos, uma vez que a extrusão pode reduzir o conteúdo fenólico pela decomposição dos compostos fenólicos termolábeis e promover a polimerização de outros, mas, o processo também pode melhorar a acessibilidade fenólica por meio do rompimento de ligações (d'Almeida, 2020; Moreno et al., 2017).

Neste estudo, observa-se que a interação da MTgase a 1,5% acrescido a massa e o tempo médio de extrusão de 10 minutos, promove uma melhor acessibilidade fenólica nas amostras, percebida nas amostras 5, 6 e 7 deste estudo. O rompimento de ligações proporcionado pelo aumento do tempo de extrusão também justifica os valores crescentes de compostos fenólicos das amostras 3 e 4.

Assim como neste estudo, Littardi et al, (2020) e Rinaldi et al., (2015) perceberam que o conteúdo de compostos fenólicos já presentes na farinha (em seus estudos, a de castanha), exerce influência no aumento da atividade antioxidante e no conteúdo final de fenólicos presentes na massa, cumprindo o objetivo de produzir produtos nutritivos melhorados através da suplementação das massas.

Uma liberação eficiente de compostos fenólicos pode precisar de vários tratamentos enzimáticos, uma vez que a maioria desses compostos são conjugados com componentes da parede celular (Liu et al., 2017). Nguyen et al., (2020) estudaram os efeitos da adição de glúten vital e/ou tratamento com transglutaminase em massa de farelo de trigo tratado com celulase e sêmola de durum e não perceberam modificações significativas quanto ao conteúdo de fenólicos tanto na incorporação de celulase quanto na de transglutaminase.

6. CONCLUSÕES

O tempo de extrusão e a concentração da MTgase exercem influência nas propriedades de cozimento, físicas, reológicas e funcionais das massas.

O maior tempo de extrusão do estudo resultou em solubilização do amido, proporcionando perda com cozimento, menor teor de umidade e aumento de volume das massas, maior firmeza, mastigabilidade e menor coesividade pela maior retrogradação do amido. As massas se comportaram como materiais pseudoplásticos, elásticas com estrutura semelhante a um gel e um tempo maior de extrusão proporcionou o aumento da viscosidade das massas. A massa apresentou boa disponibilidade de compostos fenólicos.

A redução da quantidade de transglutaminase nas formulações, alterou as propriedades de cozimento, devido a diminuição da retenção de água no cozimento, ocorrendo menor aumento de volume e maior perda com cozimento, devido ao enfraquecimento da rede de proteínas da massa. Por outro lado, as propriedades reológicas foram alteradas pela incorporação de MTgase, uma vez que a característica de gel foi fortalecida e o módulo de perda foi reduzido, proporcionando uniformização do comportamento reológico em função da viscosidade, explicado pela boa resistência da rede de proteínas proporcionada pela incorporação enzima.

A incorporação da transglutaminase microbiana a 2% associada a um processo de extrusão superior a dez minutos resultou em uma massa com características satisfatórias do ponto de vista dos parâmetros estudados. Sugere-se prosseguir com estudo com a caracterização físico-química, nutricional e sensorial das massas glúten-free.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aaron, L., & Torsten, M. (2019). Microbial transglutaminase: A new potential player in celiac disease. **Clinical Immunology**, 199, 37-43.
- Ajila, C. M., Aalami, M., Leelavathi, K., & Rao, U. P. (2010). Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 11(1), 219-224.
- Altamirano-Fortoul, R., & Rosell, C. M. (2011). Physico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. **LWT-Food Science and Technology**, 44(3), 631-636.
- American Association Of Cereal Chemists - **AACC**. Approved Methods of Analysis. 11th ed. St. Paul: AACC (2011) 16-50
- American Association Of Cereal Chemists - **AACC**. Approved Methods of Analysis. 11th ed. St. Paul: AACC (2011) 66-50
- Amirdivani, S., Khorshidian, N., Fidelis, M., Granato, D., Koushki, M. R., Mohammadi, M., Khoshtinat, K., Mortazavian, A. M. (2018). Effects of transglutaminase on health properties of food products. **Current Opinion in Food Science**, 22, 74–80.
- Arufe, S., Sineiro, J., & Moreira, R. (2019). Determination of thermal transitions of gluten-free chestnut flour doughs enriched with brown seaweed powders and antioxidant properties of baked cookies. **Heliyon**, 5(6), e01805.
- Barros, S. K. A., de Souza, A. R. M., Silva, F. S., Pires, C. R. F., Damiani, C., Silveira, M. F. A., & Silva, C. R. E. (2021). Elaboração de massa alimentícia fresca sem glúten enriquecida com farinha de resíduo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Research, Society and Development**, 10(6), e1810613722-e1810613722.
- Bhargava, A., & Srivastava, S. (2013). Quinoa: Botany, production and uses. CABI.
- Bitencourt, C., Dutra, F. L. G., Pinto, V. Z., Helbig, E., & Borges, L. R. (2014). Elaboração de bolos enriquecidos com semente de abóbora: avaliação química, física e sensorial. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 32(1).
- Bouasla, A., Wójtowicz, A., & Zidoune, M. N. (2017). Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure. **LWT- Food Science and Technology**, 75, 569–577.
- Bouasla, A., Wójtowicz, A., Zidoune, M. N., Olech, M., Nowak, R., Mitrus, M., & Oniszczyk, A. (2016). Gluten-Free Precooked Rice-Yellow Pea Pasta: Effect of Extrusion-Cooking Conditions on Phenolic Acids Composition, Selected Properties and Microstructure. **Journal of Food Science**, 81(5), C1070–C1079.
- Braydson J. A. (1989). *Plastic Materilas*, 5th edition , Ed. Butter Wort Heinemann.
- Bruneel, C., Pareyt, B., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2010). The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products. **Food Chemistry**, 120, 371-378.
- Bule, M., Khan, F., & Niaz, K. (2019). Red Yeast Rice (*Monascus purpureus*). **Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements** (pp. 509–515).

- Calvarro, J., Perez-Palacios, T., & Ruiz, J. (2016). Modification of gelatin functionality for culinary applications by using transglutaminase. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 5-6, 27–32.
- Canevarolo Jr, S. V. (2002). *Ciência dos polímeros*. Artiliber editora, São Paulo, 110-115.
- Carr, L. G., & Tadini, C. C. (2003). Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. *LWT-Food Science and Technology*, 36(6), 609-614.
- Ceresino, E. B., de Melo, R. R., Kuktaite, R., Hedenqvist, M. S., Zucchi, T. D., Johansson, E., & Sato, H. H. (2018). Transglutaminase from newly isolated *Streptomyces* sp. CBMAI 1617: Production optimization, characterization and evaluation in wheat protein and dough systems. *Food Chemistry*, 241, 403–410.
- Ceyhun Sezgin, A., & Sanlier, N. (2019). A New Generation Plant For The Conventional Cuisine: Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Trends in Food Science & Technology*, 86, 51-58.
- Chambers IV, E., Jenkins, A., & Mertz Garcia, J. (2017). Sensory texture analysis of thickened liquids during ingestion. *Journal of texture studies*, 48(6), 518-529.
- Chusak, C., Chanbunyawat, P., Chumnumduang, P., Chantarasinlapin, P., Suantawee, T., & Adisakwattana, S. (2019). Effect of gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) powder on in vitro starch digestibility, nutritional quality, textural and sensory characteristics of pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 108856.
- da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., & Ascheri, D. P. R. (2016). Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 698-706.
- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 226-240.
- Das, A. B., & Bhattacharya, S. (2019). Characterization of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. *LWT-Food Science and Technology*, 102, 197-204.
- de Almeida, R. L., Santos, N. C., dos Santos Pereira, T., de Alcântara Silva, V. M., de Alcântara Ribeiro, V. H., Silva, L. N., ... & Lima, S. E. R. (2020). Composição físico-químicas de cookies adicionados de resíduos do arroz vermelho. *Research, Society and Development*, 9(1), e151911852-e151911852.
- de Souza Oliveira, D., Leite, N. D., dos Santos, P. A., & Egea, M. B. (2018). Farinha de arroz e berinjela em massa alimentícia: propriedades químicas e físicas. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 25(1), 65-75.
- Deng, G.-F., Xu, X.-R., Zhang, y., Li, D. , Gan, R.-Y., Li, H.-B. (2013). Phenolic Compounds and Bioactivities of Pigmented Rice. *Food Science and Nutrition*, 53:3, 296-306.
- Dexter, J. E., Matsuo, R. R., & Morgan, B. C. (1981). High temperature drying: Effect on spaghetti properties. *Journal of Food Science*, 46(6), 1741-1746.

- Dieli-Crimi, R., Cénit, M. C., & Nunez, C. (2015). The genetics of celiac disease: A comprehensive review of clinical implications. **Journal of autoimmunity**, 64, 26-41.
- Ding, J., Ulanov, A. V., Dong, M., Yang, T., Nemzer, B. V., Xiong, S., Zhao, S., Feng, H. (2018). Enhancement of gamma-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication. **Ultrasonics Sonochemistry**, 40, 791–797.
- Elli, L., Branchi, F., Tomba, C., Villalta, D., Norsa, L., Ferretti, F., Roncoroni, L., Bardella, M. T. (2015). Diagnosis of gluten related disorders: Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. **World Journal of Gastroenterology**, 21(23), 7110–7119.
- Fellows, P. J. (2009). Food processing technology: principles and practice. Elsevier.
- Fernandes, M. D. S., Sehn, G. A. R., Leoro, M. G. V., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Effect of adding unconventional raw materials on the technological properties of rice fresh pasta. **Food Science and Technology**, 33, 257-264.
- Finocchiaro, F., Ferrari, B., Gianinetti, A., Dall'Asta, C., Galaverna, G., Scazzina, F., & Pellegrini, N. (2007). Characterization of antioxidant compounds of red and white rice and changes in total antioxidant capacity during processing. **Molecular Nutrition & Food Research**, 51(8), 1006–1019.
- Fogagnoli, G., & Seravalli, E. A. G. (2014). Aplicação de farinha de casca de maracujá em massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**, 17, 204-212.
- Fois, S., Piu, P. P., Sanna, M., Roggio, T., & Catzeddu, P. (2018). Starch digestibility and properties of fresh pasta made with semolina-based liquid sourdough. **LWT- Food Science and Technology**, 89, 496-502.
- Fradinho, P., Niccolai, A., Soares, R., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R., ... & Raymundo, A. (2020). Effect of *Arthrospira platensis* (spirulina) incorporation on the rheological and bioactive properties of gluten-free fresh pasta. **Algal Research**, 45, 101743.
- Galloway, G. I., Biliaderis, C. G., & Stanley, D. W. (1989). Properties and structure of amylose-glycerol monostearate complexes formed in solution or on extrusion of wheat flour. **Journal of Food Science**, 54(4), 950-957.
- García, M. E., Varela, R. O., Reyes, N. J. F., Prado, F. E., González, J. A. (2011). Análisis exploratorio de características morfológicas del polen de 15 variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) aplicando componentes principales. **Lilloa**, 48 (1), 11–16.
- Gaspar, A. L. C., & de Góes-Favoni, S. P. (2015). Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. **Food Chemistry**, 171, 315–322.
- Gentile, V., Violante, V., D'Amico, B., Illiano, M., Luongo, A. (2002) Tissue transglutaminase and coeliac disease pathogenesis: potential molecular mechanisms for other human diseases. **Neurochemistry International**, 40, 79–83.
- Gharibzadeh, S. M. T., Roohinejad, S., George, S., Barba, F. J., Greiner, R., Barbosa-Cánovas, G. V., & Mallikarjunan, K. (2018). Innovative food processing technologies on the transglutaminase functionality in protein-based food products: Trends, opportunities and drawbacks. **Trends in Food Science & Technology**, 75, 194-205.

- Guerreiro, L. (2006). *Massas alimentícias*. Redetec, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gunaratne, A., Wu, K., Li, D., Bentota, A., Corke, H., & Cai, Y.-Z. (2013). Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. **Food Chemistry**, 138(2-3), 1153-1161.
- Gutiérrez, T. J. (2018). Plantain flours as potential raw materials for the development of gluten-free functional foods. **Carbohydrate Polymers**, 202, 265-279.
- Hsieh, K. T., & Rajamani, R. K. (1991). Mathematical model of the hydrocyclone based on physics of fluid flow. **AIChE Journal**, 37(5), 735-746.
- Hummel, C. (1996). *Macaroni products: Manufacture processing and packing*. (2nd ed.). **London: Food Trade**, (pp. 287).
- Joye, I. J., Lagrain, B., & Delcour, J. A. (2009). Use of chemical redox agents and exogenous enzymes to modify the protein network during breadmaking – A review. **Journal of Cereal Science**, 50(1), 11–21.
- Kahraman, G., Harsa, S., Lucisano, M., & Cappa, C. (2018). Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours. **LWT - Food Science and Technology**.
- Kill, R. C., & Turnbull, K. C. (2001). *Tecnología de la elaboración de pastas y sémola* (No. 664.69 K554t Ej. 1 018577). Editorial Acirbia.
- Kosović, I., Jukić, M., Jozinović, A., Ačkar, Đ., & Komlenić, D. K. (2016). Influence of chestnut flour addition on quality characteristics of pasta made on extruder and minipress. **Czech journal of food sciences**, 34(2), 166-172.
- Kowalski, R. J., Li, C., & Ganjyal, G. M. (2018). Optimizing twin-screw food extrusion processing through regression modeling and genetic algorithms. **Journal of Food Engineering**, 234, 50–56.
- Krupa-Kozak, U. (2014). Pathologic bone alterations in celiac disease: Etiology, epidemiology, and treatment. **Nutrition**, 30(1), 16–24.
- Kumazawa, Y., Ohtsuka, T., Seguro, K., Nio N. (2001). *Development and Application of Microbial Transglutaminase*. **Food Research & Development Laboratories**, Ajinomoto Co., Inc. 1-1 Suzuki-cho, Kawasaki-shi, Kanagawa 210, Japan.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., & Califano, A. (2016). Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. **LWT- Food Science and Technology**, 70, 96-103.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**, 79(3), 1033–1047.
- Leite, N. D., Oliveira, D. D. S., dos Santos, P. A., & Egea, M. B. (2018). Rice and eggplant flours in pasta: chemical and physical properties. **Segurança Alimentar e Nutricional**, 25(1), 65-75.
- Leszczyńska, J., Łacka, A., & Bryszewska, M. (2006). The use of transglutaminase in the reduction of immunoreactivity of wheat flour. **Food and agricultural immunology**, 17(2), 105-113.

- Lima, T. D. S. (2016). Desenvolvimento e análise de biscoito sem glúten com farinha de inhame enriquecido com farinha de semente de uva. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação). Universidade Federal da Paraíba.
- Littardi, P., Paciulli, M., Carini, E., Rinaldi, M., Rodolfi, M., & Chiavaro, E. (2020). Quality evaluation of chestnut flour addition on fresh pasta. **LWT - Food Science and Technology**, 109303.
- Liu, L., Wen, W., Zhang, R., Wei, Z., Deng, Y., Xiao, J., & Zhang, M. (2017). Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran. **Food Chemistry**, 214, 1-8.
- Liu, M.; Li, X. Q.; Weber, C.; Lee, C. Y.; Brown, J.; Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. **J. Agric. Food Chem.** v. 50, 2926–2930.
- Lu, Y., Weng, L., & Cao, X. (2005). Biocomposites of plasticized starch reinforced with cellulose crystallites from cottonseed linter. **Macromolecular Bioscience**, 5(11), 1101-1107.
- Lucisano, M., Cappa, C., Fongaro, L., & Mariotti, M. (2012). Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behaviour. **Journal of Cereal Science**, 56(3), 667-675.
- Ludvigsson, J. F., Card, T., Ciclitira, P. J., Swift, G. L., Nasr, I., Sanders, D. S., & Ciacci, C. (2014). Support for patients with celiac disease: A literature review. **United European Gastroenterology Journal**, 3(2), 146–159.
- Macedo, J. A., Sato, H. H. (2005). Propriedades e aplicações da transglutaminase microbiana em alimentos. **Alimentos e Nutricao Araraquara**, 16 (4), 413-419.
- Mad, T., Sterk, H., Mittelbach, M., & Rechberger, G. N. (2006). Tandem mass spectrometric analysis of a complex triterpene saponin mixture of *Chenopodium quinoa*. **Journal of the American Society for Mass Spectrometry**, 17(6), 795–806.
- Marti, A., Caramanico, R., Bottega, G., & Pagani, M. A. (2013). Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. **LWT-Food Science and Technology**, 54(1), 229-235.
- Marti, A., Seetharaman, K., & Pagani, M. A. (2010). Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. **Journal of Cereal Science**, 52(3), 404-409.
- Martin, C., Morel, M. H., Reau, A., & Cuq, B. (2019). Kinetics of gluten protein-insolubilisation during pasta processing: Decoupling between time-and temperature-dependent effects. **Journal of Cereal Science**, 88, 103-109.
- Martin, C., Morel, M.-H., Reau, A., & Cuq, B. (2019). Kinetics of gluten protein-insolubilisation during pasta processing: Decoupling between time- and temperature-dependent effects. **Journal of Cereal Science**, 88, 103–109. doi:10.1016/j.jcs.2019.05.014
- Matthias, T., Jeremias, P., Neidhöfer, S., & Lerner, A. (2016). The industrial food additive, microbial transglutaminase, mimics tissue transglutaminase and is immunogenic in celiac disease patients. **Autoimmunity Reviews**, 15(12), 1111–1119.

- Matthias, T., Jeremias, P., Neidhöfer, S., & Lerner, A. (2016). The industrial food additive, microbial transglutaminase, mimics tissue transglutaminase and is immunogenic in celiac disease patients. **Autoimmunity Reviews**, 15(12), 1111–1119. doi:10.1016/j.autrev.2016.09.011
- Merayo, Y. A., González, R. J., Drago, S. R., Torres, R. L., & De Greef, D. M. (2011). Extrusion conditions and zea mays endosperm hardness affecting gluten-free spaghetti quality. **International journal of food science & technology**, 46(11), 2321-2328.
- Meza, S. L. R. (2015). Características químicas, tecnológicas e sensoriais de extrusados expandidos a partir de arroz pigmentado (**Doctoral**, Universidade de São Paulo).
- Mir, S. A., Bosco, S. J. D., Shah, M. A., Mir, M. M., & Sunooj, K. V. (2016). Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 10(1), 177-184.
- Montemurro, M., Pontonio, E., & Rizzello, C. G. (2019). Quinoa Flour as an Ingredient to Enhance the Nutritional and Functional Features of Cereal-Based Foods. **Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention**, 453–464.
- Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? **Food Microbiology**, 26(7), 676–684.
- Multari, S., Marsol-Vall, A., Keskitalo, M., Yang, B., & Suomela, J. P. (2018). Effects of different drying temperatures on the content of phenolic compounds and carotenoids in quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) from Finland. **Journal of Food Composition and Analysis**, 72, 75-82.
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of Cereal Science**, 69, 371–376.
- Nguyen S. N., Tu Ngo T. C., Tra Tran T. T., Nguyet Ton N. M. & Man Le V. V. (2020). Pasta from cellulase-treated wheat bran and durum semolina: Effects of vital gluten addition and/or transglutaminase treatment. **Food Bioscience**.
- Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., ... Roohinejad, S. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. **Food Control**, 79, 62–73.
- Nocente, F., Taddei, F., Galassi, E., & Gazza, L. (2019). Upcycling of brewers' spent grain by production of dry pasta with higher nutritional potential. **LWT - Food Science and Technology**, 114, 108421.
- Nonaka, M., Tanaka, H., Okiyama, A., Motoki, M., Ando, H., Umeda, K., & Matsuura, A. (1989). Polymerization of Several Proteins by Ca²⁺-Independent Transglutaminase Derived from Microorganisms. **Agricultural and Biological Chemistry**, 53(10), 2619–2623.
- O'Shea, N., Rößle, C., Arendt, E., & Gallagher, E. (2015). Modelling the effects of orange pomace using response surface design for gluten-free bread baking. **Food Chemistry**, 166, 223–230.
- Oliveira, A. M. A. S. (2019). Desenvolvimento e caracterização de massas alimentícias isentas de glúten enriquecidas com *Laminaria ochroleuca* e casca de batata (**Doctoral**, ISA).

- Ozrenk, E. (2006). The use of transglutaminase in dairy products. **International Journal of Dairy Technology**, 59(1), 1–7.
- Paciulli, M., Rinaldi, M., Cavazza, A., Ganino, T., Rodolfi, M., Chiancone, B., & Chiavaro, E. (2018). Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and oxidative stability of gluten-free biscuits during storage. **LWT - Food Science and Technology**.
- Paiva, F. F., Vanier, N. L., Berrios, J. D. J., Pinto, V. Z., Wood, D., Williams, T., ... Elias, M. C. (2016). Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, 191, 105–112.
- Pasternack, R., Dorsch, S., Otterbach, J. T., Robenek, I. R., Wolf, S., & Fuchsbauer, H. L. (1998). Bacterial pro-transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*: Purification, characterisation and sequence of the zymogen. **European Journal of Biochemistry**, 257(3), 570-576.
- Patel, M. K., Mishra, A., & Jha, B. (2016). Non-targeted Metabolite Profiling and Scavenging Activity Unveil the Nutraceutical Potential of Psyllium (*Plantago ovata* Forsk). **Frontiers in Plant Science**, 7.
- Patiño-Rodríguez, O., Agama-Acevedo, E., Pacheco-Vargas, G., Alvarez-Ramirez, J., & Bello-Pérez, L. A. (2019). Physicochemical, microstructural and digestibility analysis of gluten-free spaghetti of whole unripe plantain flour. **Food Chemistry**, 125085.
- Paucar-Menacho, L. M., Silva, L. H. D., Barretto, P. A. D. A., Mazal, G., Fakhouri, F. M., Steel, C. J., & Collares-Queiroz, F. P. (2008). Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Food Science and Technology**, 28, 767-778.
- Pereira, E., Cadavez, V., Barros, L., Encina-Zelada, C., Stojković, D., Sokovic, M., Ferreira, I. C. F. R. (2020). Chenopodium quinoa Willd. (quinoa) grains: A good source of phenolic compounds. **Food Research International**, 137, 109574.
- Peressini, D., Cavarape, A., Brennan, M. A., Gao, J., & Brennan, C. S. (2019). Viscoelastic Properties of Durum Wheat Doughs Enriched With Soluble Dietary Fibres In Relation To Pasta-Making Performance And Glycaemic Response Of Spaghetti. **Food Hydrocolloids**, 105613.
- Peron, B. C. (2015). Desenvolvimento de massa alimentícia sem glúten com adição de *Spirulina platensis* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., Homthawornchoo, W., & Rawdkuen, S. (2017). Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. **LWT - Food Science and Technology**, 80, 378–385.
- Polari, I. D. L. B. (2017). Avaliação do potencial nutricional e antioxidante de variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.).
- Pongpichaiudom, A., & Songsermpong, S. (2018). Characterization of frying, microwave-drying, infrared-drying, and hot-air drying on protein-enriched, instant noodle microstructure, and qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, 42(3), e13560.

- Rao, M. A., & Cooley, H. J. (1993). Dynamic rheological measurement of structure development in high-methoxyl pectin/fructose gels. **Journal of Food Science**, 58(4), 876-879.
- Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2007). A new insight into the gelatinization process of native starches. **Carbohydrate polymers**, 67(4), 511-529.
- Resende, P. V. G., Silva, N. L. de M., Schettino, G. C. M., Liu, P. M. F. (2017). Gluten related disorders. **Revista Médica de Minas Gerais**, 27 (3), S51-S58.
- Resmini, P., & Pagani, M. A. (1983). Ultrastructure Studies of Pasta. A Review. **Food Structure**, 2(1), 2.
- Rico, D., Ronda, F., Villanueva, M., Perez Montero, C., & Martin-Diana, A. B. (2019). Development of healthy gluten-free crackers from white and brown tef (*Eragrostis tef* Zucc.) flours. **Heliyon**, 5(10), e02598.
- Rinaldi, M., Paciulli, M., Dall'Asta, C., Cirilini, M., & Chiavaro, E. (2015). Short-term storage evaluation of quality and antioxidant capacity in chestnut–wheat bread. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95(1), 59-65.
- Romero, H. M., & Zhang, Y. (2019). Physicochemical properties and rheological behavior of flours and starches from four bean varieties for gluten-free pasta formulation. **Journal of Agriculture and Food Research**, 1, 100001.
- Samyot, D., Das, A. B., & Deka, S. C. (2017). Pigmented rice a potential source of bioactive compounds: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, 52(5), 1073–1081.
- Schmiele, M., Jaekel, L. Z., Ishida, P. M. G., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2013). Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. **Ciência Rural**, 43, 908-914.
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. **Plant foods for human nutrition**, 65(4), 339-349.
- Seetapan, N., Limpanyoon, N., Yooberg, R., Leelawat, B., & Charunuch, C. (2019). Influence of addition of extruded rice flour on preparation and quality of fresh gluten-free yellow alkaline noodles. **Journal of Cereal Science**, 90, 102828.
- Severini, C., De Pilli, T., Derossi, A., & Giuliani, R. (2015). Effects of drying processing conditions on the quality of uncooked and cooked pasta made up of nonconventional raw material. **Cereal Chemistry**, 92(4), 350-357.
- Sezgin, A. C., & Sanlier, N. (2019). A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Trends in Food Science & Technology**, 86, 51-58.
- Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z., & Beta, T. (2018). Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. **Food Chemistry**, 239, 733–741.
- Shiozawa, S., Prestes, L. E. L., de Souza, R. D. S., & Bezerra, V. V. A. (2021). Produção e caracterização de massas alimentícias com substituição parcial da semolina de trigo

durum por farinha de feijão fradinho e de arroz. **FTT Journal of Engineering and Business**, 1(6).

Silva, M. L. T., Brinques, G. B., & Gurak, P. D. (2019). Utilização de farinha de subproduto de brotos para elaboração de massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**, 22.

Sivaramakrishnan, H. P., Senge, B., & Chattopadhyay, P. K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal of Food Engineering**, 62(1), 37-45.

Sousa, I. (2001). A reologia dos produtos alimentares. Reologia e suas aplicações industriais, 131-158.

Sozer, N., Dalgıç, A. C., & Kaya, A. (2007). Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, 81(2), 476-484.

Spehar, C. R. (2006). Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 23 (1), 41-62. Brasília – DF.

Spehar, C. R.; Santos, R. L. B. (2002). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BRS Piabiru: Alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37 (6), 889-893. Brasília - DF

Spehar, C. R.; Santos, R. L. B.; Nasser, L. C. (2003). Diferenças entre *Chenopodium quinoa* e a planta daninha *Chenopodium album*. **Planta Daninha**, 22, 126-130. Viçosa.

Suliman, A. A., Zhu, K.-X., Peng, W., Hassan, H. A., Obadi, M., Siddeeg, A., & Zhou, H.-M. (2019). Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuits supplemented with fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flour. **Food Chemistry**, 271, 193–203.

Surasani, V. K. R., Singh, A., Gupta, A., & Sharma, S. (2019). Functionality and cooking characteristics of pasta supplemented with protein isolate from pangas processing waste. **LWT-Food Science and Technology**, 111, 443-448.

Susanna, S., & Prabhasankar, P. (2013). A study on gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. **LWT - Food Science and Technology**, 50, 613-621.

Väkeväinen, K., Ludena-Urquiza, F., Korkala, E., Lapveteläinen, A., Peräniemi, S., von Wright, A., & Plumed-Ferrer, C. (2019). Potential of quinoa in the development of fermented spoonable vegan products. **LWT - Food Science and Technology**, 108912.

Valdez-Arana, J.-C., Eugenia Steffolani, M., Repo-Carrasco-Valencia, R., Teresa Pérez, G., & Condezo-Hoyos, L. (2019). Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. **International Journal of Biological Macromolecules**.

Vargas, C. G., Costa, T. M. H., Rios, A. de O., & Flôres, S. H. (2017). Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. **Food Hydrocolloids**, 65, 96–106. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.11.006

Vieira, T. D. S., Freitas, F. V., Silva, L. A. A., Barbosa, W. M., & Silva, E. M. M. D. (2015). Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, 18, 285-292.

Wang, X., Zhao, R., & Yuan, W. (2020). Composition and secondary structure of proteins isolated from six different quinoa varieties from China. **Journal of Cereal Science**, 103036.

Wani, A. A.; Singh, P.; Shah, M. A.; Schweiggert-weisz, U.; GUL, K.; Wani, I. A. Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 5, p. 417-436, 2012.

Xue, W., Zhang, C., Wang, K., Guang, M., Chen, Z., Lu, H. & Wang, L. (2021). Understanding the deterioration of fresh brown rice noodles from the macro and micro perspectives. **Food Chemistry**, 342, 128321.

Yu, L.; Nanguet, A-L.; Beta, T. Comparison of Antioxidant Properties of Refined and Whole Wheat Flour and Bread. **Antioxidants**, n. 2, p. 370-383, 2013.