

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

Viviane Vaz Oleiro Durante

**Propriedades de formação de massa de pão elaborado com
incorporação de tegumento de soja e composto fibroso de
mandioca em farinha de trigo de grão inteiro**

Passo Fundo
2020

Viviane Vaz Oleiro Durante
(Engenheira de Alimentos)

**Propriedades de formação de massa de pão elaborado com
incorporação de tegumento de soja e composto fibroso de
mandioca em farinha de trigo de grão inteiro**

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção
do título de Mestra em Ciência e Tecnologia de
Alimentos.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Telma Elita Bertolin

Coorientador: Dr^a Bárbara Biduski

Linha de pesquisa: Qualidade e propriedades
funcionais de alimentos

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

D951p Durante, Viviane Vaz Oleiro
Propriedades de formação de massa de pão elaborado com incorporação de tegumento de soja e composto fibroso de mandioca em farinha de trigo de grão inteiro [recurso eletrônico] / Viviane Vaz Oleiro Durante. – 2020.
4.5 MB ; PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Telma Elita Bertolin.
Coorientadora: Profa. Dra. Bárbara Biduski.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Farinha de trigo. 2. Reologia. 3. Panificação. 4. Glúten.
5. Fibras na nutrição humana. I. Bertolin, Telma Elita, orientadora. II. Biduski, Bárbara, coorientadora. III. Título.

CDU: 664.65

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**Propriedades de formação de massa de pão elaborado com incorporação de tegumento
de soja e composto de mandioca em farinha de trigo de grão inteiro**

Elaborada por
Viviane Vaz Oleiro Durante

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Comissão Examinadora

**Telma Elita Bertolin, Dra., UPF
(Orientadora/Presidente)**

**Bárbara Biduski, Dra., UPF
(Coorientadora)**

Marcelo Hemkemeier, Dr., UPF

Vania Zanella Pinto, Dra., UFFS

**Passo Fundo, RS, Brasil
2020**

À minha família, dedico.

Agradecimentos

Aos professores Dr. Luiz Carlos Gutkoski e Dr^a. Telma Elita Bertolin agradeço pela orientação científica no trabalho que me proporcionou crescimento pessoal e profissional.

À Dr^a. Bárbara Biduski, minha coorientadora, agora minha amiga. Levo um pouco dessa pequena sábia comigo! Obrigada pelos “pousos” e infinitas caronas. Te admiro e te adoro querida!

À minha querida Tania Santetti agradeço por todo auxílio no laboratório e por tornar minha caminhada mais leve através das tuas conversas e conselhos. Te adoro e te levo no meu coração!

Às minhas mais novas amigas de infância Joseane Bressiani e Gabriela Santetti, sou muito grata pela valorosa ajuda no meu trabalho e pelas risadas e brincadeiras que deixaram a vida mais doce!

Aos queridos bolsistas Lúcia Cavalett, Ana Mattana, Ediane Centofante e Henrique Morais, obrigada pela ajuda nas análises, pela paciência e pela boa convivência nesse tempo.

Aos funcionários do CEPA (Centro de Pesquisa em Alimentação) Rubian, Andressa, Camila, Nadir e Jonas. Sou grata pela ajuda na execução do trabalho e pela amizade que levo comigo.

Aos professores Dr^a. Aline Dettmer e Dr. Marcelo Hemkemeier agradeço por todas as orientações fornecidas nas bancas e no decorrer do trabalho. Sou grata pela dedicação e paciência que tiveram comigo. Levo vocês no meu coração!

À professora Dr^a. Vânia Pinto pelas valiosas contribuições realizadas na etapa final deste trabalho.

À coordenadora do PPGCTA Dra. Luciane Colla, além da admiração, agradeço pela amizade, ajuda e conselhos nesse tempo. Aos demais professores do curso Dr. Christian Reinehr, Dr. Jeferson Piccin, Dr. Vandrê Brião, Dr^a. Laura Rodrigues pelas valorosas aulas e orientações oferecidas.

Às secretárias da pós-graduação Danieli e Patricia, agradeço pela dedicação e carinho ao longo da caminhada

Aos colegas da turma 2018/1 Aline, Angela, Jonatam, Juliana, Lariane, Rodrigo e Sandrini, grata pela parceria, amizade e pelos animados almoços de quinta-feira. Às colegas Daiane, Mariele, Bianca e Rosemeri pela proximidade e amizade no decorrer do trabalho. Vou sentir saudades!

À minha parceira e amiga Paola. Obrigada por me ouvir e me ajudar tantas vezes. Sou grata por nossas conversas que duravam até 1h da madrugada com muita leveza e parceria, te adoro!

Aos colegas do “LABIO” Samuel Lopes, Julia Gutkoski e Lara Franco agradeço pela ajuda fundamental no final da minha caminhada. Levo comigo nossos momentos de risadas!

À minha amiga de tantos anos Tatiana Cauduro, obrigada por me fazer o melhor convite dos últimos tempos: “ - Quer fazer mestrado? ” Te adoro!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) agradeço pela concessão da bolsa de mestrado.

Às empresas que gentilmente doaram as matérias-primas para o trabalho. Fibervita pelo fornecimento da Lc106, Biotrigo por ceder o trigo e BSBios por fornecer a casca de soja.

À secretaria de saúde de São Domingos do Sul através do secretário Gilmar Tasca que me concedeu transporte para que pudesse estudar. À Bruna que me auxiliava no agendamento e aos motoristas Gilberto, Altemir, Valcir e Célio pela educação, prudência e atenção comigo. Grata!

À minha família de São Domingos do Sul, Marina Oro, Alice Ferro, Carmem Durante e Michele Durante pela ajuda nos cuidados com minhas pequenas. Não tenho como agradecer!

Aos meus pais Paulo e Carmem pelos ensinamentos e paciência no momento em que as visitas ficaram mais escassas. Vocês sempre serão parte importante da minha formação. Amo vocês!

Aos meus sogros Ivo e Helena por cuidarem do meu bem mais precioso, minhas filhas. Obrigada pelo carinho e cuidado com elas. Eu adoro ver o quanto elas amam vocês! Obrigada eternamente!

Ao meu marido Andrei pela parceria, amor e paciência nesse período e em toda nossa vida. Obrigada por cuidar de mim e por ser meu principal incentivador nessa caminhada para o título. Te amo!

Às minhas filhas, Laura e Paula por serem minha base e por me lembrarem todo dia, com seus sorrisos, como a vida vale a pena! Obrigada Laura por cuidar da mana com amor e dedicação. Amo vocês infinitamente!!

A Deus, pela vida.

Eternamente grata!!

“ Um passo de cada vez é o mais rápido
que se é possível caminhar. ”

Luis Henrique de Oliveira

RESUMO

O consumo da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) está crescendo no mercado e na aceitação do consumidor. Isso ocorre devido à busca do consumidor por alimentos mais nutritivos. Para tanto, o desenvolvimento de alimentos funcionais através da adição de ingredientes funcionais nos produtos é uma alternativa interessante. Assim, a inclusão de diversos ingredientes, de forma simultânea, se faz cada vez mais presente nos produtos disponíveis, principalmente os de panificação. Apesar de benéfica para a saúde, a presença dos ingredientes funcionais, principalmente as fibras alimentares, na farinha de trigo interfere na formação da massa alterando as características de produtos de panificação. Estes ingredientes funcionais ocasionam alterações principalmente na formação da massa e o desenvolvimento da rede de glúten. Desta forma, estas propriedades devem ser estudadas para entender a influência das fibras alimentares, de diferentes fontes, na elaboração destes produtos e para que os efeitos que elas originam sejam minimizados. Assim, se objetiva avaliar as propriedades de formação de massa de pão de forma com farinha de trigo de grão inteiro incorporado de tegumento de soja (TS) e composto fibroso de mandioca (CFM) através de um planejamento fatorial 2^2 com duplicata do ponto central. A FTGI foi parcialmente substituída por tegumento de soja (2, 6, 10%) e composto fibroso de mandioca (3, 9, 15%), sendo avaliadas as propriedades reológicas e de hidratação pela metodologia de superfície de resposta e a performance de panificação das misturas pelo teste estatístico de desejabilidade. A inclusão de fibras alimentares acarretou no aumento da estabilidade e na absorção de água da farinha no teste de farinografia e redução na quebra de viscosidade na análise do RVA. O teor dos grupamentos sulfidril livres aumentou com o aumento da substituição da farinha de trigo de grão inteiro e as amostras se mantiveram estáveis termicamente até 200°C na análise termogravimétrica. Os parâmetros relacionados na extensigrafia também apresentaram valores reduzidos com o aumento da proporção de fibras alimentares adicionadas. A presença das fibras alimentares interferiu na correta hidratação das proteínas do glúten afetando a cinética de hidratação e a capacidade de retenção de solventes. As alterações causadas pelo CFM nas propriedades de mistura e de hidratação e na performance de panificação são mais intensas do que as causadas pelo TS. O teste de desejabilidade indicou o ponto central (M9S6 – substituição de 9% de CFM e 6% de TS) como a melhor condição na performance de panificação.

Palavras-chave: farinha integral, panificação, glúten, fibras alimentares, reologia, hidratação, desejabilidade

ABSTRACT

Whole wheat flour (WWF) is growing in the market and consumer acceptance due to the consumer's request for more nutritious foods. Therefore, the development of functional foods by the addition of functional ingredients in products is an interesting alternative. Consequently, the inclusion of several ingredients, simultaneously, is increasingly present in the products available. Although beneficial to health, the presence of those ingredients, especially fibers, in wheat flour interferes in the dough formation, changing the characteristics of bakery products. Based on this, these properties must be studied to understand the influence of fibers from different sources, in the quality of final products and so minimize it. Thus, the objective is to evaluate the dough-forming properties of whole wheat flour incorporated with soybean tegument (ST) and fibrous cassava compound (FCC). Through a factorial design 2^2 with two central points. WWF was partially replaced by soy tegument (2, 6, 10%) and fibrous cassava compound (3, 6, 9%), and rheological and hydration properties evaluated by the response surface methodology and the baking performance by the statistical desirability test. The inclusion of fibers resulted in increased stability and water absorption from the flour and reduced breakdown at RVA. The free sulfhydryl content increased with the increase in the substitution of whole wheat flour and the samples remained thermally stable up to 200°C. The extension analysis also showed reduced values as the proportion of added fibers increased. The presence of fibers interfered the correct hydration of gluten proteins, affecting the kinetics and the solvent retention capacity. The changes caused by FCC in hydration properties and the baking performance are more intense than ST. The desirability test indicated the central point (9% FCC and 6% ST) as the best condition in the baking performance.

Keyword: wholegrain flour, bread making, gluten, fibers, rheology, hydration, desirability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Estrutura do grão do trigo: componentes anatômicos e distribuição dos componentes bioativos.....	33
Figura 2 – Composição média de macronutrientes de produtos de panificação enriquecidos com subprodutos da indústria de alimentos em comparação às formulações controle.	37
Figura 3 - Fluxograma de obtenção da fécula de mandioca	38
Figura 4 - Processo de extração do óleo de soja.....	40
Figura 5 - Formação da rede de glúten, (a) Proteínas da farinha inicialmente emaranhadas; (b) alteração das ligações durante a amassadura; (c) alinhamento das proteínas no fim da amassadura.....	44
Figura 6 – Fluxograma de apresentação das etapas do estudo	47
Figura 7 – Instrumento Enslin-Neff utilizado para avaliação da cinética de hidratação da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	52
Figura 8 – Distribuição do tamanho de partículas da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	57
Figura 9 - Efeito da adição do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) no índice de glúten.....	62
Figura 10 – Grupamentos –SH livres nas misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	63
Figura 11 – Representação gráfica da resposta FT-IR no glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	64
Figura 12 – Análise termogravimétrica do glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	66
Figura 13 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de mistura	69
Figura 14 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de pasta	72
Figura 15 – Representação gráfica do perfil de viscosidade das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	74

Figura 16 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na análise de perfil de textura	76
Figura 17 - Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nas propriedades extensiográficas das amostras	78
Figura 18 – Comportamento do desenvolvimento da massa e produção/liberação de gás das massas de pão elaborado com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	80
Figura 19 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na capacidade de intumescimento das amostras	82
Figura 20 – Representação gráfica da cinética de absorção da água das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	83
Figura 21 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na capacidade de retenção de solventes das amostras	85
Figura 22 - Pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) substituída parcialmente por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	88
Figura 23 - Volume específico dos pães produzidos com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	90
Figura 24 - Representação dos efeitos estimados das variáveis composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) no volume específico do pão	91
Figura 25 - Representação gráfica das diferenças estatísticas das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nos parâmetros firmeza, mastigabilidade, coesividade e flexibilidade	93
Figura 26 - Representação gráfica das diferenças estatísticas na concentração de fenólicos (mg/g amostra) dos pães elaborados com as misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	95
Figura 27 – Perfil dos valores otimizados e da desejabilidade para as variáveis composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nas respostas volume específico, firmeza, mastigabilidade, atividade de água e compostos fenólicos.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis independentes, níveis do planejamento fatorial 2 ² e codificação utilizada nas amostras.....	48
Tabela 2 – Proporções dos ingredientes utilizadas nas formulações dos pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída pelo composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	53
Tabela 3 - Composição centesimal da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) das misturas elaboradas a partir destas matérias-primas	58
Tabela 4 – Parâmetros de cor da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	60
Tabela 5 - Índice de glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	61
Tabela 6 - Perda de massa do glúten da FTGI parcialmente substituída por CFM e TS nas faixas de temperatura especificadas	67
Tabela 7 - Propriedades de mistura (farinografia) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	68
Tabela 8 - Propriedades de pasta (RVA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	71
Tabela 9 - Análise de perfil de textura (TPA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	74
Tabela 10 - Propriedades extensiométricas das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM), tegumento de soja (TS).....	77
Tabela 11 - Propriedades de fermentação das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	79
Tabela 12 – Capacidade de intumescimento das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	81
Tabela 13 - Capacidade de retenção de solventes das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	84
Tabela 14 - Parâmetros de cor do miolo do pão elaborado com as misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS).....	89

Tabela 15 – Atividade de água dos pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nos tempos de 0, 4 e 7 dias	94
Tabela 16 - Análise do Perfil de textura dos pães integrais parcialmente substituídos por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)	113
Tabela 17 – Estimativa dos efeitos das variáveis CFM e TS nas variáveis respostas	114

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS	31
2.2 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO	32
2.3 SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	35
2.3.1 Subproduto do processamento da indústria de mandioca	37
2.3.2 Subproduto do processamento da soja	39
2.4 PÃO	41
2.4.1 Propriedades de formação da massa.....	42
2.4.2 Formação da rede de glúten.....	43
2.4.3 Propriedades de hidratação da massa	44
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 MATERIAL	47
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	47
3.3 MÉTODOS	48
3.3.1 Obtenção da farinha de trigo de grão inteiro	48
3.3.2 Avaliação físico-química da FTGI, CFM, TS e das misturas	48
3.3.2.1 <i>Composição química</i>	48
3.3.2.2 <i>Tamanho de partícula</i>	49
3.3.2.3 <i>Parâmetro de cor</i>	49
3.3.2.4 <i>Teor de glúten</i>	49
3.3.2.5 <i>Determinação dos grupamentos sulfidril livres</i>	49
3.3.2.6 <i>Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)</i> 50	
3.3.2.7 <i>Análise termogravimétrica</i>	50
3.3.3 Propriedades reológicas da massa	50
3.3.3.1 <i>Reofermentografia – Propriedades de fermentação</i>	50
3.3.3.2 <i>Extensiografia</i>	51
3.3.3.3 <i>Propriedades de mistura da massa</i>	51
3.3.3.4 <i>Propriedades de pasta (RVA) e análise de perfil de textura (TPA)</i>	51
3.3.4 Propriedades de hidratação.....	52
3.3.4.1 <i>Capacidade de intumescimento</i>	52

3.3.4.2	<i>Cinética de absorção</i>	52
3.3.4.3	<i>Capacidade de retenção de solventes (CRS)</i>	53
3.3.5	Performance de Panificação.....	53
3.3.5.1	<i>Elaboração do pão de forma</i>	53
3.3.5.2	<i>Colorimetria</i>	54
3.3.5.3	<i>Volume Específico</i>	54
3.3.5.4	<i>Análise de perfil de textura (TPA)</i>	55
3.3.5.5	<i>Atividade de água (a_w)</i>	55
3.3.5.6	<i>Determinação de compostos fenólicos</i>	55
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DAS MISTURAS	
	57	
4.1.1	Tamanho de partícula.....	57
4.1.2	Composição química.....	58
4.1.3	Colorimetria	59
4.1.4	Teor de glúten	60
4.1.5	Grupamentos sulfidril livres (-SH)	62
4.1.6	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR).....	63
4.1.7	Análise termogravimétrica (TG).....	65
4.2	PROPRIEDADES REOLÓGICAS	67
4.2.1	Propriedades de mistura.....	67
4.2.2	Propriedades de pasta e perfil de textura	70
4.2.3	Extensiografia	76
4.2.4	Reofermentografia	78
4.3	PROPRIEDADES DE HIDRATAÇÃO DA MASSA	81
4.3.1	Capacidade de intumescimento	81
4.3.2	Cinética de absorção	82
4.3.3	Capacidade de retenção de solventes (SRC).....	84
4.4	PERFORMANCE DE PANIFICAÇÃO	87
4.4.1	Avaliação macroscópica	87
4.4.2	Colorimetria.....	88
4.4.3	Volume Específico.....	89

4.4.4 Análise do Perfil de Textura (TPA) dos pães.....	91
4.4.5 Atividade de água (Aw) dos pães.....	94
4.4.6 Compostos Fenólicos	95
4.4.7 Teste estatístico desejabilidade	96
5 CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
APÊNDICE A.....	113
APÊNDICE B: ARTIGO CIENTÍFICO	117

1 INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares humanos estão em um processo de transição devido ao aumento da conscientização crescente do consumidor para alimentos com perfil nutricional mais equilibrado, com benefícios de saúde, metabólicos, fisiológicos e funcionais mais amplos (PANGHAL et al., 2018). Para atender as novas demandas, algumas adaptações das indústrias para produzir alimentos com tal perfil são necessárias e incluem estudos para o aproveitamento dos seus subprodutos. Neste caso, além da produção de alimentos com melhor equilíbrio nutricional e com mais ingredientes funcionais, os impactos ambientais de seus resíduos descartados seriam reduzidos bem como custos operacionais, de forma a agregar valor ao sistema como um todo (BALDISSERA, et al., 2011).

A indústria de alimentos gera uma grande quantidade de resíduos que, na maioria das vezes, são subprodutos de alto valor agregado. Esses subprodutos são fontes promissoras e econômicas de ingredientes funcionais que, quando adicionados à alimentos tradicionais, podem, além de cumprir a função básica de nutrir, promover benefícios à saúde (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017; YANG; XIAO; WANG, 2014). Dentre os ingredientes funcionais, é possível citar, antioxidantes, prébióticos, probióticos, biopeptídeos, vitaminas, esteróis vegetais, minerais e fibras alimentares.

As fibras alimentares, presentes nos subprodutos das indústrias de processamento de soja e mandioca, por exemplo, podem ser classificadas em solúveis e insolúveis e são relacionadas a diferentes funções no organismo humano (BERNAUD; RODRIGUES, 2013). As fibras alimentares solúveis estão associadas com o retardo na absorção de glicose, maior saciedade, diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo e prevenção do câncer de intestino. Enquanto que, as fibras alimentares insolúveis estão relacionadas ao bom funcionamento do intestino (TEBBEN; SHEN; LI, 2018).

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma das principais culturas alimentares em áreas de clima tropical (WANG, et al., 2014; WEI, et al., 2017). A fibra de mandioca é um subproduto proveniente da extração da fécula de mandioca e apresenta alto potencial para o aproveitamento como ingrediente alimentar, devido a sua quantidade de fibras alimentares, que é de aproximadamente 16% (LEONEL, 2001; RODRIGUES, 2011).

Outro subproduto importante na cadeia de alimentos é o tegumento de soja. A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa utilizada para extração de óleo vegetal. Como um dos subprodutos desse processamento, o tegumento, camada externa dos grãos de soja, é rico em

fibras alimentares e capaz de fornecer um bom perfil nutricional e funcional quando adicionados em produtos de panificação.

Dentro do contexto de transição alimentar existe um interesse particular pelos produtos integrais. O consumo de grãos integrais promove efeitos benéficos a saúde devido a ação conjugada de vários componentes como fibra alimentar e compostos fitoquímicos com ação bioativa (LUTHRIA; LU; JOHN MARIA, 2015). No trigo, esses compostos funcionais estão presentes na camada de aleurona e mais externa do grão, porções estas removidas durante a obtenção da farinha refinada. Ocorre, então, um aumento pela procura de produtos elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (SANTOS et al., 2018) como os produtos de panificação.

O pão é o produto de panificação considerado um alimento básico em muitas civilizações e é, até hoje, a base da pirâmide alimentar pelo seu equilíbrio adequado de macronutrientes e possuir alguns micronutrientes e minerais (PREEDY; WATSON; PATEL, 2011). A presença das camadas externas do grão de trigo, ricas em fibras alimentares, no pão podem influenciar nas suas características sensoriais e na formação da rede e glúten (SANTOS et al., 2018).

A rede proteica viscoelástica de glúten é formada pela hidratação e amassamento da massa e é capaz de reter o gás produzido no processo de fermentação (SANTOS et al., 2018; SROAN; MACRITCHIE, 2009). A rede de glúten se forma a partir das ligações dissulfeto que ocorrem entre suas proteínas formadoras, a gliadina e glutenina. As fibras alimentares, quando adicionadas nas formulações, são capazes de criar novas ligações de hidrogênio e novas conformações nas ligações dissulfeto. Ocorre, então, uma agregação anormal das proteínas formadoras do glúten e, conseqüentemente, alterações nas propriedades mecânicas da massa.

O aproveitamento de subprodutos ricos em fibras alimentares para o desenvolvimento dos produtos de panificação está relacionado à quantidade e qualidade destes ingredientes a fim de não descaracterizar os produtos elaborados (VIEIRA et al., 2010). Os principais desafios destes estudos são elevar o valor nutricional e funcional dos produtos conferindo-lhes características sensoriais aceitáveis.

Assim, esse trabalho está inserido na linha de pesquisa “Qualidade e propriedades funcionais de alimentos” do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo e estuda o efeito da adição de subprodutos, ricos em fibras alimentares, nas propriedades de formação da massa de pão. Essa pesquisa é continuidade de estudos já realizados dos efeitos da presença das camadas externas do grão de trigo nas propriedades de formação de massa de produtos de panificação deste departamento de pesquisa.

O objetivo geral deste trabalho é investigar a influência da adição do composto fibroso de mandioca e do tegumento da soja nas propriedades de formação de massa e nas características de pão de forma elaborado com farinha de trigo de grão inteiro.

Os objetivos específicos são: (a) caracterizar a farinha de trigo de grão inteiro; (b) caracterizar o tegumento de soja e o composto fibroso de mandioca; (c) analisar a reologia e as propriedades de formação da massa; (d) avaliar as propriedades de hidratação e (e) avaliar a performance de panificação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS

A Resolução nº 19 de 1999 da ANVISA esclarece que alimentos funcionais estão associados ao papel metabólico ou fisiológico de um nutriente ou um não-nutriente, relacionadas ao crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções do organismo. Os compostos fisiologicamente ativos, denominados ingredientes funcionais, adicionados aos alimentos são as fibras alimentares, minerais, esteróis vegetais, vitaminas, biopeptídeos, probióticos, prebióticos e antioxidantes (ANVISA, 2018). Um alimento pode ser considerado funcional quando apresenta um ou mais efeitos benéficos no organismo humano além do efeito nutricional (BALDISSERA, et al., 2011).

O equilíbrio adequado de fibras na dieta ‘reduz o risco de aparecimento de algumas doenças crônicas nomeadamente doença arterial coronariana (LIU, et al., 1999), acidente vascular cerebral (STEFFEN, et al., 2003), hipertensão arterial (WHELTON, et al., 2005), diabetes (MONTONEN, et al., 2003) e algumas desordens gastrointestinais (PETRUZZIELLO, et al., 2006). Além disso, o aumento na ingestão de fibras melhora os níveis dos lipídeos séricos (WILLIAMS; STROBINO, 2008), reduz os níveis de pressão arterial (WHELTON, et al., 2005), melhora o controle da glicemia, auxilia na redução do peso corporal (BIRKETVEDT, 2005) e ainda atua na melhora do sistema imunológico (WATZL; GIRRBACH; ROLLER, 2005).

Apesar de tantas vantagens, ainda são necessários estudos de obtenção dos ingredientes funcionais bem como adaptação da indústria para a produção dos mesmos. O reaproveitamento de subprodutos da indústria de alimentos fornece fontes promissoras e econômicas de ingredientes funcionais (FÖSTE; VERHEYEN; JEKLE; BECKER, 2020), tais como as fibras alimentares, que podem ser recuperados e adicionados em alimentos tradicionais, entre eles o pão.

No estudo Santos et al., (2018), o pão apresentou elevação do valor nutricional (aumento de fibras alimentares e proteína) quando adicionado farinha de casca e semente de mamão. Os autores observaram, também, boa aceitação sensorial com adição de 3% da farinha dos subprodutos do mamão. Dos Anjos et al., (2017) verificaram que a farinha de semente de abóbora, quando adicionadas em produtos de panificação, melhorou o perfil nutricional e funcional destes produtos além da boa aceitação e intenção de compra na avaliação sensorial.

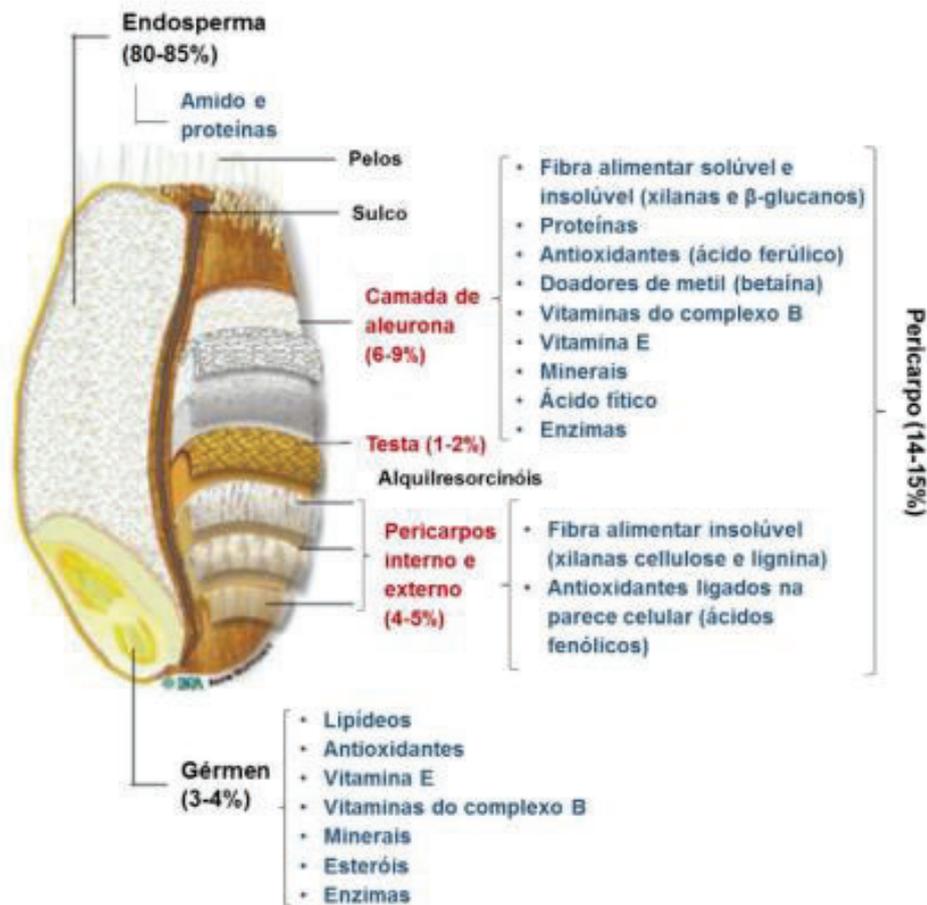
2.2 FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO

O trigo (*Triticum aestivum* L) é uma das culturas mais importantes e cultivadas no mundo, com produção mundial em 2018 de 734 milhões de toneladas (FAO, 2020). Os principais produtores de trigo no mundo são China, Índia, Rússia, Estados Unidos, França e Canadá (FAO, 2020). O Brasil produz aproximadamente 5,5 milhões de toneladas de trigo por ano, com importação anual de aproximadamente 5,8 milhões de toneladas, principalmente da Argentina e Estados Unidos (CONAB, 2018).

A planta de trigo pertence à família Poaceae, a divisão das angiospermas e a classe das monocotiledônea (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001). As diferentes partes do grão de trigo são o pericarpo, tecnologicamente conhecido por farelo, gérmen e endosperma. Na Figura 1, estão apresentados detalhadamente, através de um corte longitudinal, que os constituintes não se distribuem uniformemente pelo grão.

O gérmen fornece os nutrientes necessários para formar uma nova planta, representa de 3% a 4% do grão, e é rico em vitamina E, antioxidantes e outros componentes lipossolúveis. O farelo protege fisicamente a planta e, compreende de 14 a 15%. No organismo humano, as vitaminas, minerais e componentes bioativos presentes nessa parte do grão podem ser liberados, absorvidos ou serem levados ao intestino para agirem no aumento do bolo fecal e no impacto no trânsito intestinal. O endosperma, a maior fração, com um total de 80 a 85% do grão, é fonte de carboidratos e proteínas (ANDERSON, 2004; JONES; ENGLESSION, 2010). Fornece energia para o crescimento da planta e é envolto pela camada de aleurona (JONES; ENGLESSION, 2010). No processo de obtenção da farinha de trigo refinada, o farelo e o gérmen são retirados na etapa de moagem.

Figura 1 -Estrutura do grão do trigo: componentes anatômicos e distribuição dos componentes bioativos



Fonte: adaptado de Anderson (2011)

As proteínas, amido e enzimas, são os constituintes mais importantes no processo de panificação. As gliadinas e gluteninas são as proteínas de maior interesse, pois são responsáveis pela formação da rede de glúten, correspondendo a 80-85% do total de proteína do trigo. As albuminas e globulinas representam apenas 15-20% da proteína do grão (HOSENEY, 1991; SINGH; SINGH; MACRITCHIE, 2011). O amido, com faixa de gelatinização entre 55-72 °C é fonte de carboidratos para o fermento e, juntamente com o glúten, é responsável pela estrutura do miolo (MIRANDA, 2008). As enzimas presentes no grão, como as α -amilase, atuam hidrolisando as moléculas de amido, gerando maltose, glicose e dextrinas. Essa atividade hidrolítica é essencial, pois converte substâncias de reserva, principalmente o amido, em açúcares, utilizados pelas leveduras na etapa de fermentação (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

As camadas externas do grão são ricas em fitoquímicos, fibras alimentares, vitaminas, minerais e antioxidantes. Fitoquímicos são compostos biologicamente ativos presentes em

frutas, legumes, grãos e outros alimentos que, quando ingeridos, proporcionam benefícios à saúde (BOTH, et al., 2019). Os fitoquímicos presentes no trigo são ácido ferúlico, ácido vanílico, ácido p-cumárico e ácido caféico, todos pertencentes ao grupo compostos fenólicos (BOTH et al., 2019).

De acordo com as definições da AACC (2013) e Whole Grains Council (2004), considera-se grãos inteiros ou integrais aqueles que apresentam todos os componentes anatômicos (endosperma, germe e farelo) nas mesmas proporções que na cariopse intacta, na medida do possível pela melhor tecnologia de moagem. Desta forma, grãos integrais devem conter todas as partes e nutrientes dos grãos inteiros em suas proporções originais. Se o grão tiver sido processado, por exemplo, rachado, moído, laminado, e / ou cozido, o produto alimentício deve fornecer o mesmo rico equilíbrio de nutrientes encontrados na semente de grãos original (WHOLE GRAINS COUNCIL, 2004).

No entanto, para a farinha de trigo integral (FTI) a Instrução Normativa nº 08 de 2005, apresenta a seguinte definição:

“Farinha de trigo integral é o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum L.*) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos a partir do processamento completo do grão limpo, contendo ou não o gérmen. ” (BRASIL, 2005)

A elaboração de farinha de trigo integral consiste da mistura de farinha de trigo refinada e de farelo de trigo com ou sem gérmen. Porém, para ser classificada como farinha integral a IN não define a quantidade de cada fração na mistura, apenas que deve apresentar teor máximo de cinzas de 2,5% e teor mínimo de proteínas de 8,0% (BRASIL, 2005). Sendo assim, com qualquer quantidade de farelo adicionada ao produto ele pode ser rotulado como “Integral”. O gérmen, por exemplo pode estar ou não presente, logo, mesmo rotulado como integral, esse produto não garante a mesma funcionalidade da farinha de trigo de grão inteiro (SEHN, 2015).

Com base nisso, surge a farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), a qual apresenta níveis mais altos de vitaminas, minerais, fibras alimentares, antioxidantes, e outros fitoquímicos como carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos quando comparada a farinha de trigo refinada (FTR). Isso acontece, pois, esses compostos, benéficos à saúde, se encontram em maior quantidade nas camadas externas do grão (BRESSIANI, et al., 2017). Por esses benefícios nutricionais a FTGI ganhou atenção nos últimos tempos, na indústria de alimentos e, em

especial, na fabricação de pão (JONNALAGADDA et al., 2011; SLAVIN, 2004; ZHOU; SU; YU, 2004; TEBBEN; SHEN; LI, 2018).

Apesar da FTGI ser uma boa fonte de nutrientes e compostos bioativos, as partes externas do grão de trigo podem alterar a formação e as propriedades da massa de produtos elaborados com essa matéria prima (BRESSIANI et al., 2017). O pão elaborado com FTGI apresenta características diferentes em relação ao feito com farinha de trigo refinada (HEINIÖ et al., 2016). As diferenças de características se referem a diminuição do volume, dureza do miolo, alterações na textura como perda de crocância, alteração da cor, sabor e aromas distintos e podem ser uma barreira na aceitação do consumidor (BRESSIANI, et al., 2017).

Existem várias razões que explicam as diferenças entre os pães fabricados com FTGI e farinha refinada, já que, na primeira existem componentes além do endosperma, como fibras alimentares e proteínas não formadoras do glúten, que podem formar complexos fibras-glúten (NOORT et al., 2010). A diluição da proteína do glúten com a proteína do farelo, a competição pela água e os efeitos físicos das partículas de farelo e fibra alimentar na rede de glúten podem afetar a qualidade e formação da rede de glúten, influenciando negativamente as características sensoriais acarretando em diminuição da aceitabilidade do produto final (HEINIÖ et al., 2016). Além disso, o germe, por conter elevados índices de lipídios apolares, tende a desestabilizar o gás produzido na fermentação, interferindo no volume do pão (PARETY et al., 2011).

2.3 SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Os subprodutos das indústrias de alimentos são excelentes fontes de ingredientes funcionais tais como fibras, minerais, fitoquímicos, entre outros. Os subprodutos vêm de várias origens e, por isso, incluem uma grande quantidade de componentes, tais como: casca, caule, sementes, farelo, caroço, bagaço, etc. (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017). Estes produtos podem ser recuperados e, assim, usados como ingredientes funcionais de elevado valor agregado (HELKAR; SAHOO; PATIL, 2016).

Pesquisas têm sido realizadas para que os subprodutos da indústria retornem ao processo como ingredientes que elevem o valor nutricional de produtos alimentícios. Esse aproveitamento, além de solucionar problemas ambientais, pode agregar valor ao sistema e ampliar a gama de produtos funcionais disponíveis no mercado (SAITO; CABELLO; FUKUSHIMA, 2006).

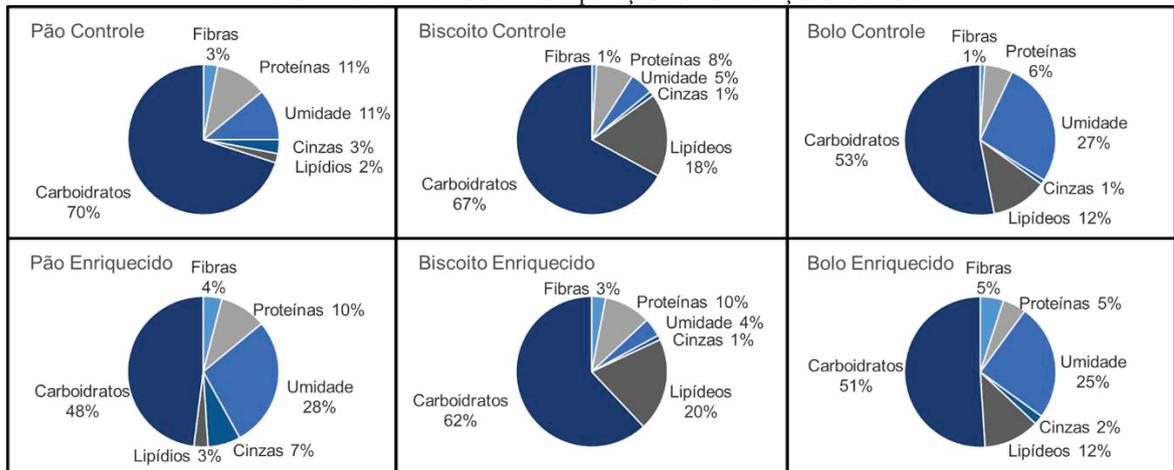
A inserção de ingredientes funcionais oriundos de subprodutos das indústrias de alimentos nos produtos de panificação pode melhorar seu valor nutricional e por consequência,

a saúde de quem consome. No entanto, a adição destes compostos pode influenciar negativamente algumas propriedades tecnológicas e sensoriais do produto final (AL-ATTABI, et al., 2017). Por isso, para que se tenha produtos de panificação competitivos com os tradicionais, é importante balancear e estudar as quantidades e as condições de adição destes subprodutos (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017).

Hemdane et al., (2016); Hemdane et al., (2015) avaliaram a adição dos subprodutos da moagem do trigo na panificação e indicam que, apesar da interferência nas características sensoriais do produto, sua qualidade nutricional é consideravelmente elevada. Santos et al., (2018) apresentaram o reaproveitamento de bagaço de frutas na indústria de panificação e sugerem aumento do valor nutricional destes produtos. Heiniö et al., (2016) mostra um estudo sobre o uso de farelo de cereais em produtos de panificação e aponta que as principais alterações nos produtos são sabor, cor e estrutura da massa. Em todos os casos, os autores sugerem mais pesquisas sobre o aproveitamento de subprodutos da indústria de alimentos por serem excelentes fontes de ingredientes funcionais.

Martins, Pinho e Ferreira (2017) realizaram um estudo de revisão onde mostram a diferença de macronutrientes, em valores médios, nos produtos de panificação adicionados de subprodutos da indústria de alimentos em comparação ao produto tradicional (controle). De maneira geral, a adição de subprodutos nos produtos de panificação favorece os pães em maior proporção do que bolos e biscoitos. Em pães, a adição de subprodutos da indústria de alimentos resultou, principalmente, na diminuição dos carboidratos (70 a 48%) e aumento da umidade (11 a 28%) quando comparados ao controle. A Figura 2 mostra as diferenças de macronutrientes, em valores médios, nos produtos de panificação adicionados de subprodutos da indústria de alimentos em comparação a um produto tradicional (controle).

Figura 2 – Composição média de macronutrientes de produtos de panificação enriquecidos com subprodutos da indústria de alimentos em comparação às formulações controle.



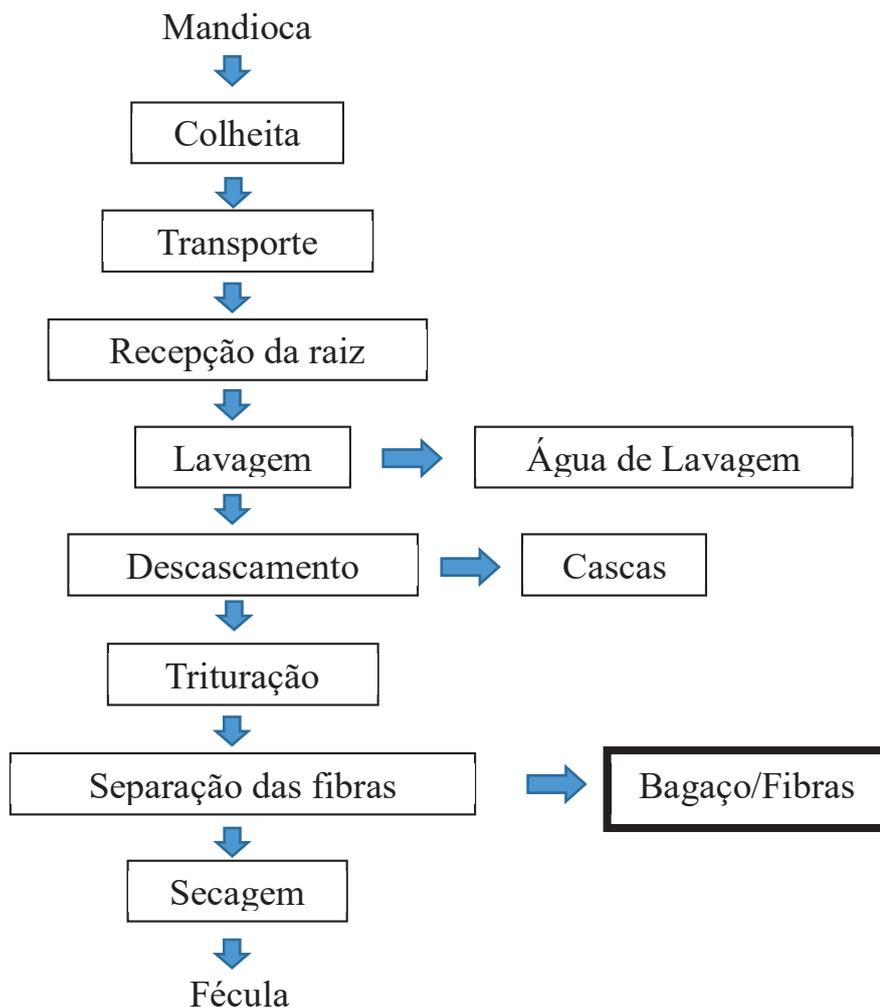
Fonte: Adaptado de Martins; Pinho; Ferreira (2017)

2.3.1 Subproduto do processamento da indústria de mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*) é um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. Mais de 100 países produzem mandioca e o Brasil é o quinto maior produtor mundial. De acordo com dados da FAO, o país produziu em 2018 17 milhões de toneladas desta raiz (FAO, 2018).

Embora a mandioca seja processada em pequenas unidades fabris, o processamento desta raiz causa sérios danos ambientais pois podem gerar quantidades consideráveis de resíduos, visto que, embora pequenas, existem muitas unidades processadoras em uma mesma região (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008). A Figura 3 mostra o fluxograma de obtenção da fécula de mandioca.

Figura 3 - Fluxograma de obtenção da fécula de mandioca



Fonte: ABAM, 2009

Durante o processamento da mandioca cada tonelada de raiz processada gera 250 kg de fécula de mandioca e 929 kg de bagaço com 85% de umidade (FIORDA et al., 2013). Assim, há a necessidade de utilização total deste resíduo para garantir a sustentabilidade desta indústria. Os farelos gerados são subprodutos sólidos originados no momento da separação do amido e que possui, quando seco, 16% de teor de fibra alimentar (CEREDA, 2001).

O resíduo de produção da fécula de mandioca é o material fibroso da raiz e contém parte do amido que não foi extraída no processamento (RODRIGUES; CALIARI; ASQUIERI, 2011). Assim, torna-se necessário, desenvolver tecnologias de aproveitamento desse subproduto e obter produtos com elevado valor agregado, uma vez que o farelo de mandioca é rico em fibras alimentares (SAITO; CABELLO; FUKUSHIMA, 2006).

Este material é destinado à alimentação animal mas possui potencial aplicação para a produção de ácido lático por bactérias (RAY et al., 2008), produção de etanol (RAY et al.,

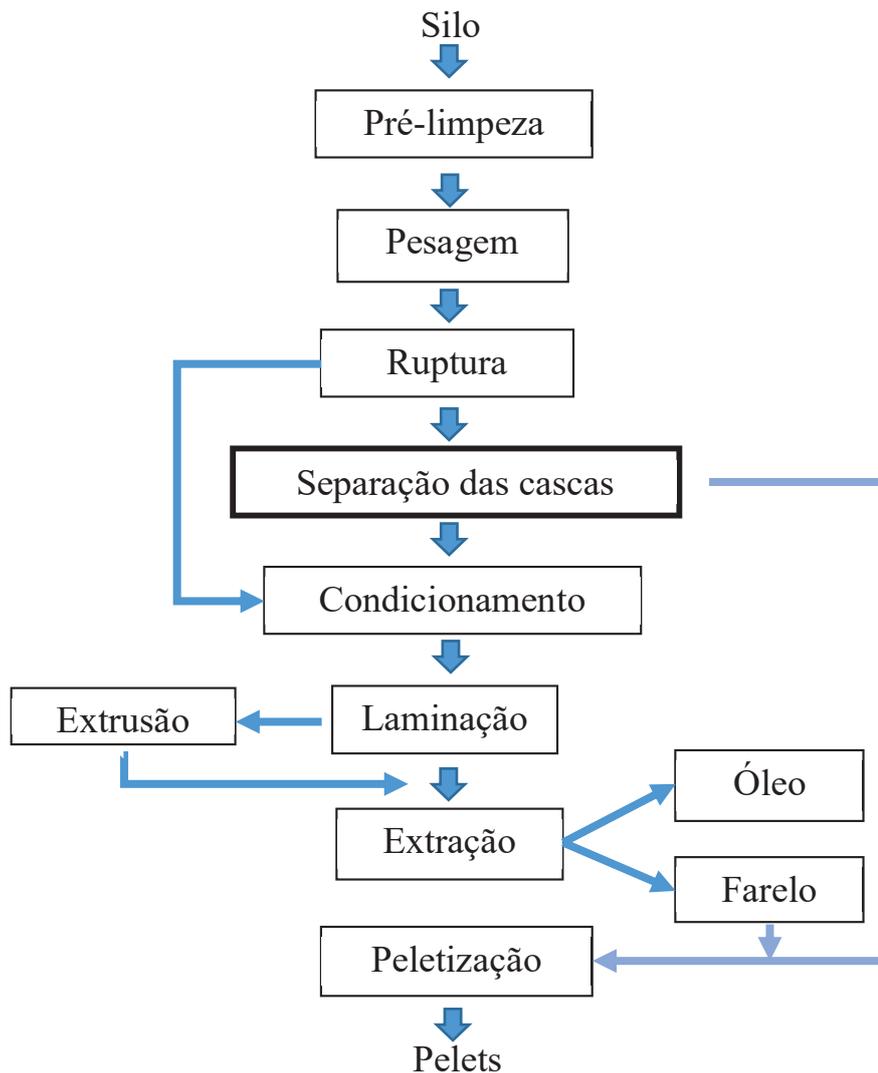
2008), remoção de íons de metais pesados (Cd (II), Cu (II) e Zn (II)) de águas residuais (NGAH; HANAFIAH, 2008). Navacchi et al., (2012) elaborou um bolo com incorporação da fibra de mandioca e *Spirulina platensis* e obteve um produto com qualidades tecnológicas e sensoriais satisfatórias com aumento no teor de fibras alimentares e proteínas em relação à formulação padrão.

Existem produtos comerciais, elaborados a partir da fibra alimentar da mandioca como o fibervita LCe 106, fabricado pela Fibervita, sistemas de ingredientes naturais inovadores (fibervita.com). Trata-se de um composto fibroso elaborado a partir da aplicação de processos termoquímicos, físicos e enzimáticos no bagaço. O composto é um preparado sem glúten e livre de alergênicos. Elaborado a base de fibras alimentares solúveis e insolúveis de mandioca e carboidratos complexos de baixo índice glicêmico. O produto com a especificação LCe 106 é utilizado na linha de pães e biscoitos.

2.3.2 Subproduto do processamento da soja

A soja é a leguminosa mais cultivada no mundo. Segundo a FAO, em 2018 a produção mundial ultrapassou 348 milhões de toneladas. No Brasil, foi superior a 117 milhões de toneladas (FAO, 2018). Trata-se de uma das culturas economicamente mais importantes do mundo que produz, como subproduto, o tegumento da soja que contém grande quantidade de fibras alimentares (WANG, et al., 2014). Cada tonelada de grão que é processado gera em torno de 0-3% de tegumento de soja que contém 66% de fibra alimentar e 12% de proteína (ZAMBOM, et al., 2001). Dentre as plantas, a soja é a contém a mais alta quantidade e qualidade de proteínas (AMMAR; SALEN; BADR, 2011). A Figura 4 mostra o esquema de produção do óleo de soja.

Figura 4 - Processo de extração do óleo de soja



Fonte: adaptado de SBOG – Sociedade Brasileira de óleos e gorduras, 2018

O comportamento viscoelástico da massa elaborada com farinha de trigo de grão inteiro e 10% de fibra alimentar extraída do tegumento de soja foi levemente afetado, podendo ser desejável no comportamento da massa. Este estudo ainda sugere que as fibras alimentares do tegumento da soja podem ter grande potencial em diversas aplicações alimentares devido às suas propriedades funcionais (YANG; XIAO; WANG, 2014). A adição de farelo desengordurado de soja em pão, mostrou que os pães cuja condição foi a adição de 10% de farelo de soja foram preferidos em análise sensorial e, além disso, apresentou índice elevado de proteínas em relação ao padrão (MORGUETE ET AL., 2011).

2.4 PÃO

Segundo a RDC N° 263, de 22 de setembro de 2005, pão é o produto obtido da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação (ou não) e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

O pão pode ser classificado com não levedado e levedado. O primeiro não há produção de Dióxido de Carbono e resulta em um pão plano e denso. O segundo tem como ingredientes básicos farinha de trigo, fermento e sal. Possui o processo fermentativo, já que o fermento adicionado se refere às leveduras. No pão levedado, a fermentação deve ser controlada. (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017).

Um produto de panificação resulta de uma série de processos: mistura, fermentação, maturação da massa e cocção. Cada etapa precisa ser controlada e avaliada para que o produto final apresente a qualidade desejada (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017).

No processo fabricação do pão, mais precisamente no cozimento, ocorrem vários processos físicos fundamentais e complexos a saber evaporação da água, expansão do volume, gelatinização do amido, desnaturação das proteínas, formação de crosta, entre outros. Todas estas alterações ocorrendo dentro da mesma etapa, resultam em um processo complexo e com muita possibilidade de estudo (ARPITA MONDAL, 2008).

A mistura adequada dos ingredientes juntamente com a energia mecânica aplicada garante o desenvolvimento da rede proteica (glúten) e as características de resistência e extensão, que são fundamentais para as características do produto final (PREEDY; WATSON; PATEL, 2011). Quando a mistura não for suficiente, o pão pode apresentar características que interferem na aparência do produto tais como: manchas e bolhas na casca, miolo com buracos irregulares e baixo volume em função do desenvolvimento incorreto do glúten. A mistura em excesso altera as propriedades da massa, devido ao rompimento da rede de glúten além de deixar a textura “pegajosa” e, observa-se, também, a diminuição da consistência (PREEDY; WATSON; PATEL, 2011).

Na maturação da massa, ocorre a continuação da formação da rede de glúten e a modificação das propriedades reológicas da massa. Assim, a massa ganha sua capacidade de expansão para suportar o aumento da pressão de gás causada pela produção de dióxido de carbono resultante da fermentação. No forneamento, ocorre a expansão da massa e a definição da estrutura final (CAUVAIN, 2001).

No processamento do pão, a farinha de trigo e a água afetam, diretamente, a textura do produto final tornando-se, então, os ingredientes mais importantes da panificação. Considerando-se 100% da farinha de trigo, a participação dos outros ingredientes é um percentual da totalidade do peso, sendo aproximadamente 2% de fermento, 4% de açúcar, 2% de sal e 3% de gordura (ARPITA MONDAL., 2008).

A chamada “força da farinha”, é geralmente utilizada para definir a capacidade da farinha de sofrer o tratamento mecânico quando hidratada. Esta expressão está também associada à capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras de glúten. Se a farinha apresentar uma boa força, o resultado é pão com volume e granulometria adequados (GUTKOSKI; NETO, 2002; ORO, 2013).

O consumo de pães integrais está associado a benefícios à saúde, mas, apesar disso, a aceitação destes produtos é limitada pois apresentam diferenças em relação ao pão feito com farinha de trigo refinada (ROSEL; SANTOS; SANTOS; SANZ-PENELLA, 2009). Estas alterações ocorrem devido à presença do farelo e de gérmen na farinha. Eles alteram as propriedades reológicas da massa que resultam em um produto com volume menor, maior firmeza do miolo, coloração mais escura e alteração no sabor quando comparados aos pães feitos com farinha de trigo refinada (ORO, 2013).

Chen; Shiau; Fu (2016), estudaram o comportamento do pão cozido no vapor (produto tipicamente asiático) quando adicionado de farinha de trigo de grão inteiro. O estudo mostrou que a FTGI afetou significativamente a reologia da massa e a qualidade do pão quando adicionada em elevadas proporções (>50%). Os autores sugerem que uma substituição de 25% geraria um produto de boa qualidade nutricional e características sensoriais aceitáveis.

2.4.1 Propriedades de formação da massa

O potencial de panificação de uma farinha de trigo pode ser analisado através de um conjunto de análises físicas e químicas. Os principais equipamentos utilizados são o farinógrafo, que determina a estabilidade e absorção de água da farinha e alveógrafo, que determina a força da farinha. Esses equipamentos fornecem dados correlacionáveis com a qualidade de panificação da farinha de trigo (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017).

As propriedades reológicas da massa, bem como o sucesso na panificação estão fundamentadas na presença da gliadina e da glutenina, formadoras da rede de glúten (BRESSIANI et al., 2017). Além da presença destas proteínas, outros fatores também são importantes para as propriedades reológicas, tais como a razão de gliadina e glutenina e as interações entre estas cadeias poliméricas (MACANN; GALL; DAY, 2016).

Na panificação, a rede de glúten é o mecanismo crucial para que as bolhas de ar, produzidas na fermentação, fiquem retidas e confirmam a expansão adequada da massa (SROAN; MACRITCHIE, 2009). Quando a farinha é hidratada e sofre a ação mecânica do amassamento, as proteínas do glúten formam uma rede viscoelástica que permite a retenção do gás e, por consequência, um pão com miolo elástico e poros com tamanhos padrão e volume elevado (SHMID; WIESER; KOELHER, 2017).

Cerca de 80-85% da proteína bruta da farinha de trigo é formada pelas proteínas do glúten (OOMS et al., 2018). As gliadinas são subdivididas em α , γ e ω -gliadina - classificação segundo a homologia da sequência de aminoácidos - e estão presentes em menor quantidade. Proteínas monoméricas que possuem ligações dissulfeto intramoleculares e não participam das ligações intermoleculares (BOTH et al., 2019). Por outro lado, as gluteninas são divididas em estruturas de alto peso molecular e de baixo peso molecular (WIESER, 2007). São polímeros que se unem por ligações dissulfeto intermoleculares (BOTH, 2015). O equilíbrio adequado das frações de gliadina e glutenina é fundamental para conferir à massa viscosidade e capacidade de extensão (gliadinas) e resistência e elasticidade (gluteninas). Essa mistura das frações interfere nas propriedades viscoelásticas da massa e na qualidade do produto final (BRESSIANI, 2016) e deve variar conforme a finalidade de aplicação (VERAVERBEKE; DELCOUR, 2002).

A rede viscoelástica que estas proteínas formam, tem como base principal as ligações pontes dissulfeto que ocorrem de forma intra e intermolecular entre o aminoácido cisteína que, embora em proporção pequena é de extrema importância para a rede de glúten (WIESER, 2007), assim como as ligações dissulfeto (WIESER, 2012). As cisteínas, na sua maioria, estão em estado oxidado o que possibilita as ligações dissulfeto (WIESER, 2007).

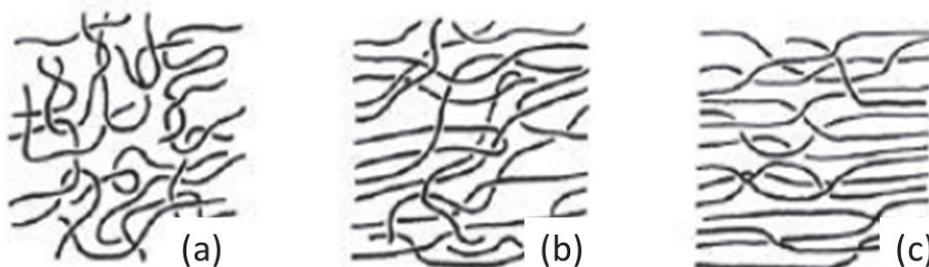
2.4.2 Formação da rede de glúten

Glúten é um termo que se refere à rede viscoelástica tridimensional formada pelas proteínas gliadinas e gluteninas, quando são hidratadas e passam por ação mecânica (OOMS et al., 2018).

Durante o processo de formação e estabilização da massa, os grupos S-H livres e as pontes dissulfetos (S-S) tem uma importância significativa. Nesse processo, ocorre a oxidação de grupos sulfidrilas dos resíduos de cisteína dentro da proteína e entre as proteínas. As pontes dissulfetos estabelecidas são determinantes na formação da rede de glúten, logo, fundamentais para as propriedades reológicas da massa (BRESSIANI, 2016). A Figura 5 mostra o processo da formação da rede de glúten durante a etapa de mistura. Na primeira etapa (Figura 5a) as

moléculas de proteínas são hidratadas e suas fibrilas aderem-se formando uma rede desorganizada. A continuação da mistura e a hidratação das proteínas cria tendência de alinhamento das gluteninas (Figura 5b). Nesta etapa a rede de glúten começa a se desenvolver pelas ligações cruzadas com pontes dissulfeto. Na etapa de desenvolvimento ótimo da massa (Figura 5c) as interações entre os polímeros são cada vez mais fortes o que leva a aumento da resistência da massa

Figura 5 - Formação da rede de glúten, (a) Proteínas da farinha inicialmente emaranhadas; (b) alteração das ligações durante a amassadura; (c) alinhamento das proteínas no fim da amassadura



Fonte: NUNES et al., 2016.

Se a mistura continua além do desenvolvimento ideal, ocorre a quebra das ligações dissulfeto e o rompimento das ligações cruzadas. Com a despolimerização das gluteninas a massa se torna menos resistente. As gliadinas, que tem um comportamento plastificante, formam uma matriz de polímeros dentro da rede e aumentam a extensibilidade devido a um comportamento viscoso (BRESSIANI, 2016).

2.4.3 Propriedades de hidratação da massa

A água e a farinha de trigo são os ingredientes mais importante na panificação já que ambos alteram a reologia da massa e as características do produto final (SCHEUER; FRANCISCO; MIRANDA; LIMBERGER, 2011). A água é fundamental na formação da rede de glúten, e, no caso do pão, é necessária em maior quantidade. A farinha adequada para pão possui alto teor de proteínas (10 – 14%) e, por consequência, a absorção de água é maior (FÖSTE; VERHEYEN; JEKLE; BECKER, 2020). A água também desempenha um papel importante nas alterações associadas ao amido que ocorrem durante a panificação (gelatinização e retrogradação) e na vida de prateleira do pão (perfil de textura) (WAGNER; LUCAS; LE RAY; TRYSTRAM, 2007).

Além disso, a adição de fibras alimentares na farinha, que ocorre com a intenção de melhora da qualidade nutricional, modifica a textura, o volume e aparência do pão (DUBOIS,

1978). Ocorre a diluição do glúten e altera o tempo de mistura e absorção da água (POMERANZ; SHOGREN; FINNEY; BECHTEL, 1977).

A elaboração de produtos de panificação com FTGI traz desafios devidos às alterações tecnológicas e sensoriais dos produtos. As dificuldades ocorrem devido a modificações nas propriedades de hidratação da massa (BRESSIANI, 2019).

As origens das fibras alimentares determinam seu comportamento em relação à hidratação em função da proporção de fibras solúveis e insolúveis. Enquanto as fibras solúveis formam soluções viscosas, a fibra alimentar insolúvel, ao absorver água, não causa alterações da viscosidade (SADEQ et al., 2011; FÖSTE; CHRISTOPH; JEKLE; BECKER, 2020). A solubilidades das fibras alimentares determinam as possíveis alterações na reologia da massa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

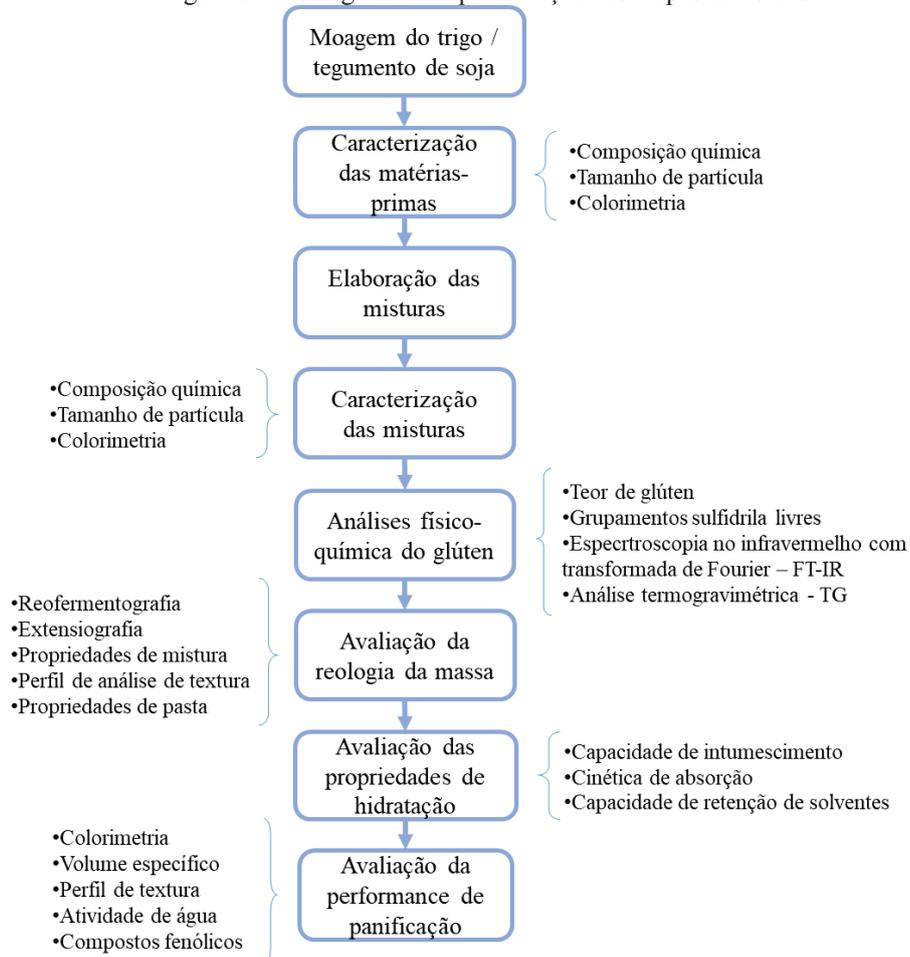
3.1 MATERIAL

O trigo do cultivar cv. Audaz, produzido em Coxilha – RS foi fornecido pela empresa Biotrigo, Passo Fundo, RS. O tegumento de soja foi concedido pela empresa BSBIOS, localizada em Passo Fundo - RS. O composto fibroso de mandioca foi cedido pela empresa Fibervita, localizada em Chapecó-SC.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A Figura 6 apresenta o fluxograma contendo as etapas do estudo. As análises foram das matérias-primas farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS); nas misturas elaboradas com estas matérias primas; no glúten extraído das referidas misturas e do pão elaborado com as mesmas.

Figura 6 – Fluxograma de apresentação das etapas do estudo



Fonte: elaborada pelo autor (2020)

As misturas foram elaboradas através de um planejamento fatorial 2². As variáveis foram estabelecidas em dois níveis (-1, +1) com duplicata do ponto central. A distribuição de realização dos experimentos está descrita na Tabela 1. A FTGI foi parcialmente substituída pelo CFM nas proporções 3 e 15% e pelo tegumento de soja nas condições 2 e 10%.

A codificação das amostras ocorre da seguinte maneira: a primeira letra seguida de um valor indica o percentual substituído da FTGI pelo CFM; a segunda letra e seu respectivo valor representam o percentual substituído de TS na formulação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis independentes, níveis do planejamento fatorial 2² e codificação utilizada nas amostras

Tratamentos	Composto fibroso de mandioca	Tegumento de soja	Código
1	-1 (3%)	-1 (2%)	M3S2
2	+1 (15%)	-1 (2%)	M15S2
3	-1 (3%)	+1 (10%)	M3S10
4	+1 (15%)	+1 (10%)	M15S10
5	0 (9%)	0 (6%)	M9S6
6	0 (9%)	0 (6%)	M9S6

Fonte: elaborado pelo auto (2020)

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Obtenção da farinha de trigo de grão inteiro

A farinha de trigo de grão inteiro foi obtida em moinho de rotor termostático (MA90, Marconi, Brasil). O moinho possui três peneiras para o processo de moagem, 10 mesh (G), 20 mesh (M) e 32 mesh (P). O trigo foi moído primeiramente na peneira G e logo em seguida foi peneirado com peneira de 40 mesh. O passante, considerado a farinha, foi armazenado. O retido foi moído novamente com peneira M. Novamente, depois do peneiramento em 40 mesh, o passante foi armazenado e o retido foi moído com a peneira P. A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) é a junção das quantidades passantes na peneira de 40 mesh e do que foi moído na peneira de 32 mesh.

3.3.2 Avaliação físico-química da FTGI, CFM, TS e das misturas

3.3.2.1 Composição química

Os teores de umidade, proteína, cinzas e lipídios foram determinados de acordo com os métodos n° 44-15.02 da AACC (2010), n° 46-10.01 da AACC (2010), n° 08-12.01 da AACC

(2010), n° 30.20.01 da AACC (2010) respectivamente. O teor de fibras foi determinado de acordo com o método AACC (2010) n° 32-07.01 com o kit enzimático (Total Dietary Fiber Assay Kit, Sigma-Aldrich®, EUA).

3.3.2.2 *Tamanho de partícula*

O tamanho das partículas das amostras foi determinado pela técnica de espalhamento de luz (Laser Particle Size Analyzer, Bettersizer S2-WD, EUA) utilizando sistema de dispersão a seco.

3.3.2.3 *Parâmetro de cor*

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando-se o espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor óptico geométrico de esfera para se obter os valores de luminosidade (L^*). Os valores de L variam entre 0 (preto) e 100 (branco) e as coordenadas de cromaticidade $-a^*$ que vai de -60 (verde) até $+a^*$, +60 (vermelho); e $-b^*$ -60 (azul) até $+b^*$ +60 (amarelo).

3.3.2.4 *Teor de glúten*

O teor de glúten foi determinado pelo método n° 38-10 da AACC (2010), em que 25g de amostra foi pesada e adicionou-se um volume em torno de 10 ml de solução salina a 2%. A quantidade foi definida quando se formou uma massa firme. Após um descanso de 30 minutos da massa em água destilada. A massa foi lavada com auxílio de uma peneira de 10 *mesh*. A lavagem da massa ocorreu até que não se observasse saída de amido da massa. A seguir, as amostras foram centrifugadas para a separação das proteínas de alto e baixo peso molecular. As determinações do teor de glúten úmido de do índice de glúten foram feitas de acordo com as equações 1 e 2.

$$\% \text{ glúten úmido} = \left(\frac{\text{peso glúten}}{\text{peso de farinha}} \right) * 100 \quad \text{Eq (1)}$$

$$\% \text{ índice de glúten} = \left(\frac{\text{peso glúten retido}}{\text{peso de glúten}} \right) * 100 \quad \text{Eq (2)}$$

3.3.2.5 *Determinação dos grupamentos sulfidrila livres*

A determinação de grupos sulfidrila (-SH) livres foi realizada utilizando glúten úmido de acordo com o método de Pérez et al., (2005), adaptado por Rakita et al., (2014). As amostras de glúten úmido foram preparadas como descrito no item teor de glúten (item 3.3.2.4).

Para a determinação de grupos SH livres, 0,1 g das amostras de glúten úmido foram incubados em água, separadamente, a duas temperaturas, 30 °C e 37 °C, durante três intervalos de tempo diferentes, 45, 90 e 135 min. Para o ensaio, foi preparado tampão (pH 8,0) Tris-Glicina (10,4 g de Tris, 6,9 g de Glicina e 12 g de EDTA, ácido etilenodiamino tetra-acético, em 1,0 L de água deionizada), com pH ajustado para 8,0 com solução de NaOH 1mol/L. Uma solução de hidrocloreto de guanidina (5,0 M, pH 8,0) foi preparada utilizando tampão Tris-Glicina como solvente (GuHCl/Tris se 40,0 mg de DTNB, ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzóico) no momento da análise). Para o procedimento de análise, cada amostra de glúten úmido (100 mg) foi suspensa em 1,0 ml de solução de GuHCl /Tris e posteriormente centrifugada a 24000 x g durante 6,0 minutos. O volume de 400 µL de sobrenadante foi adicionado a 600 µL reagente de Ellman e agitado por 1,0 minuto em vórtex. A resultados calculados a partir de uma curva padrão de cisteína a partir de uma solução estoque 0,83 µmol/ml.

3.3.2.6 *Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)*

Os espectros de infravermelho foram obtidos com 100 scans na região de 4000 – 1000 cm^{-1} , com resolução 4 cm^{-1} . As regiões avaliadas, no caso do glúten, foram 1570 – 1720 cm^{-1} (Amida I), 1200 – 1340 cm^{-1} (Amida III) e 2500 – 4000 cm^{-1} (estiramento OH). Utilizou-se a função de apodização triangular do software do equipamento para a obtenção dos espectros.

3.3.2.7 *Análise termogravimétrica*

A estabilidade térmica das amostras foi avaliada utilizando um analisador termogravimétrico (TGA, TA-60 WS, Shimadzu, Kyoto, Japão). As amostras (± 5 mg) foram aquecidas na faixa de temperatura de 30-600°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sob atmosfera de nitrogênio (50 mL/min).

3.3.3 **Propriedades reológicas da massa**

3.3.3.1 *Reofermentografia – Propriedades de fermentação*

As massas foram preparadas de acordo com a metodologia 89-01.01 (AACC, 2010), utilizando o Alveografo (Chopin Technologies, França). Para o teste foi utilizado 250 g de farinha, 1,25 g de fermento seco e a água foi adicionada de acordo com a absorção de água das respectivas farinhas (farinografia). A massa foi misturada durante 8 min, e após, foi retirada uma fração de 315 g de massa e colocada no cesto do reofermetômetro (F4, Chopin Technologies, França) com 4 pistões de 2 kg cada. O teste foi realizado em temperatura de 28 \pm 2°C durante o período de 3 h. Os parâmetros reológicos da fermentação analisados foram:

Hm (mm): altura máximo durante o tempo de desenvolvimento; h (mm): altura da massa na terminação; $(Hm-h)/(Hm)$: inversamente relacionado à estabilidade da massa; H'm: altura máxima do gás liberado; Vt: volume total de gás produzido durante três horas de fermentação; R% (VR/Vt): coeficiente de retenção de gás durante a fermentação.

3.3.3.2 Extensiografia

Para este teste, a massa foi preparada em equipamento Promilógrafo (modelo T6-E, Labortechnik GmbH, Alemanha) utilizando a absorção de água das farinhas obtidas (teste de propriedades de mistura) e substituindo 2% deste valor por cloreto de sódio (por exemplo, se a absorção da farinha foi 75%, adicionou-se 73% de água e 2% de cloreto de sódio). O tempo de formação da massa utilizado foi o tempo necessário para atingir a consistência de 500 Unidades Promilográficas (UP). Posteriormente, a massa elaborada foi separada em uma porção de 50 g de cada amostra e mantida em repouso durante 45 minutos. O teste de resistência à extensão e extensibilidade da massa foi realizado utilizando o analisador de textura (modelo TA-XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado com *probe Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig (A/KIE)*. Após o descanso da massa foram confeccionadas tiras de aproximadamente 7 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento em molde específico do equipamento. As condições aplicadas ao ensaio foram: velocidade de pré-teste: 2,0 mm s⁻¹, velocidade de teste: 2,2 mm s⁻¹, velocidade de pós-teste: 10,0 mm s⁻¹ e distância de 75,0 mm (KIEFFER et al., 1998).

3.3.3.3 Propriedades de mistura da massa

O comportamento das farinhas durante o processo de mistura foi avaliado segundo o método nº 54-21.02 da AACC (2010), em equipamento Farinograph-E Brabender, utilizando 50 g de farinha de trigo. Os parâmetros avaliados foram absorção de água; tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e estabilidade da massa.

3.3.3.4 Propriedades de pasta (RVA) e análise de perfil de textura (TPA)

As propriedades de pasta foram analisadas no equipamento Viscosímetro (modelo RVA-3D) de acordo com o método nº 76-21.01 da AACC (2010). Foram utilizados 4 g de farinha e 25±0,1 ml de água destilada, corrigidas para 14% de umidade, sendo considerados os parâmetros: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante que é ligada à quebra e viscosidade final, associada à tendência à retrogradação.

O perfil de textura dos géis foi determinado 24h depois do teste de propriedades de pasta através de um analisador de textura (TA.XT. plus, Stable Micro Systems, Inglaterra) no qual um probe cilíndrico de 36 mm comprime a amostra a 40% do tamanho original, a velocidade de $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$, obtendo-se assim os parâmetros dureza (g), elasticidade (g), coesividade (g) e gomosidade (g).

3.3.4 Propriedades de hidratação

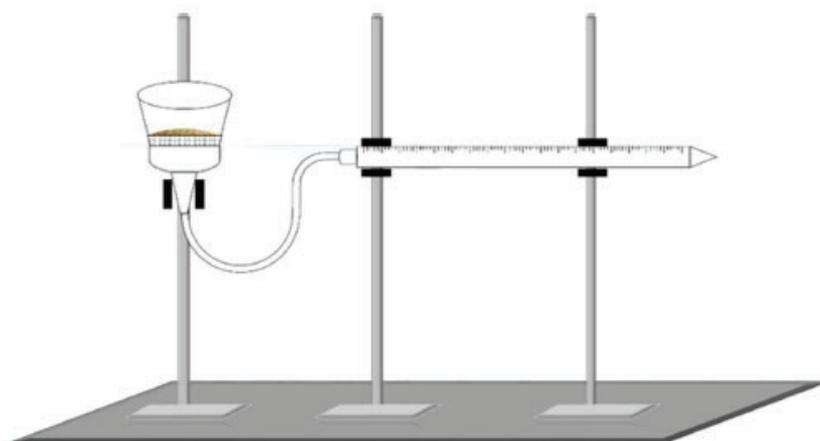
3.3.4.1 Capacidade de intumescimento

A capacidade de intumescimento das misturas contendo FTGI, CFM e TS foi determinada pelo método descrito por Kuniak e Marchess (1972) com algumas modificações. Em proveta graduada de 10 mL foi adicionado 500 mg de amostra e 5 mL de água destilada. Após o tempo de imersão 60 minutos, a capacidade de expansão da amostra foi determinada com a leitura do volume ocupado na proveta.

3.3.4.2 Cinética de absorção

A cinética da hidratação foi estudada utilizando os princípios do dispositivo Enslin-Neff (ENSLIN, 1933) (Figura 7). Um funil foi conectado a uma pipeta graduada de 2,0 mL usando um tubo de borracha. As análises foram realizadas com 50,0 mg de amostra que foi colocada no funil e o menisco de água na pipeta posicionada na marca 0 mL. A absorção da água foi monitorada durante 45 minutos.

Figura 7 – Instrumento Enslin-Neff utilizado para avaliação da cinética de hidratação da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída por composto fibrosos de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: BRESSIANI (2019).

3.3.4.3 Capacidade de retenção de solventes (CRS)

O teste de capacidade de retenção de solventes (CRS) das amostras foi realizado de acordo com o método oficial nº 56-11.02, da AACC (2010). Os solventes utilizados foram carbonato de sódio 5% (p/p), sacarose 50% (p/p), ácido láctico 5% (p/p) e água destilada. Pesou-se 5g de cada mistura em duplicata em tubos de centrífuga (50mL) e adicionou-se 25 g de solvente. Por 20 minutos as amostras foram agitadas vigorosamente por 11 segundos a cada 5 minutos. Após, foram centrifugadas (1000 x g) durante 15 min. Os sobrenadantes foram descartados e os tubos deixados virados com a boca para baixo por 10 minutos. Os tubos foram pesados e a capacidade de retenção de solventes foi calculada segundo a equação 3.

$$\%SRC = \left\{ \left[\left(\frac{\text{peso gel}}{\text{peso de amostra}} \right) - 1 \right] * \left(\frac{86}{100 - \%umidade\ farinha} \right) * 100 \right\} \quad \text{Eq (3)}$$

Onde:

Peso do gel: Peso total – peso do tubo

Peso da amostra: peso exato da mistura

86: peso de amostra com umidade padrão (14%)

3.3.5 Performance de Panificação

3.3.5.1 Elaboração do pão de forma

O preparo da massa foi realizado como descrito por Bressiani et al., (2017) com modificações. A massa foi preparada utilizando a masseira do equipamento farinógrafo (Farinograph–E Brabender). A Tabela 2 mostra as proporções dos ingredientes utilizados para a formulação de cada amostra.

Tabela 2 – Proporções dos ingredientes utilizadas nas formulações dos pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída pelo composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	FTGI (%)	CFM (%)	TS (%)	Gordura (%)	Sal (%)	Reforçador (%)	Açúcar (%)	Fermento (%)
Controle	100	0	0	4	2	1	5	2
M3S2	95	3	2	4	2	1	5	2
M3S10	87	3	10	4	2	1	5	2
M9S6	85	9	6	4	2	1	5	2
M15S2	83	15	2	4	2	1	5	2
M15S10	75	15	10	4	2	1	5	2

As colunas FTGI, CFM e TS referem-se aos componentes das misturas (amostras), assim, devem totalizar 100% para que os demais ingredientes sejam calculados em função desta soma.

A farinha / mistura foi colocada na masseira do farinógrafo (mantida em temperatura constante de 30 °C) e misturada durante 1 min. Em seguida, foram adicionados o açúcar, o fermento, o sal, a gordura vegetal hidrogenada e o ácido ascórbico e também misturados durante 1 minuto, após esse período, a água foi adicionada. A quantidade de água adicionada seguiu a absorção de água previamente determinada na análise de propriedades de mistura (item 3.3.3.3). O tempo de desenvolvimento da massa foi de 6 minutos. Finalizada a etapa de amassamento, a massa foi fracionada pesada e dividida em partes iguais de 35,0 g. As frações foram moldadas com o auxílio de cilindro manual (Pasiani, Brasil) e colocadas em formas de aço inox, previamente untadas com gordura vegetal hidrogenada. As massas permaneceram em câmara de descanso (Multi Pão, Brasil) sob temperatura controlada de 30°C e 100% de umidade relativa durante 60 minutos. Posteriormente, foram submetidas a cozimento em forno (modelo QA 226, Labor Instruments Works, Hungria) com temperatura controlada de 150°C e tempo de cozimento de 13 min. Os pães permaneceram em temperatura ambiente por 1 hora após cozimento para esfriar antes das análises de qualidade.

3.3.5.2 *Colorimetria*

Os parâmetros de cor do pão foram determinados com o emprego do equipamento Espectrofotômetro de Reflectância Difusa (modelo ColorQuest II, Hunter Lab, EUA), com sensor ótico geométrico de esfera. O aparelho foi calibrado com cerâmica, realizando-se a leitura por reflexão e utilizando-se ângulo de observação de 2°, iluminante D75 e iluminante secundário D65. No sistema Hunter de cor, corrigido pela CIE, os valores L* (luminosidade) variam entre zero (preto) e 100 (branco), -a* (verde) até +a* (vermelho), e -b* (azul) a +b* (amarelo).

3.3.5.3 *Volume Específico*

O volume específico dos pães foi determinado em aparelho Vondel (modelo MVP 1300, Brasil), pelo deslocamento de sementes de painço e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi-analítica. A determinação do volume específico foi realizada uma hora após o cozimento dos pães e os resultados expressos em $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$.

3.3.5.4 *Análise de perfil de textura (TPA)*

O perfil de textura foi determinado através de um analisador de textura (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra) com probe cilíndrico de alumínio P/20R (raio de 20 mm), velocidade pré-teste = 1,0 mm s⁻¹; velocidade de teste = 1,7 mm s⁻¹; velocidade de pós-teste = 10,0 mm s⁻¹ e força de compressão de 40 %. Para a análise foram utilizadas quatro fatias de pão de 25 mm de espessura. Os parâmetros avaliados foram: firmeza (g), mastigabilidade (g), coesividade (g) e gomosidade (g).

3.3.5.5 *Atividade de água (a_w)*

A a_w foi medida diretamente em higrômetro (modelo 650, TEXTO, Brasil) à temperatura constante de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Os valores foram expressos de 0 a 1.

3.3.5.6 *Determinação de compostos fenólicos*

O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado nas amostras de pão, liofilizadas e moídas, segundo o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu com algumas modificações (BUDINI, TONELLI, GIROTTI, 1980). Alíquotas (100 μL) de diluições apropriadas dos extratos, obtidos com etanol 80%, foram oxidadas com o reagente de Folin-Ciocalteu (500 μL), e a reação neutralizada com carbonato de sódio saturado (75 g/L; 1,5 ml). Após período de incubação por 1 h a temperatura ambiente, a absorbância da solução resultante foi medida em espectrofotômetro a 764 nm. A quantificação foi realizada com base em uma curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes em ácido gálico (GAE) /100 g de massa seca (B.S).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A significância dos dados foi testada pela análise de variância (Anova) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 95% de intervalo de confiança. Os resultados da etapa de avaliação da reologia da massa foram analisados utilizando a metodologia superfície de resposta. A performance de panificação foi avaliada pelo teste estatístico desejabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

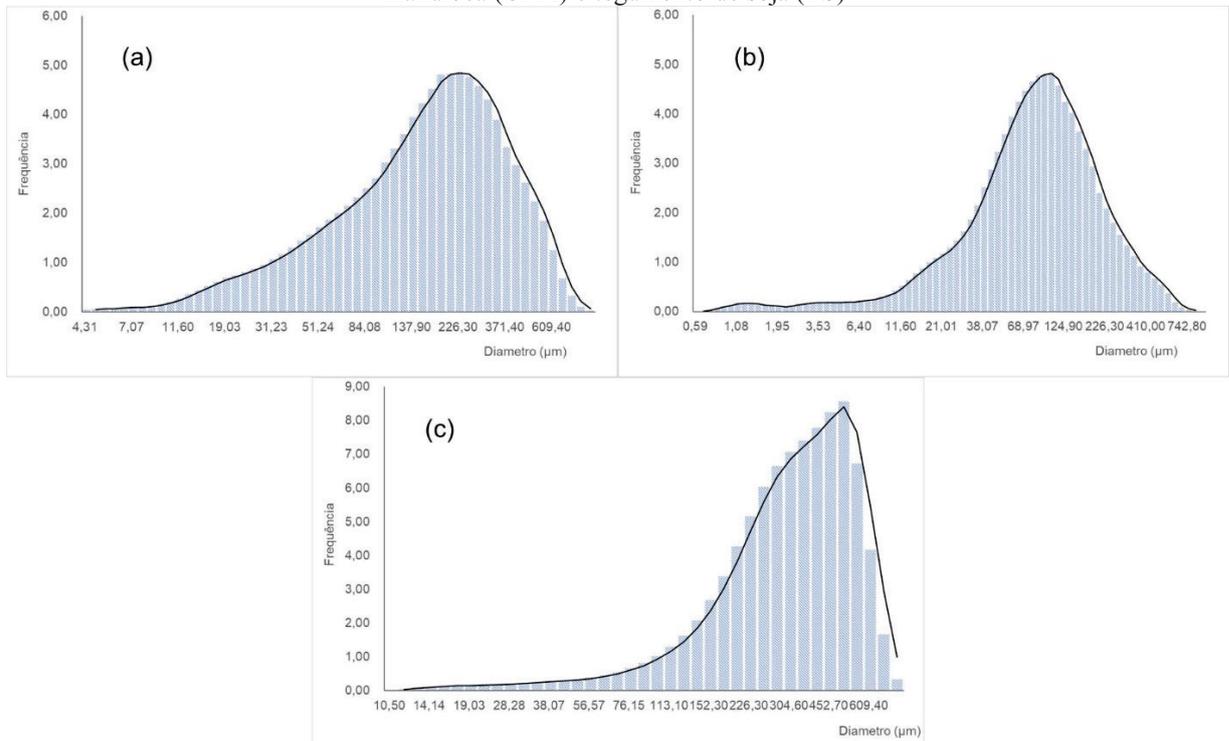
4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DAS MISTURAS

4.1.1 Tamanho de partícula

A Figura 8 apresenta o perfil de distribuição do tamanho de partículas da farinha de trigo de grão inteiro (a), composto fibroso de mandioca (b) e tegumento de soja (c). A curva que apresenta o comportamento do tamanho de partícula da FTGI mostra que a matéria-prima apresentou um tamanho de partícula menor que 600 μm .

O conhecimento sobre o tamanho de partícula da FTGI é um fator importante, pois segundo Bressiani et al., (2017), partículas com tamanho médio de 608,44 μm em FTGI apresentam um bom comportamento na panificação causando menor impacto nas propriedades de formação de massa. Da mesma forma, em estudo realizado por Rodríguez et al., (2019), com farinha de “algarrobo”, arbusto comum em países como Argentina e Peru, mostra diferenças na concentração dos compostos fenólicos, fibras alimentares e potássio em diferentes tamanhos de partícula.

Figura 8 – Distribuição do tamanho de partículas da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



(a) FTGI; (b) CFM; (c) TS

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O composto fibroso de mandioca apresentou tamanho de partícula médio inferior ao da farinha de trigo de grão inteiro. Isso se deve à obtenção do material e subsequentes tratamentos no processamento do composto. Além disso, essa matéria-prima apresenta uma distribuição mais homogênea.

O tegumento da soja apresentou tamanho de partícula superior as demais matérias-primas. Todavia mais de 70% da amostra ficou com diâmetro inferior a 450µm. Yang, Xiao e Wang (2014) utilizam a casca de soja em produtos de panificação com tamanho de partícula inferior a 230 µm e verificaram uma significativa melhora nos parâmetros de cor das farinhas. Segundo os autores, esse avanço foi devido ao controle do tamanho de partícula das matérias-primas envolvidas

4.1.2 Composição química

A composição química da matéria-prima é um fator importante para a qualidade tecnológica dos produtos de panificação (DIAS et al., 2019), uma vez que, a proporção destes componentes influencia nas características físico-químicas e reológicas da massa. A Tabela 3 mostra a composição química da farinha de trigo de grão inteiro do composto fibroso de mandioca e do tegumento de soja e das misturas elaboradas a partir destas matérias-primas.

Tabela 3 - Composição centesimal da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) das misturas elaboradas a partir destas matérias-primas

Matérias-primas						
Amostra	Umidade (%)	Proteína (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)	Fibra alimentar (%)
FTGI	10,55 ± 0,22	13,26 ± 0,89	2,25 ± 0,04	2,79 ± 0,19	71,14 ± 1,470	12,81 ± 0,40
CFM	12,21 ± 0,01	1,55 ± 0,04	1,49 ± 0,05	0,37 ± 0,07	84,87 ± 0,05	40,05 ± 1,81
TS	6,16 ± 0,07	9,53 ± 0,21	4,27 ± 0,06	2,83 ± 0,70	2,69 ± 0,005	74,52 ± 0,85
Misturas						
Amostra ¹	Umidade (%)	Proteína (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)		
M3S2	10,55 ^a ± 0,01	12,05 ^a ± 0,06	1,82 ^b ± 0,03	3,47 ^{ab} ± 0,27		
M3S10	10,59 ^a ± 0,24	11,95 ^a ± 0,07	2,14 ^a ± 0,0	2,42 ^b ± 0,16		
M9S6	11,08 ^a ± 0,33	11,27 ^b ± 0,07	1,59 ^d ± 0,005	4,15 ^a ± 0,26		
M15S2	11,58 ^a ± 0,07	11,77 ^{ab} ± 0,01	1,77 ^{bc} ± 0,01	3,72 ^a ± 0,06		
M15S10	10,55 ^a ± 0,22	10,66 ^c ± 0,18	1,73 ^c ± 0,005	3,49 ^{ab} ± 0,15		

¹ Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05)
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo nº 8, 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), a farinha deve apresentar um teor mínimo de proteína de 8,0% e um valor máximo de cinzas de 2,5%. Embora esses valores sejam estabelecidos para farinha de trigo integral e não para FTGI, a mesma se apresentou dentro dos limites estipulados na legislação. Ainda segundo BRASIL (2005), o percentual de umidade não deve ultrapassar 15%. A farinha utilizada encontra-se dentro dos padrões estabelecidos para este parâmetro.

A Tabela 3 expõe, também, a composição química das misturas elaboradas com farinha de grão inteiro parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca e tegumento de soja. O percentual de proteína não apresentou diferença significativa entre as misturas, porém apresentaram valores menores que a FTGI. A composição centesimal das amostras é obtida através do percentual do componente, o aumento de um ocasiona a diminuição de outro. Sendo assim, a parcial substituição da FTGI por matérias-primas ricas em fibras, causa diminuição dos demais componentes.

4.1.3 Colorimetria

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de cor da FTGI, CFM e TS e das misturas elaboradas com estas matérias-primas. A maior luminosidade observada no composto fibroso de mandioca pode estar associada ao aumento na área de superfície, relacionadas às partículas finas obtidas na moagem do material, que permite maior reflexão da luz (AHMED et al., 2013). Além disso, esse valor pode ter associação com os parâmetros de cor da mandioca, sua matéria-prima de origem.

Da mesma forma, os maiores valores observados nas coordenadas de cromaticidade a^* e b^* indicam tendência a tons avermelhados e amarelados respectivamente, demonstrando farinhas mais escuras, também relacionadas a coloração da matriz de obtenção destas farinhas.

Em relação à cor nas misturas, diferenças significativas foram observadas entre as amostras ($p < 0,05$) nos parâmetros analisados. No parâmetro luminosidade, o maior valor encontra-se na amostra que possui um menor percentual de substituição (3% de CFM e 2% de TS).

Tabela 4 – Parâmetros de cor da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	L*	a*	b*
Matérias-primas			
FTGI	80,84 ± 0,12	3,05 ± 0,04	12,92 ± 0,03
CFM	85,12 ± 0,04	1,89 ± 0,01	13,97 ± 0,02
TS	73,03 ± 0,37	4,54 ± 0,07	19,96 ± 0,03
Misturas ¹			
M3S2	87,62 ^a ± 0,04	1,76 ^d ± 0,01	10,43 ^d ± 0,09
M3S10	86,52 ^c ± 0,03	1,94 ^b ± 0,01	10,87 ^c ± 0,14
M9S6	86,94 ^b ± 0,15	1,85 ^c ± 0,02	10,97 ^c ± 0,06
M15S2	82,29 ^e ± 0,17	2,68 ^a ± 0,06	12,81 ^a ± 0,05
M15S10	86,15 ^d ± 0,05	1,96 ^b ± 0,01	11,72 ^b ± 0,04

¹Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05).
L* luminância das amostras; a* cromaticidade de tons avermelhados; b* cromaticidade de tons amarelados
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

É possível, ainda, observar que o aumento na proporção de CFM influenciou mais o aumento da luminosidade quando comparado ao aumento na quantidade adicionada de TS. Isso pode ser explicado pelo fato do CFM apresentar uma luminosidade maior (p<0,05) das demais matérias-primas.

As coordenadas de cromaticidade a* e b* indicam as tendências à tons de cores avermelhados e amarelados, respectivamente. Nesse contexto, todas as amostras apresentaram diferenças (p<0,05) nas duas coordenadas de cromaticidade. As amostras com menores percentuais de substituição (Tabela 5) mostram menores valores para as coordenadas. Na Tabela 4, os valores de a* e b* são maiores para TS o que indica ser esta matéria-prima a principal responsável pela alteração na cor das misturas. Os parâmetros de cor são determinações importantes pois, tais respostas. Interferem nas características de aparência do produto final.

4.1.4 Teor de glúten

A estrutura da rede de glúten pode ser perturbada pela adição de diferentes compostos. A estrutura pode ser alterada em função da formação de aglomerados e alteração a estabilidade das pontes dissulfeto (NAWROCKA et al., 2020). A Tabela 5 apresenta os resultados de glúten úmido e índice de glúten das misturas de FTGI, CFM e TS. A farinha foi alterada de tal forma,

pela adição de fibras alimentares, que não foi possível extrair o glúten da mistura com maior percentual de substituição (M15S10). As fibras impedem formação da rede de glúten, devido sua interação com as proteínas e competição pela água, dificultando a formação das pontes dissulfetos, essenciais para a rede de glúten. Como resultado, somente pequenos pedaços se formaram, mas não foi possível agrega-los.

Tabela 5 - Índice de glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

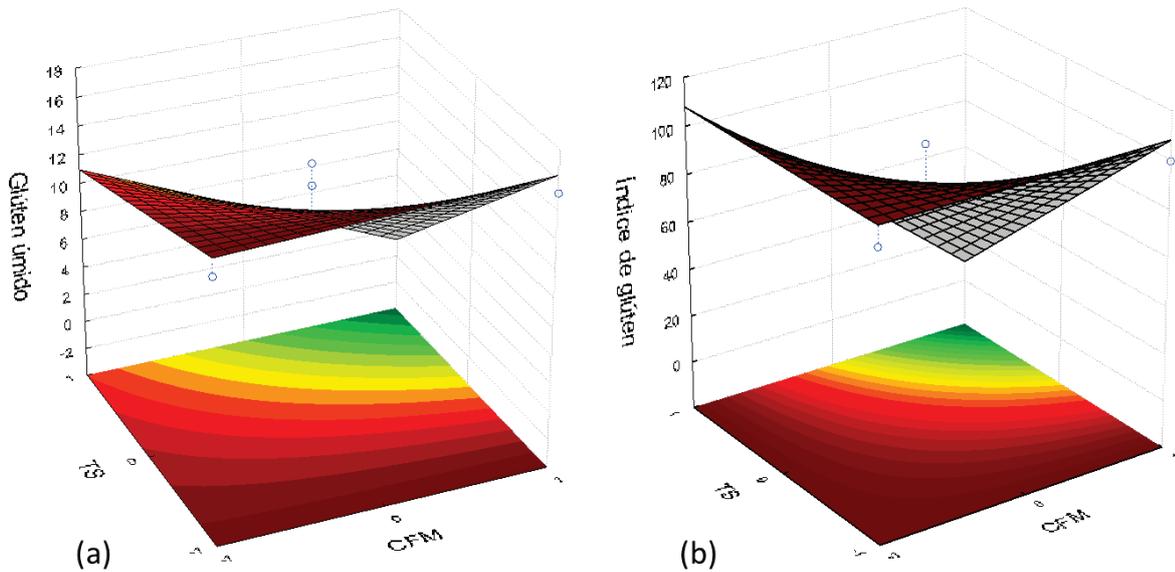
Amostras	Glúten Úmido (%)	Índice de glúten (%)
FTGI	17,72 ± 0,22	99,41 ± 0,18
M3S2	14,33 ± 0,98	99,11 ± 0,05
M3S10	9,76 ± 0,25	99,39 ± 0,46
M9S6	13,47 ± 0,74	99,87 ± 0,01
M15S2	15,08 ± 0,16	99,77 ± 0,14
M15S10	0	0

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Figura 9 expõe a superfície de resposta do glúten úmido (a) e índice de glúten (b) e mostra que os maiores valores são conquistados com os maiores percentuais de substituição. Essa relação já era esperada, mas valores mais altos de glúten, nas amostras com maior percentual de substituição, não refletem uma rede melhor e mais forte, uma vez que, trata-se da superestimação do seu peso (BOTH et al., 2019). Nawrocka et al., (2018) no estudo das agregações da celulose com o glúten, sugere que, durante o processo de lavagem, uma parte da fibra é eliminada junto com o amido, mas uma parte se incorpora na rede de glúten.

Desta forma, respostas obtidas para determinação de glúten úmido e índice de glúten não podem ser analisadas separadamente. Porém, sua análise em conjunto com as demais determinações analíticas é válida na verificação das alterações da rede de glúten. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra a Anova dos efeitos das variáveis CFM e TS nos parâmetros de glúten úmido e índice de glúten.

Figura 9 - Efeito da adição do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) no índice de glúten



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

As dificuldades na formação do glúten estão conectadas à hidratação da massa (NAWROCKA et al., 2020). As fibras alimentares presentes competem com as proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina) pela água presente no meio afetando, assim, um dos mecanismos necessários para a formação do glúten, a hidratação. Além disso, as fibras insolúveis presentes interrompem, fisicamente, a formação da rede de glúten causando um colapso nas bolhas de ar produzidas na fermentação e reduzindo a vida de prateleira dos produtos (GOLDSTEIN; ASHRAFI; SEETHARAMAN, 2010).

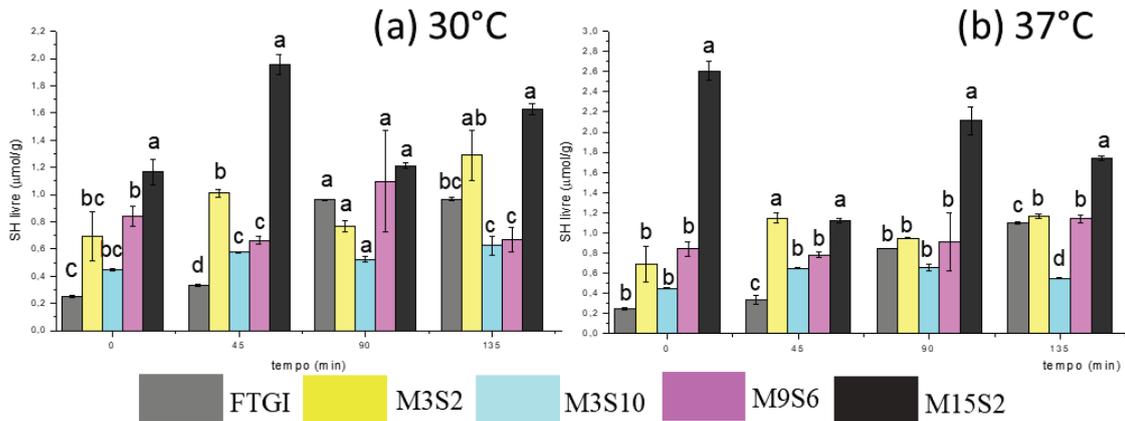
4.1.5 Grupamentos sulfidrilas livres (-SH)

Durante o processo de mistura de massa elaborada com farinha de trigo, ocorre a oxidação dos grupamentos -SH dos resíduos de cisteína. A oxidação ocorre dentro e entre as moléculas de proteína formadoras da rede de glúten – gliadina e glutenina. As ligações S-S, então estabelecidas, são responsáveis pela formação da rede de glúten, logo, determinantes nas propriedades reológicas da farinha (DELCOUR et al., 2012).

A Figura 10 apresenta as respostas para esta quantificação nas duas temperaturas de incubação, 30 e 37°C. O teste de sulfidrilas livres é realizado a partir do glúten da farinha, desta forma não foi possível realizar a análise da amostra M15S10 pela ausência da formação do glúten (Tabela 6). Ocorreu um aumento do conteúdo de grupos sulfidrilas livres nas amostras no mesmo tempo de incubação. A amostra que apresentou os maiores valores ($p < 0,05$), em

todas as situações, é M15S2, amostra com maior percentual de substituição dentre as avaliadas neste teste.

Figura 10 – Grupamentos –SH livres nas misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Letras diferentes para um mesmo tempo em cada temperatura de incubação representam diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Analisando o comportamento de cada amostra, observa-se um aumento no conteúdo de –SH livres no decorrer do tempo. A extensão do tempo de incubação e a elevação da temperatura proporcionaram um aumento na concentração de SH livre. Temperaturas e tempo de incubação mais altos podem promover o processo de hidrólise enzimática e divisão da estrutura do glúten (PÉREZ et al., 2005). A despolimerização do glúten resulta em aumento no conteúdo de –SH livres indicativo de alterações das ligações S-S.

A quantificação dos grupos sulfidril livres foi realizada para uma melhor compreensão dos efeitos da adição do CFM e TS no comportamento da massa. Estes grupamentos possuem grande influência na formação e estrutura da massa (DELLOUR et al., 2012), logo a elevada quantidade de grupamentos sulfidril livres fornece informação sobre a formação não satisfatória da rede de glúten.

4.1.6 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

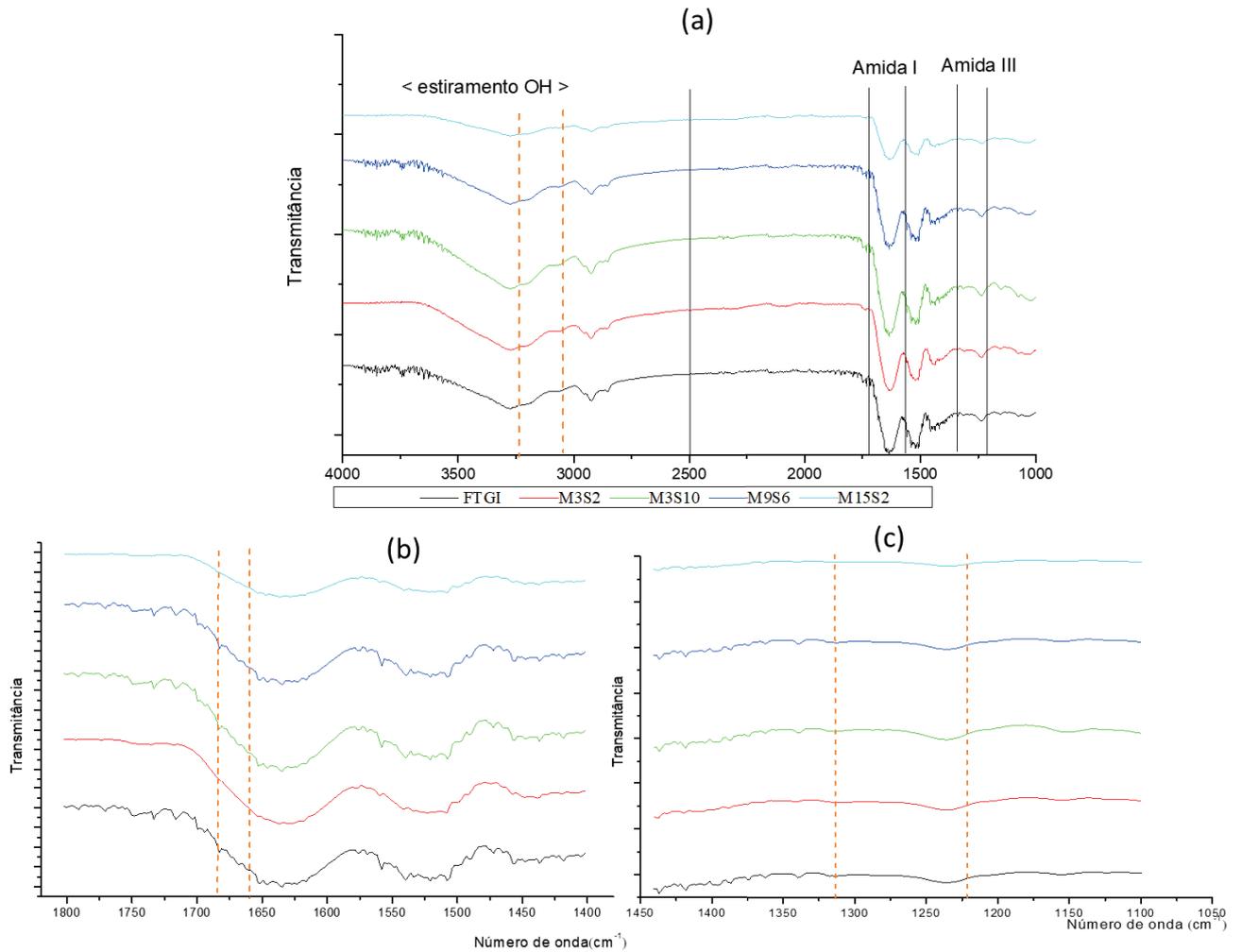
A Figura 11 apresenta o espectro de absorção comparativo das amostras de glúten. Nesta região, as variações nas estruturas são diferenciadas pelos picos de absorção característicos e pela intensidade da absorção da energia.

A avaliação dos resultados foi conduzida através da avaliação dos espectros da Amida I ($1570 - 1720 \text{ cm}^{-1}$) e Amida III ($1200 - 1340 \text{ cm}^{-1}$) e o estiramento OH ($2500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$). A banda Amida III pode explicar o mecanismo químico de interações entre as proteínas do

glúten e as fibras alimentares enquanto que a banda Amida I pode ser um indicador de alterações estruturais de desidratação (NAWROKA et al., 2020).

A Figura 11 (a) mostra o espectro completo. Em 11b e 11c, uma ampliação das bandas Amida I e Amida II, respectivamente. As linhas pretas indicam a delimitação da região de cada banda e a linha laranja indicam os pontos específicos de cada evento.

Figura 11 – Representação gráfica da resposta FT-IR no glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



(a) Espectro completo; (b) ampliação da banda Amida I; (c) ampliação da banda Amida III

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Segundo Nawrocka et al. (2017), alterações na região de estiramento OH indicam que parte das moléculas de água interagem com a fibra em vez das moléculas de proteínas. O restante das moléculas de água foram ligações de hidrogênios com as proteínas do glúten, as quais modificam as propriedades viscoelásticas, tornando-a mais rígida.

O comportamento das misturas na banda Amida I (Figura 11b), está relacionado com possíveis interações químicas (ocorridas durante mistura da massa) entre as proteínas do glúten e as fibras adicionadas (NAWROCKA et al., 2020). Os números de onda 1659 e 1683 indicam sinais de desidratação da rede de glúten (NAWROCKA et al., 2018). A presença das fibras está relacionada com a desidratação do glúten, logo, é razoável esperar alterações na rede viscoelástica (BOCK; DAMODARAN, 2013).

A Figura 11 (c) expõe o comportamento das amostras na banda Amida III. Nessa região, Nawrocka et al., (2018) identificou as bandas 1221 e 1313 indicativas da presença de celulose na rede de glúten através de ligações éter formada entre estas moléculas.

A região do estiramento OH ($2500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$) fornece informação sobre a água presente para a formação da rede de glúten (NAWROCKA et al., 2020). Em 11 (a) é possível observar dois eventos importantes. A banda 3237 pode ser conectada com a formação de ligações fracas de hidrogênio entre moléculas de água e proteínas de glúten (NAWROCKA et al., 2017). As ligações fortes entre estas moléculas podem ser examinadas no número de onda 3051 (LIU et al., 2002). Nawrocka et al., (2017) sugerem que as ligações de hidrogênio são necessárias para a formação da rede de glúten. Alterações na região $3046 - 3058 \text{ cm}^{-1}$ sugerem que as misturas estão estabelecendo um número maior de ligações de hidrogênio que podem ser das moléculas de água com as fibras alimentares ou com as proteínas do glúten (LIU et al., 2002).

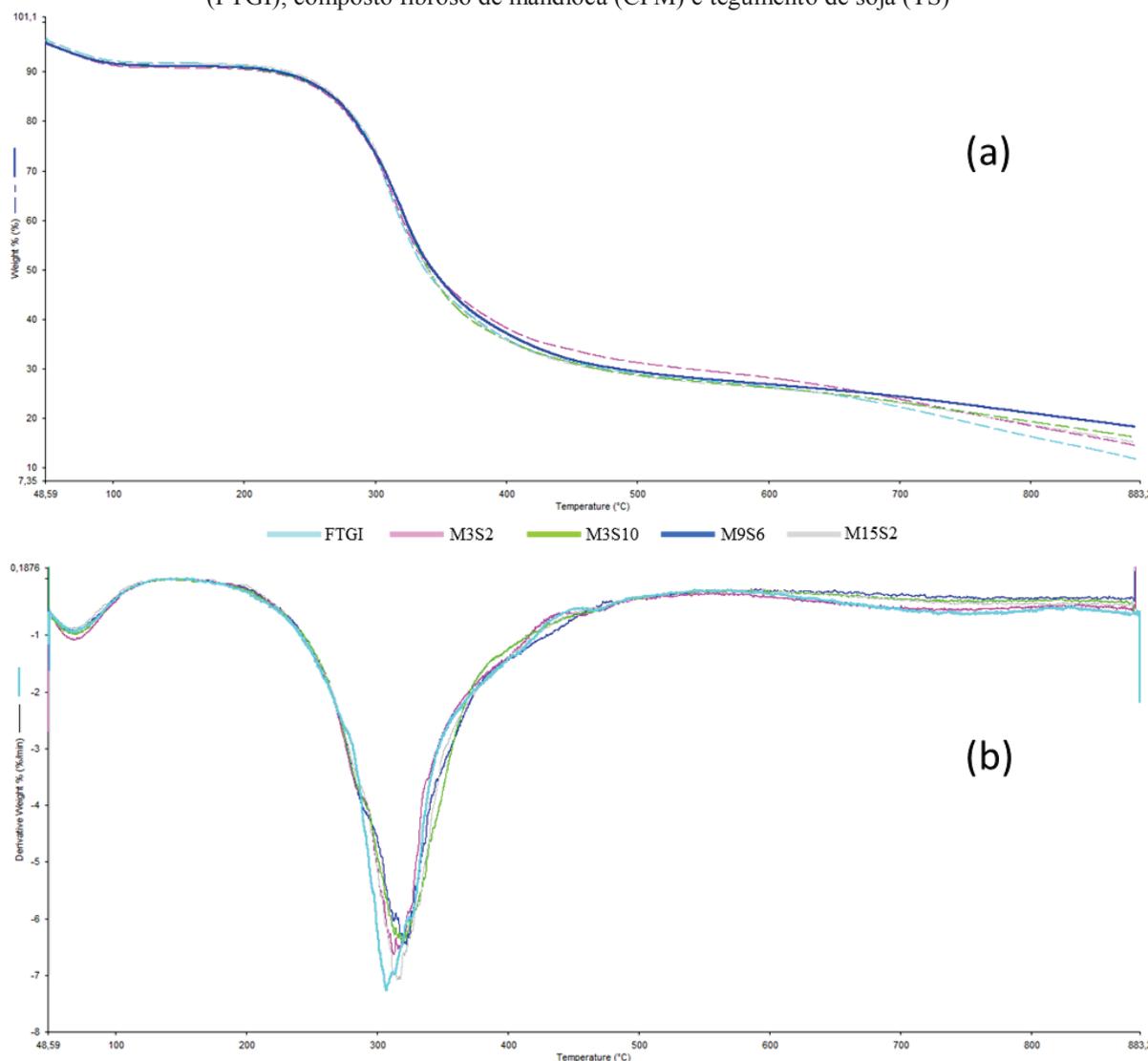
4.1.7 Análise termogravimétrica (TG)

O gráfico termogravimétrico de uma amostra em desidratação mostra a perda de massa com o aumento da temperatura. Além disso é possível prever a quantidade e a velocidade desta perda. A DTG (derivada termogravimétrica) apresenta um pico definido de perda de massa o que nos mostra o fenômeno com mais clareza (FESSAS; SCHIRALDI, 2001).

Os perfis termogravimétricos da Figura 12 mostram comportamentos semelhantes. Cada faixa de temperatura apresenta valores similares de perda de massa, independentemente da quantidade de fibra alimentar adicionada. A Tabela 6 expõe as informações de perda de massa nas faixas indicadas por Díaz et al., (2019): $50 - 190 \text{ }^\circ\text{C}$ representa o evento principal de perda de água; $190 - 340^\circ\text{C}$ relaciona a decomposição de carboidratos e alguns peptídeos e $340 - 500^\circ\text{C}$ eventos atribuídos à oxidação da matéria orgânica. Além disso, observa-se o resíduo 800°C , pico de perda de massa e área do pico.

Todas as amostras são termicamente estáveis até 200°C, aproximadamente. A perda de massa até esta temperatura é reduzida quando comparada ao pico principal. De acordo com as faixas de temperaturas pré-estabelecidas, provavelmente, trata-se de perda de água.

Figura 12 – Análise termogravimétrica do glúten das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



(a) Perda de massa; (b) derivada TG

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 12 (a) observa-se que a maior perda se encontra na segunda faixa pré-estabelecida 190 – 340°C. Neste estágio, além da decomposição dos carboidratos e alguns peptídeos, ocorre, também, a quebra de fibras alimentares com formação de caramelo e carvão (RANGEL, et al., 2011). A quebra de componentes mais estáveis tais como celulose, lignina e hemicelulose, ocorre no terceiro estágio, a temperaturas acima de 340°C.

Tabela 6 - Perda de massa do glúten da FTGI parcialmente substituída por CFM e TS nas faixas de temperatura especificadas

Amostra	Perda de massa (%)				Derivada TG	
	50 – 190 °C	190 – 340 °C	340 – 500 °C	Resíduo 800 °C	Pico (°C)	Área do pico (%)
FTGI	4,91	42,17	20,32	16,31	307,33	52,42
M3S2	5,32	39,67	19,69	18,52	340,00	44,73
M3S10	5,00	40,50	21,59	19,34	320,32	46,57
M9S6	3,85	41,99	22,10	19,22	315,47	55,20
M15S2	4,42	41,48	21,48	18,78	315,30	52,67

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O aumento na temperatura de pico, em relação à FTGI, mais noticiado nas amostras com menor teor de fibra de mandioca, pode ter ocorrido em função da celulose das fibras alimentares (principalmente do TS) que possuem uma temperatura de decomposição entre 315 – 400°C (YANG et al., 2007). A diminuição da temperatura de pico que ocorreu com o aumento da substituição da farinha de trigo, pode ter ocorrido em função da maior quantidade de sulfidrila livres (Figura 10) e, por consequência, menos pontes dissulfeto. As misturas se tornam frágeis e suscetíveis à instabilidade térmica. A superestimação do peso do glúten, causado pela fibra, pode explicar a ausência de efeitos significativos das variáveis CFM e TS no teor de glúten (Tabela 17, Apêndice A). O aumento da concentração das variáveis CFM e TS nas misturas, elevou ($p < 0,05$) o teor de sulfidrila livre, indicando que as fibras atrapalharam a formação do glúten. De acordo com a análise FT-IR, isso ocorreu devido à desidratação da rede de glúten causada a partir da competição pela água que as fibras estabelecem. Além disso, as fibras alteraram o comportamento térmico das misturas aumentando a temperatura de pico de perda de massa no aquecimento.

4.2 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

4.2.1 Propriedades de mistura

A determinação de propriedades de mistura da massa foi realizada à fim de avaliar os efeitos das substituições da FTGI. A estabilidade da massa mede a resistência ao estresse mecânico. O tempo de desenvolvimento (TD) depende da qualidade do glúten e representa o tempo necessário para que a massa alcance a consistência máxima. O índice de tolerância à mistura (ITM), apresenta o enfraquecimento da massa (JUNQUEIRA, et al., 2007) que,

juntamente com a estabilidade, retratam as propriedades viscoelásticas do glúten. Combinando altos valores de estabilidade e tempo de desenvolvimento com baixos valores de índice de tolerância à mistura, temos uma farinha de alta qualidade para panificação. A absorção de água (AA) é um fenômeno complexo que deve ser correlacionado aos demais parâmetros. Além disso, depende de fatores como tipo de farinha, característica do glúten e presença de outros componentes, por exemplo, as fibras alimentares (FRAKOLAKI, et al., 2018).

As respostas de tais parâmetros apresentadas na Tabela 7 confirmam a complexidade do efeito das substituições no comportamento da massa. A substituição de FTGI pelo CFM e TS tornou as massas mais fortes. O aumento da substituição acarreta em farinhas com maior estabilidade e TD, além de menor ITM atendendo aos requisitos de qualidade da farinha para panificação. Peressini; Sensidoni (2009) e Gül; Sem (2017) também encontraram valores elevados de estabilidade em seus respectivos estudos de adição de fibras e produtos de panificação.

Porém, como mencionado à adição de fibras alimentares leva a uma diluição do glúten prejudicando sua formação. A interferência das fibras alimentares altera consideravelmente as propriedades reológicas da farinha e, por consequência, a performance de panificação.

Tabela 7 - Propriedades de mistura (farinografia) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	Estabilidade (min)	ITM	TD (min)	AA (%)
FTGI	9,35 ± 0,25	29,50 ± 0,50	8,00 ± 0,20	69,15 ± 0,05
M3S2	9,80 ± 0,10	34,50 ± 0,80	8,25 ± 0,25	73,95 ± 0,25
M3S10	7,60 ± 0,40	30,50 ± 1,50	10,65 ± 0,15	79,00 ± 0,20
M9S6	12,12 ± 0,07	28,25 ± 1,25	14,22 ± 0,37	81,47 ± 0,62
M15S2	24,45 ± 0,35	31,50 ± 0,50	8,60 ± 0,20	78,65 ± 0,15
M15S10	27,90 ^a ± 0,70	13,50 ± 0,50	18,95 ± 1,25	84,50 ± 0,20

ITM: índice de tolerância à mistura; TD: tempo de desenvolvimento; AA: absorção de água

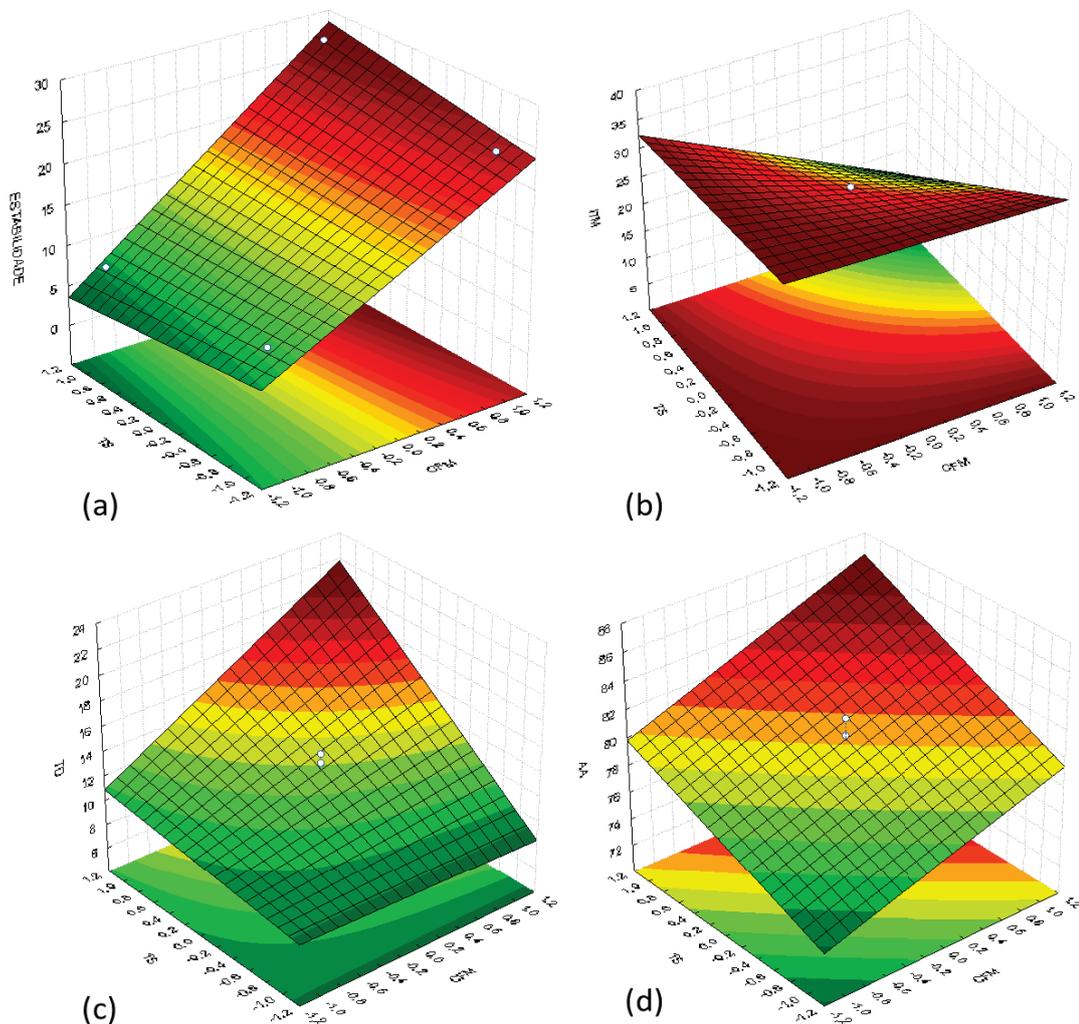
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Segundo Khalil (2000), ao estudar a substituição da farinha de trigo por farinha de mandioca, revela um aumento do tempo de desenvolvimento da massa. Os autores atribuíram essa alteração ao maior teor de fibras alimentares da farinha de mandioca, que absorveu a água lentamente. Além disso, as fibras alimentares interagem com o glúten e impedem sua correta hidratação (PENELLA; COLLAR; HAROS, 2008). A interação das fibras alimentares com o glúten pode ser explicada pela presença de grande número de grupos hidroxila em sua estrutura,

o que proporciona maiores interações com a água através de ligações de hidrogênio (ROSELL; ROJAS; BARBER, 2001).

A Tabela 16 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS nas propriedades de mistura. A Figura 13 apresenta os diagramas de superfície de resposta para os parâmetros estudados nas propriedades de mistura. A Figura é dividida em (a), (b), (c) e (d) que são estabilidade, índice de tolerância à mistura (ITM), tempo de desenvolvimento (TD) e absorção de água (AA), respectivamente. O aumento das proporções de CFM e TS acarreta em estabilidade e TD maiores e ITM maior.

Figura 13 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de mistura



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

(a) Estabilidade (min); (b) Índice de tolerância à mistura (ITM); (c) Tempo de desenvolvimento (TD); (d) Absorção de água (%)

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O aumento da substituição da FTGI pelo CFM e TS acarretou em um aumento significativo da AA das amostras - Figura 13(d), causado pela interação das fibras alimentares, através dos seus grupos hidroxila e a água. Essa elevação ocorreu independentemente da proporção das fibras alimentares em cada amostra. A relação observada na Tabela 7, entre o aumento de substituição da FTGI e elevação da AA é uma característica de farinhas compostas, pelo fato dos componentes possuírem quantidade e velocidade de absorção diferentes (KHALIL, 2000). Além de interferir na rede de formação de glúten (ROSELL, et al., 2005; AHMED et al., 2013), as fibras alimentares levam a uma hidratação não uniforme durante a mistura da massa (JACOBS et al., 2016).

Os maiores valores de AA ($p < 0,05$) estão entre as misturas com maior quantidade de CFM. De acordo com a Figura 8, o TS apresentou tamanho de partícula maior, fato que faz com que absorva água mais lentamente em relação ao CFM. Além disso, o CFM apresenta uma característica de solubilidade a frio (determinada em trabalhos anteriores) indicando uma interação imediata com a água ao contrário do TS que precisaria de um tempo maior para absorver água.

4.2.2 Propriedades de pasta e perfil de textura

As propriedades de pasta apresentam o comportamento do amido, na presença de água, durante o aquecimento e agitação mecânica (BRESSIANI et al., 2017). Quando o CFM e TS são adicionados na FTGI sua composição química é alterada. O amido fica diluído e, conseqüentemente, as propriedades de pasta são modificadas. Outro fator que contribui é a competição dos componentes das misturas pela água presente no meio que vai variar com a proporção das misturas estabelecidas (Tabela 7). A Tabela 8 mostra as respostas para os parâmetros pico de viscosidade, quebra, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta das amostras parcialmente substituídas por CFM e TS.

Tabela 8 - Propriedades de pasta (RVA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostras	Pico de Viscosidade (RVU)	Quebra (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Temperatura de Pasta (°C)
FTGI	191,25 ± 3,92	59,37 ± 2,20	248,41 ± 3,16	116,54 ± 1,46	88,13 ± 0,13
M3S2	234,63 ± 3,46	81,59 ± 0,84	274,17 ± 6,25	121,13 ± 1,96	84,43 ± 0,33
M3S10	176,59 ± 4,42	74,05 ± 1,13	201,46 ± 4,29	98,92 ± 1,00	82,28 ± 0,82
M9S6	175,98 ± 6,23	68,33 ± 0,16	202,83 ± 4,60	95,18 ± 1,43	85,41 ± 1,03
M15S2	148,79 ± 0,96	48,46 ± 0,21	187,09 ± 2,84	86,75 ± 2,08	86,05 ± 0,45
M15S10	109,88 ± 0,45	46,29 ± 0,21	132,05 ± 0,05	68,50 ± 0,75	78,93 ± 4,88

RVU: Rapid Visco Unit

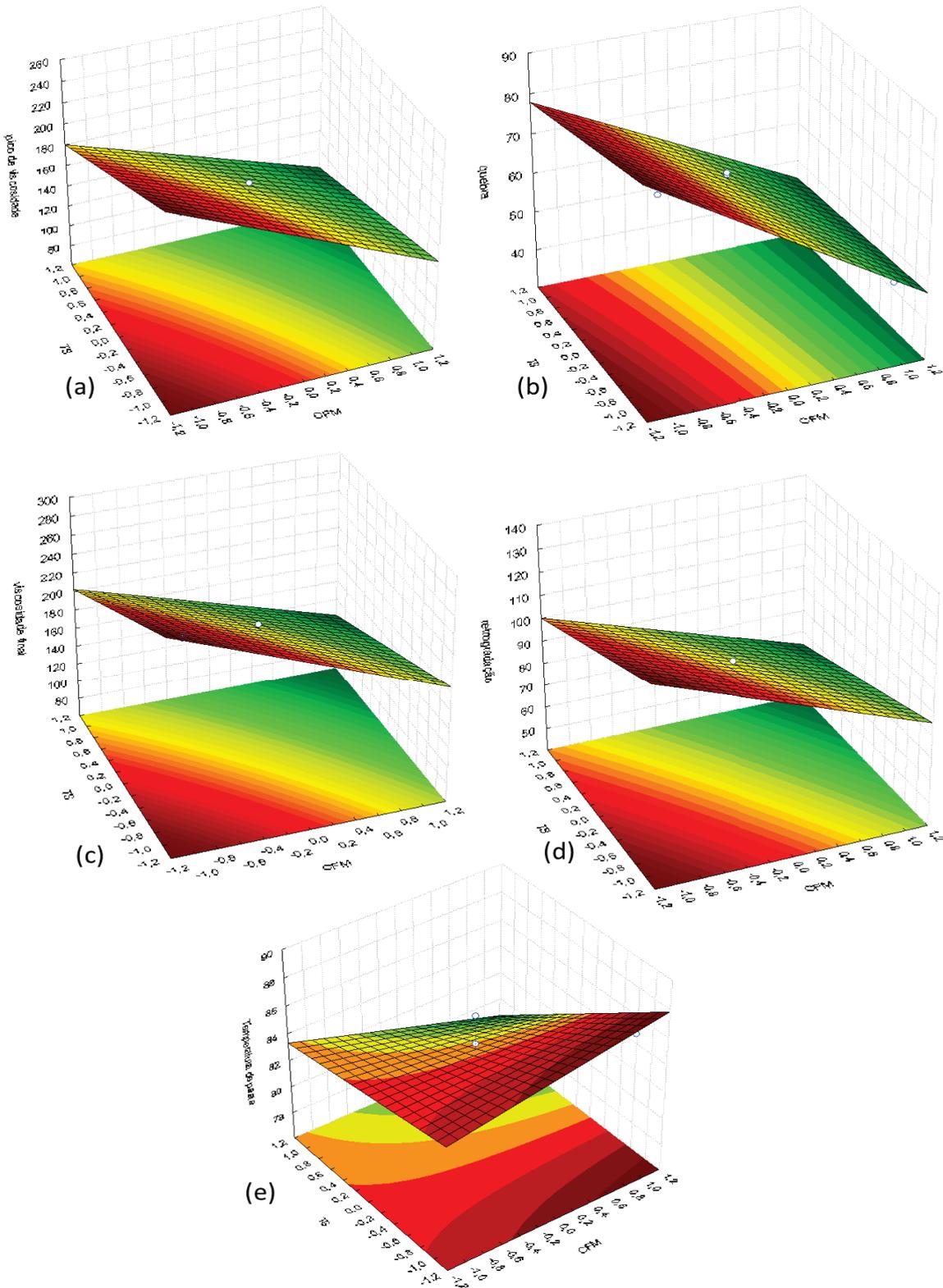
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O pico de viscosidade reflete a extensão da gelatinização do grânulo de amido e mostra a tendência da viscosidade da amostra durante a mistura. Segundo RAGAEI; ABDEL-ALL, (2006), o aumento da quantidade de amido na amostra contribui para a maior viscosidade, relacionado com a composição química das amostras. As quantidades de fibras alimentares, proteínas e lipídios podem interferir na absorção de água pelo amido levando à diferenciação nos valores de pico de viscosidade (SINGH, et al., 2011). Isso ocorre, pois, as fibras alimentares são conhecidas por absorver grande quantidade de água, desta forma, a presença dessas nas misturas acarreta em uma competição pela absorção de água limitando a absorção de água pelos grânulos de amido e conseqüentemente o seu perfil de gelatinização (KHALIL, 2000).

A Figura 14 apresenta os gráficos de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS nas respostas pico de viscosidade (a), quebra de viscosidade (b), viscosidade final (c), retrogradação (d) e temperatura de pasta (e). Todos dos parâmetros avaliados apresentaram redução com o aumento da substituição pelo CFM e TS. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS nas propriedades de pasta (RVA).

As matérias-primas adicionadas na FTGI alteraram a absorção da água (Tabela 7), conseqüentemente o pico de viscosidade Figura 14a. A diminuição da disponibilidade de água interfere no intumescimento do grânulo de amido afetando o pico de viscosidade (LIU et al., 2016).

Figura 14 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de pasta



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

(a) Pico de viscosidade; (b) quebra de viscosidade; (c) viscosidade final; (d) retrogradação; (e) temperatura de pasta

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A quebra da viscosidade é causada pela ruptura dos grânulos de amido intumescidos. A diminuição da quebra indica maior estabilidade do amido frente ao aquecimento e agitação (VANDEPUTTE et al., 2003). Na análise da quebra de viscosidade da Figura 14b, o aumento da concentração das variáveis (principalmente o CFM) gera menor quebra de viscosidade e, conseqüentemente, leva a uma maior estabilidade da amostra frente ao aquecimento e força de cisalhamento, uma vez que este composto apresenta grande quantidade de amido (Tabela 3). Além disso, a menor disponibilidade de água pode não ter permitido o intumescimento completo dos grânulos de amido, não sendo o suficiente para que ocorresse a fragmentação dos grânulos.

A viscosidade final é atingida durante o processo de resfriamento do gel e pode estar diretamente relacionada com a retrogradação (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). O aumento da substituição da FTGI acarreta a diminuição da viscosidade final (Tabela 7). As duas variáveis analisadas diminuem o valor da viscosidade final (Figura 14c). As amostras com maior valor de viscosidade final e retrogradação são a FTGI e M3S2, com 0 e 5% de substituição da FTGI, respectivamente o que sugere que 5% de substituição não é suficiente para causar alterações nas propriedades de pasta.

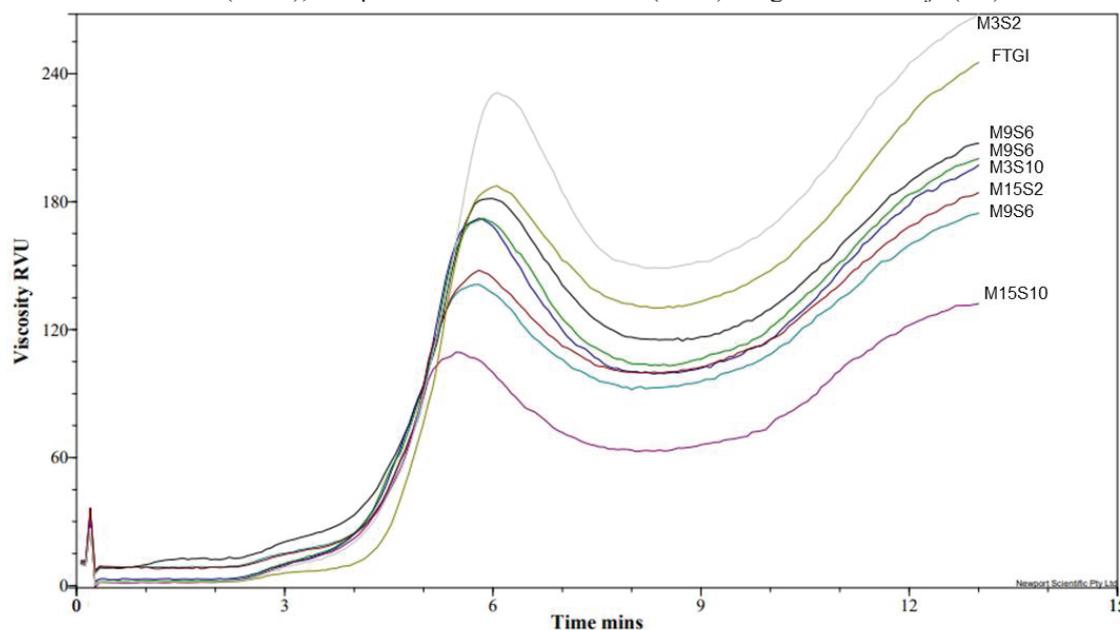
O parâmetro de retrogradação descreve a fase em que ocorre uma reassociação das moléculas de amilose e amilopectina resultando na formação de um gel. Esta fase é relacionada com a reorganização das moléculas de amido (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). Com um comportamento semelhante à viscosidade final, a retrogradação foi afetada pelas duas variáveis (Figura 14d).

A temperatura de pasta indica a temperatura que a viscosidade começa a aumentar durante o período de aquecimento (SINGH et al., 2011). Em 14e observa-se que o aumento da concentração do CFM e TS diminui a temperatura de pasta. O aumento do CFM e TS faz com que as misturas iniciem o aumento de viscosidade antes.

A Figura 15 mostra o comportamento das misturas contendo FTGI, CFM e TS no perfil de viscosidade. A diminuição no pico de viscosidade e quebra juntamente com o aumento da viscosidade final e retrogradação sugere que, a substituição parcial da FTGI por CFM e TS ocasiona a complexação com a proteína e fibras alimentares, além de uma competição pela absorção de água dos amidos acarretando em farinhas com estrutura mais organizada e estável à altas temperaturas. Além disso, é possível observar um aumento mais intenso no início da curva de viscosidade das amostras adicionadas das fibras alimentares, em relação a FTGI, sendo esse aumento mais acentuado nas amostras com maior concentração de CFM. Isso pode ser um indicativo de viscosidade a frio do CFM devido ao tratamento dessa matéria-prima pela

indústria. A viscosidade a frio faz com que as misturas que contenham CFM (especialmente em maiores quantidades) apresentem interação com a água mais rápida do que a FTGI presente na mistura ocasionando o aumento da curva de viscosidade, em relação à FTGI.

Figura 15 – Representação gráfica do perfil de viscosidade das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Tabela 9 mostra a análise do perfil de textura dos géis das misturas de FTGI parcialmente substituída com CFM e TS. A elasticidade é medida da maneira como a estrutura da amostra quebra durante a mastigação. A coesividade é a medida da força das ligações internas que compõem a estrutura, capacidade da amostra em suportar deformações. Um gel de amido coeso tem como principais fenômenos a lixiviação das cadeias de amilose dos grânulos e sua reassociação durante a retrogradação (SANDHU; SINGH, 2007).

Tabela 9 - Análise de perfil de textura (TPA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostras ¹	Firmeza (g)	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade (g)
FTGI	235,07 ± 6,55	0,93 ± 0,00	0,54 ± 0,01	126,69 ± 1,53
M3S2	349,57 ± 3,69	0,92 ± 0,00	0,55 ± 0,00	192,80 ± 3,21
M3S10	263,18 ± 2,15	0,97 ± 0,03	0,55 ± 0,00	144,14 ± 1,78
M9S6	300,70 ± 11,56	0,95 ± 0,005	0,56 ± 0,01	167,42 ± 3,49
M15S2	188,23 ± 0,44	0,94 ± 0,01	0,55 ± 0,02	103,67 ± 4,63
M15S10	217,07 ± 2,09	0,96 ± 0,00	0,53 ± 0,02	114,99 ± 2,36

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

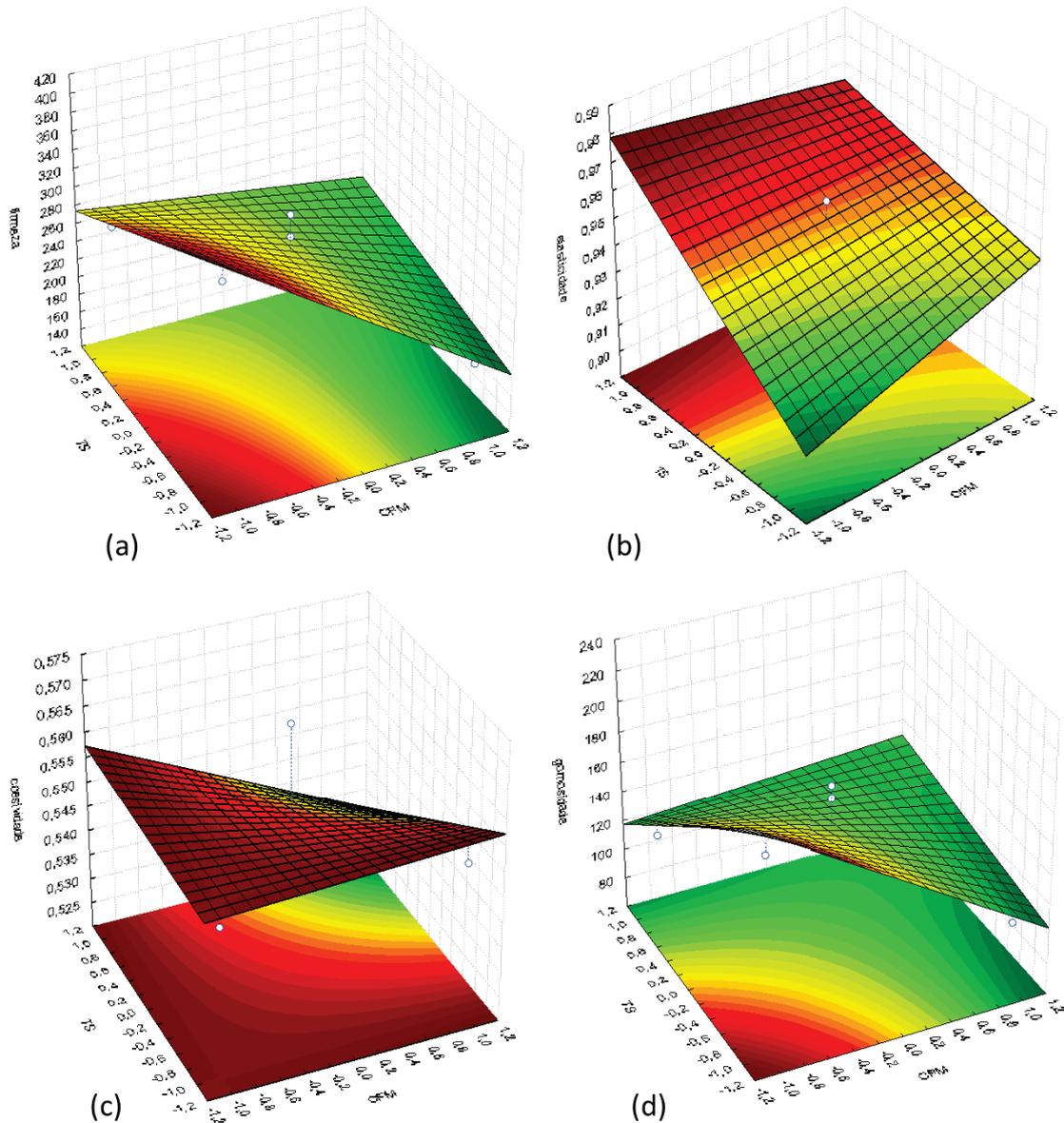
A retrogradação do amido contribui para as modificações dos parâmetros do TPA, principalmente no aumento da firmeza e na diminuição da adesividade (YU et al., 2012; QIU, et al., 2017). A presença das fibras alimentares nas misturas afetou a retrogradação e, conseqüentemente, a firmeza dos géis. A maior viscosidade final e maior retrogradação da amostra M3S2 acarretaram em maior firmeza do gel. As amostras com maior concentração de CFM (M15S2 e M15S10) apresentaram a menor firmeza (Figura 16). As fibras causam essa desordem por possuírem superior capacidade de retenção de água em relação ao amido, logo, a distribuição de água no sistema seria heterogênea (PURHAGEN et al., 2012).

A gomosidade é associada com a força necessária para que ocorra a desintegração do gel. A amostra que apresentou maior valor para esse parâmetro foi M3S2, é possível associar essa informação com as Tabelas 8 (viscosidade final) e 9 (dureza do gel) onde esta amostra apresentou os maiores valores indicando que a farinha desta amostra necessita de uma força maior para desintegrar o seu gel uma vez que tem maior viscosidade final e dureza.

A Figura 16 apresenta os gráficos de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS nas respostas firmeza (a), elasticidade (b), coesividade (c) e gomosidade. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS no perfil de textura (TPA) das amostras.

A característica de viscosidade a frio apresentada pelo CFM reduz o poder de retrogradação (HENRIQUE et al., 2008). O aumento da proporção desta matéria-prima nas misturas pode ter favorecido a queda na retrogradação e, conseqüentemente, da firmeza do gel.

Figura 16 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na análise de perfil de textura



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 (a) firmeza; (b) elasticidade; (c) coesividade; (d) gomosidade
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

4.2.3 Extensiografia

Os efeitos observados na redução das propriedades extensiográficas da massa estão relacionados às alterações na rede de glúten (SCHIMIELE et al., 2012). A Tabela 10 mostra as respostas de resistência à extensão e extensibilidade que compõem as propriedades extensiográficas da massa.

Tabela 10 - Propriedades extensiográficas das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM), tegumento de seja (TS)

Amostras	Resistência à extensão (g)	Extensibilidade (mm)
FTGI	144,11 ± 7,51	30,28 ± 1,02
M3S2	108,81 ± 4,57	24,08 ± 0,76
M3S10	109,48 ± 7,41	23,40 ± 0,72
M9S6	118,83 ± 2,12	19,49 ± 0,42
M15S2	142,92 ± 11,05	17,12 ± 1,03
M15S10	105,63 ± 11,81	14,16 ± 0,79

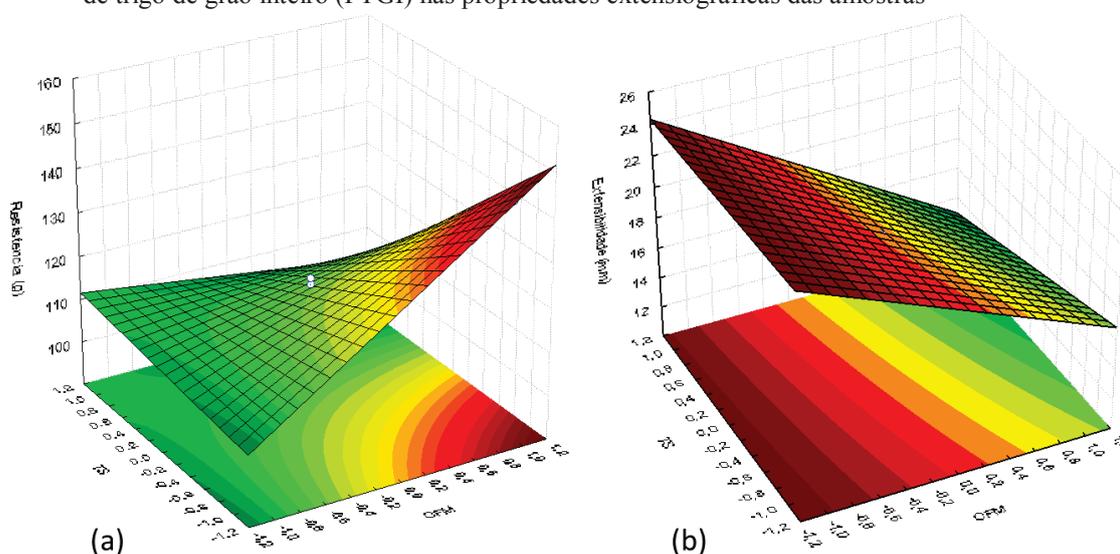
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A diminuição dos valores de resistência à extensão e extensibilidade pode ter ocorrido devido uma diluição das proteínas formadoras do glúten, pelas fibras alimentares, prejudicando sua formação. Boita et al., (2016), ao avaliar as propriedades de formação da massa de farinha de trigo adicionada de farelo de trigo, observaram redução na extensiografia da massa. Segundo os autores, a redução desta característica causa impacto nos atributos de qualidade dos produtos de panificação, uma vez que altera a capacidade de retenção de gás e o volume do pão.

O aumento da quantidade de CFM adicionado aumentou a resistência e deixou a massa menos extensível. Anil (2007) estudou a aplicação de casca da avelã (fibra alimentar insolúvel) em pão e verificou a mesma resposta, aumento da resistência à extensão e queda da extensibilidade com a elevação da quantidade de fibra alimentar adicionada aumentando a força da farinha.

A Figura 17 mostra os gráficos de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS nas respostas resistência à extensão e extensibilidade. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS nas propriedades extensiográficas das amostras.

Figura 17 - Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nas propriedades extensiográficas das amostras



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 (a) Resistência à extensão; (b) extensibilidade
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 17 (a), observa-se o aumento da resistência à extensão com o aumento da proporção de CFM e que a concentração de TS interfere pouco neste parâmetro. Em 17 (b), o aumento da proporção das duas variáveis, diminuiu a extensibilidade da massa. Gül; Sen (2017) alcançaram resultados semelhante em seu estudo de adição da fibra da semente de romã no pão. O aumento da concentração destas fibras acarreta em massas mais rígidas e menos extensíveis.

Valores reduzidos de extensibilidade e elevados de resistência à extensão com o aumento da proporção de fibras adicionadas, são sintomas de enfraquecimento da rede de glúten (GOLDSTEIN; ASHRAFI; SEETHARAMAN, 2010) devido à perturbação que elas causam no processo de formação da rede viscoelástica (SEETHARAMAN et al., 1997).

O aumento da concentração do CFM, apesar de aumentar a resistência à extensão da farinha, não garante uma performance de panificação adequada, já que, segundo a Tabela 5, o aumento da proporção desta matéria-prima foi dificultando o estabelecimento da rede de glúten, até chegar ao ponto de impedir a formação da mesma.

4.2.4 Reofermentografia

A reofermentografia fornece informações sobre a capacidade de geração e retenção do gás produzido na massa. Por isso, é utilizada para prever o comportamento da massa durante a fermentação (MARTI et al., 2015). A Tabela 111 compara as propriedades de fermentação das

misturas de FTGI, CFM e TS. No desenvolvimento da massa, quando a farinha de trigo é utilizada sem substituição (FTGI), apresenta maiores valores de Hm (altura máxima de desenvolvimento da massa) e hm (altura no final do ensaio). As demais amostras mostraram valores iguais para estes parâmetros, indicando que, durante o tempo de ensaio, a altura se manteve constante.

O desenvolvimento da massa foi alterado pela presença de fibras alimentares, porque elas comprometeram a formação da rede de glúten (Tabela 5) e, conseqüentemente, causam desordem nos parâmetros de altura da massa. Provavelmente, as interações entre as proteínas do glúten e as fibras alimentares impediram a expansão da massa no tempo de análise (3h) (WANG; ROSELL; BARBER, 2002).

Tabela 11 - Propriedades de fermentação das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	Desenvolvimento da massa			Liberação de gás			Coeficiente de retenção (%)
	Hm (mm)	h (mm)	t ₁ (h)	H'm (mm)	t' ₁ (h)	t _x (min)	
FTGI	38,30	33,20	1:57	68,9	00:45	40	75,70
M3S2	29,70	29,70	3:00	73,8	2:19	39	73,80
M3S10	14,00	14,00	2:58	75,0	2:19	28	72,00
M9S6	6,35	6,35	3:00	76,3	2:22	33	70,95
M15S2	11,20	11,20	3:00	69,0	2:06	24	69,00
M15S10	0	0	3:00	70,0	3:00	43	77,90

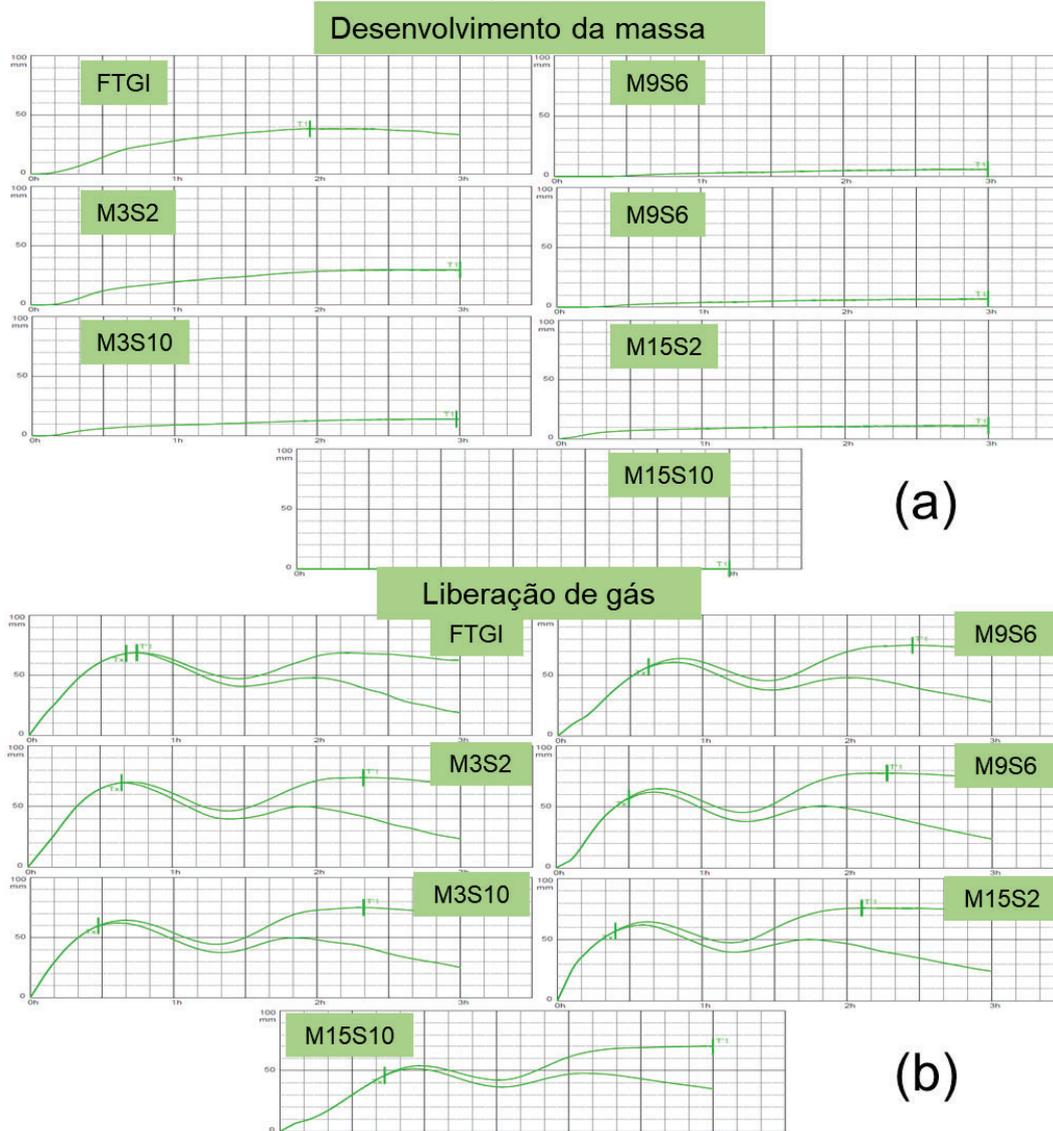
Hm: altura máxima de desenvolvimento da massa; hm: altura no final do ensaio; t₁: tempo para alcançar o desenvolvimento máximo; H'm: altura máxima na produção de gás; t'₁: tempo para obter H'm; t_x: tempo de porosidade da massa, quando a massa começa a perder CO₂.

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Com relação tempo de desenvolvimento máximo da massa (t₁) observou-se um aumento com a elevação do percentual de substituição de fibras alimentares. Diante disso, na amostra M15S10, o tempo se apresenta em 3h, mas não houve desenvolvimento da massa, portanto trata-se do tempo de análise que correu como nas demais amostras.

É possível associar o desenvolvimento da massa com o volume específico do pão (resultados apresentados no item de panificação), na medida em que ele também diminui significativamente com o aumento do percentual de fibras alimentares. A Figura 18 apresenta o comportamento das amostras no desenvolvimento da massa (a) e na produção de CO₂ (b).

Figura 18 – Comportamento do desenvolvimento da massa e produção/liberação de gás das massas de pão elaborado com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Na produção/liberação de gás, o valor de t'_1 aumentou com o aumento do conteúdo de fibras alimentares nas amostras o que indica que a produção do gás foi mais lenta no período de análise. As fibras alimentares, devido sua constituição apresentam diferenças na velocidade da absorção de água. Para as que possuem absorção mais rápida, ainda no processo de mistura da massa, tem-se a possibilidade de suprir através da adição de mais água (observando o parâmetro de consistência da massa). As fibras alimentares possuem tempo maior para absorver água, irão fazer isso somente na etapa de fermentação da massa prejudicando, assim, a atividade da levedura e a produção de CO_2 . A presença das fibras alimentares pode ter auxiliado (fisicamente), no primeiro momento, na retenção do CO_2 produzido. No entanto, a retenção do

gás não consegue se manter devido à escassez de ligações dissulfeto (elevada concentração de sulfidrilas livres – Figura 10), importantes na formação da rede de glúten. Consequentemente, inicia-se o processo de liberação de gás (tx) e, com o aumento do percentual de fibras alimentares a estrutura do glúten fica enfraquecida e esse processo acontece antes.

Embora a adição do CFM e TS tenha afetado a formação da rede glúten, os parâmetros de propriedades de mistura mostraram uma farinha com boa qualidade de panificação. As variáveis influenciaram significativamente o índice de tolerância à mistura. A redução da quebra de viscosidade do amido com o aumento na concentração das matérias-primas mostra, também, uma farinha mais estável. A redução da retrogradação e viscosidade final, com o aumento das variáveis, relaciona-se ao aumento do CFM que possui a propriedade de viscosidade a frio. A adição do CFM e TS afetou as propriedades extensiográficas a reofermentografia da massa, o aumento da substituição da FTGI acarretou na diminuição da resistência à extensão, extensibilidade, desenvolvimento da massa e retenção do gás.

4.3 PROPRIEDADES DE HIDRATAÇÃO DA MASSA

4.3.1 Capacidade de intumescimento

As propriedades de hidratação da massa foram estudadas através da capacidade de intumescimento (Tabela 12). A capacidade e intumescimento pode ser definida como a fixação espontânea da água na matriz proteica dependendo, assim, da densidade, porosidade e solubilidade da matéria prima (SEIBEL; BELÉIA, 2009).

Tabela 12 – Capacidade de intumescimento das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

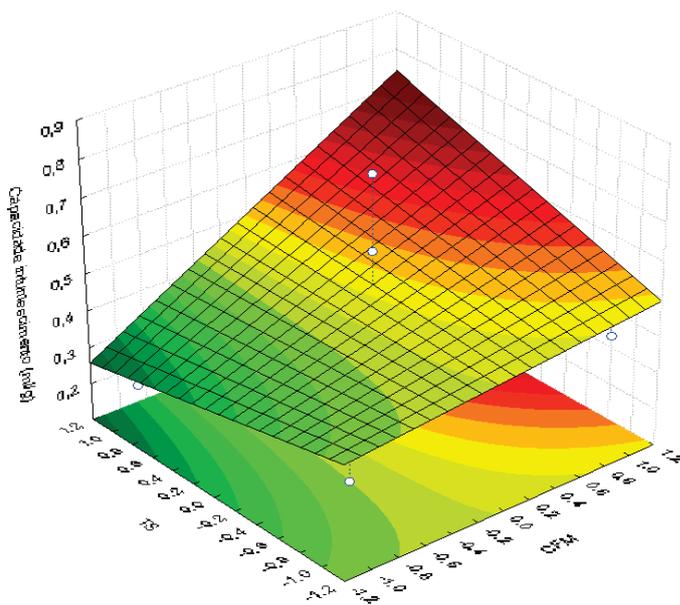
Amostra	Capacidade de intumescimento (ml/g)
FTGI	0,59 ± 0,19
M3S2	0,29 ± 0,1
M3S10	0,19 ± 0,11
M9S6	0,69 ± 0,17
M15S2	0,39 ± 0,11
M15S10	0,57 ± 0,18

Fonte: elaborada pelo autor (2020)

A Figura 19 apresenta o diagrama de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS na capacidade de intumescimento das amostras. Tabela 16 (Apêndice A) mostra

os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS na capacidade de intumescimento das amostras.

Figura 19 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na capacidade de intumescimento das amostras



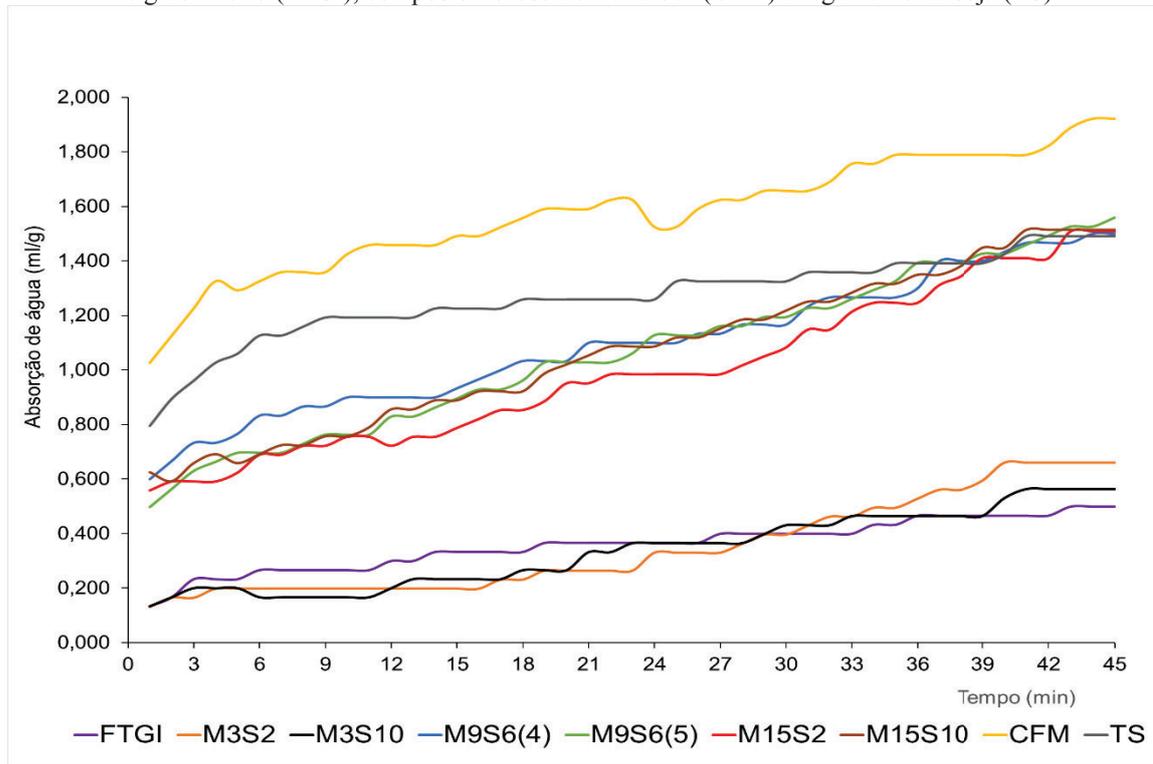
CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A adição do CFM e TS na farinha de trigo de grão inteiro ocasionou um aumento na capacidade de intumescimento das amostras. As fibras presentes nestas matérias-primas explicam tal ocorrência já que, o aumento da proporção do CFM e TS acarretou no aumento da absorção de água (Tabela 7). O elevado número de grupamentos hidroxila, presente na estrutura das fibras, leva a maiores interações com a água através de ligações de hidrogênio (ROSELL; ROJAS; BARBER, 2001).

4.3.2 Cinética de absorção

Os perfis cinéticos das amostras de farinha de trigo de grão inteiro parcialmente substituída pelo composto fibroso de mandioca e tegumento de soja estão expostos na Figura 20. As amostras com menores percentuais de CFM (M3S2 e M3S10) apresentaram um comportamento de absorção de água semelhante ao da FTGI e as demais apresentaram valores superiores, similares aos das matérias-primas isoladas.

Figura 20 – Representação gráfica da cinética de absorção da água das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Na Figura 20 observa-se que o comportamento do CFM confirma a rápida absorção de água deste composto justificando, assim, o comportamento das misturas. Assim, enfatiza-se que a quantidade de CFM na mistura interfere mais intensamente nas propriedades das misturas, assim como no teste de capacidade de intumescimento (Figura 19), propriedades de mistura (Tabela 10), perfil de análise de textura (Tabela 11) e propriedades de pasta (Tabela 12). A característica de viscosidade a frio, apresentada por esta matéria-prima, faz com que as misturas absorvam mais água no início do teste. Estas diferenças no comportamento de hidratação registram que a ligação com a água sem ausência de forças externas, pode ser orientada por diferentes mecanismos, como a absorção por capilaridade (CHAPLIN, 2003).

Tanto as amostras quanto as matérias-primas, não apresentaram uma estabilização da taxa de absorção de água o que indica que seria necessário um tempo maior de teste (3h como a análise de propriedades de fermentação, por exemplo). Assim como na análise de capacidade de intumescimento, durante o tempo de análise, as amostras, provavelmente, não absorveram água suficiente para chegar na estabilização. A quantidade de fibras alimentares nas amostras, pode ter perturbado a absorção de água já que se tratava de um processo regido somente pela capilaridade (Bressiani, 2019).

Aparentemente, o TS não interferiu no comportamento, indicando que o tegumento de soja precisa de mais tempo para absorver água em função da sua estrutura e tamanho de partícula.

Estudos avaliando a absorção de água, através da capilaridade, do farelo de trigo observaram redução da taxa de hidratação para partículas menores (CAPREZ et al., 1986; JACOBS et al., 2015). O estudo de Bressiani (2019) que avaliou a taxa de hidratação da farinha de trigo de grão inteiro de diferentes tamanhos de partículas, observou que as partículas maiores apresentaram longo período de absorção até atingir o equilíbrio.

As fibras possuem seus principais componentes diferentes em função de sua origem. O aprisionamento da água é a maneira mais importante para as fibras alimentares se ligarem na água (AUFFRET et al., 1994). Porém, segundo Chaplin (2003), existem outros mecanismos a saber: efeitos polares, ligações de hidrogênio, interações iônicas e efeitos hidrofóbicos. Isso coloca em destaque o estudo do comportamento de hidratação das fibras alimentares de diferentes origens (FÖSTE et al., 2020).

4.3.3 Capacidade de retenção de solventes (SRC)

O teste SRC quantifica a capacidade das farinhas em reter cada um dos solventes estabelecidos no método (Tabela13). A capacidade de retenção da água aumentou com a elevação do percentual de substituição da farinha, assim como a absorção de água por farinografia. Este aumento reflete a complexidade das interações que podem ocorrer devido à presença das fibras alimentares presente na FTGI e no CFM e TS, uma vez que as elas competem com os demais constituintes da farinha pela água presente no meio. Além disso, a estrutura microporosa do farelo de trigo presente nas amostras é importante na retenção da água (JACOBS et al., 2015).

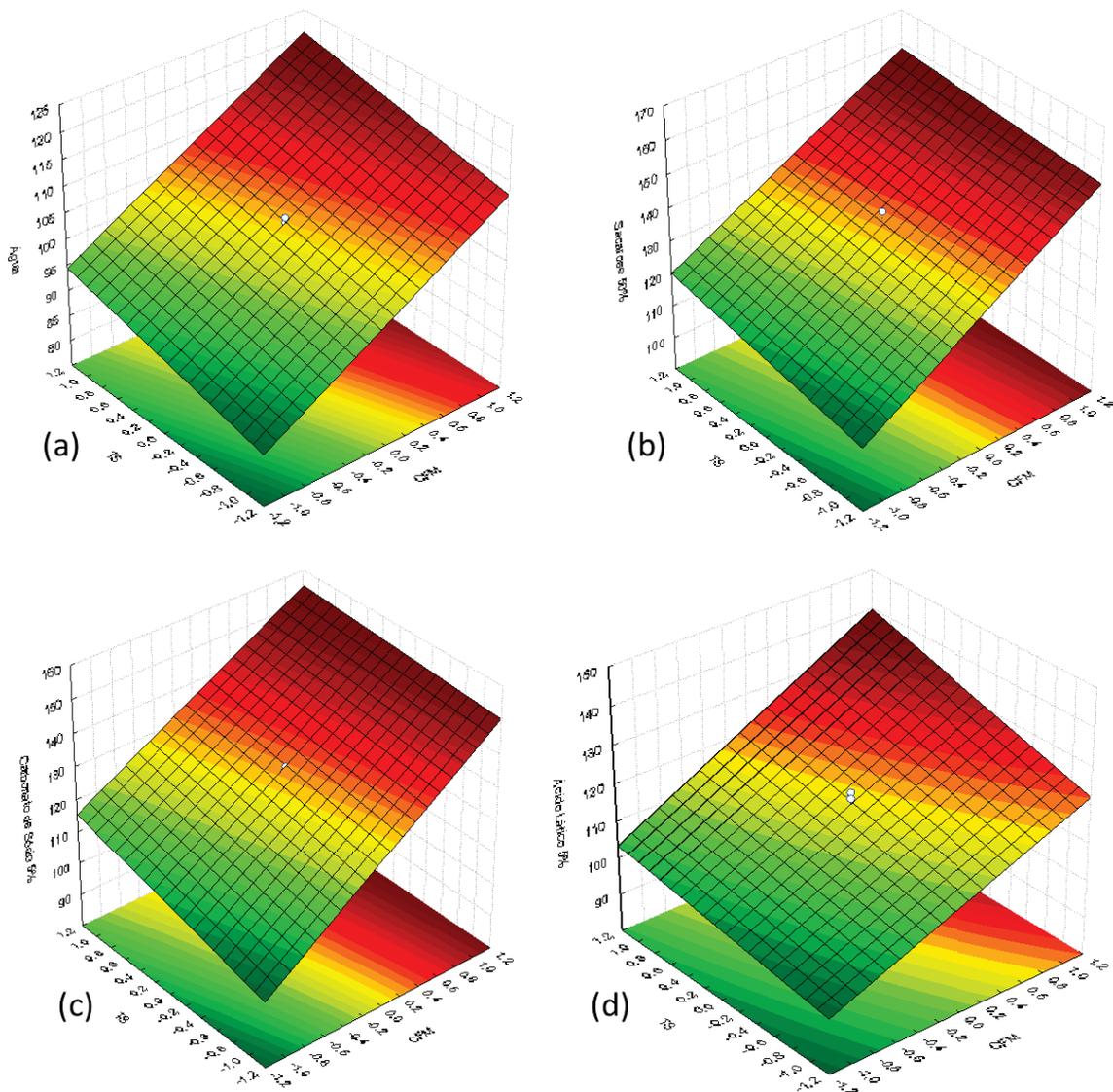
Tabela 13 - Capacidade de retenção de solventes das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostras	Água	Sacarose 50%	Carbonato de Sódio 5%	Ácido Lático 5%
FTGI	78,36 ± 0,28	102,08 ± 1,18	94,91 ± 0,81	85,10 ± 0,45
M3S2	86,81 ± 1,25	114,05 ± 3,53	104,23 ± 0,34	95,44 ± 0,36
M3S10	94,51 ± 0,44	122,56 ± 0,91	116,16 ± 0,53	103,25 ± 0,49
M9S6	105,59 ± 0,49	134,99 ± 7,12	132,77 ± 0,32	119,03 ± 0,68
M15S2	109,45 ± 3,63	150,38 ± 0,03	145,38 ± 1,14	118,88 ± 0,86
M15S10	116,58 ± 2,66	154,93 ± 0,12	150,18 ± 1,09	132,93 ± 0,24

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Figura 21 apresenta o diagrama de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS na capacidade de retenção de solventes (a) água, (b) sacarose 50%, (c) carbonato de sódio 5% e (d) ácido láctico (5%). Em qualquer situação, menor capacidade de retenção de solventes são estabelecidos nas menores proporções de substituição da FTGI. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS na capacidade de retenção de solventes.

Figura 21 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na capacidade de retenção de solventes das amostras



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 (a) SRC – água; (b) SRC – sacarose; (c) SRC – carbonato de sódio e (d) SRC – ácido láctico.
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O comportamento das amostras em relação à retenção de água reflete o comportamento dos componentes funcionais da farinha (KWEON et al., 2011). O aumento da proporção de fibras nas amostras acarreta o aumento do SRC-água.

A absorção do solvente contendo sacarose 50% indica os teores de arabinosilanas e pentosanas, polissacarídeos não amiláceo na farinha (GAINES, 2000). Assim se a SRC-sacarose é elevado, a qualidade da farinha fica comprometida. No que diz respeito à farinha de trigo de grão inteiro, não existe um perfil estabelecido para capacidade de retenção de solventes, especialmente do solvente contendo sacarose. Considerando que a FTGI apresenta todas as frações do grão de trigo, e, por consequência, variações nas frações de ababinosilanas e pentosanas, os padrões podem sofrer expressivas variações (BRESSIANI, 2019).

A capacidade de retenção do solvente carbonato de sódio se relaciona com o amido danificado presente na amostra. A presença deste solvente facilita a solvatação do amido danificado (HAN; LIN, 2004). A maior adição do CFM e TS na mistura implica no aumento da SRC-carbonato de sódio. O CFM é um produto comercial, que passou por alguns tratamentos, ele pode apresentar uma certa quantidade de amido danificado e, por isso, reter com mais facilidade do carbonato de sódio.

A funcionalidade do glúten (KWEON et al., 2011), a sua força e a glutenina (WANG et al., 2016) são avaliados através da SRC do ácido láctico. A interação fibra/proteína causa o enfraquecimento do glúten (NOORT et al., 2010). A SRC-ácido láctico é elevada nas amostras com maior percentual de substituição e pode ser explicada pela dificuldade que as fibras alimentares causam na formação da rede de glúten e, por consequência, o aumento da concentração de grupamentos sulfidril livres. As moléculas de glutenina não se ligam (ligações dissulfeto) na formação da rede e acabam restando maior quantidade de ácido láctico. O CFM influenciou significativamente na capacidade de retenção de solventes indicando que o aumento compromete a qualidade da farinha. Este fato pode ser explicado pela maior velocidade de interação com a água que o CFM possui. A temperatura de pasta – propriedades de pasta - e o seu comportamento em relação à absorção de água por capilaridade – cinética de hidratação – demonstram essa conduta. A adição do CFM e TG não influenciaram significativamente a capacidade de intumescimento. Alterações na capacidade de hidratação com o aumento da substituição da FTGI explicam a elevação nos dados de teor de sulfidril livre, absorção de água que, conseqüentemente, alteram a extensiógrafia e a fermentação da massa. Estabelece, então, a expectativa de alterações na performance de panificação.

4.4 PERFORMANCE DE PANIFICAÇÃO

4.4.1 Avaliação macroscópica

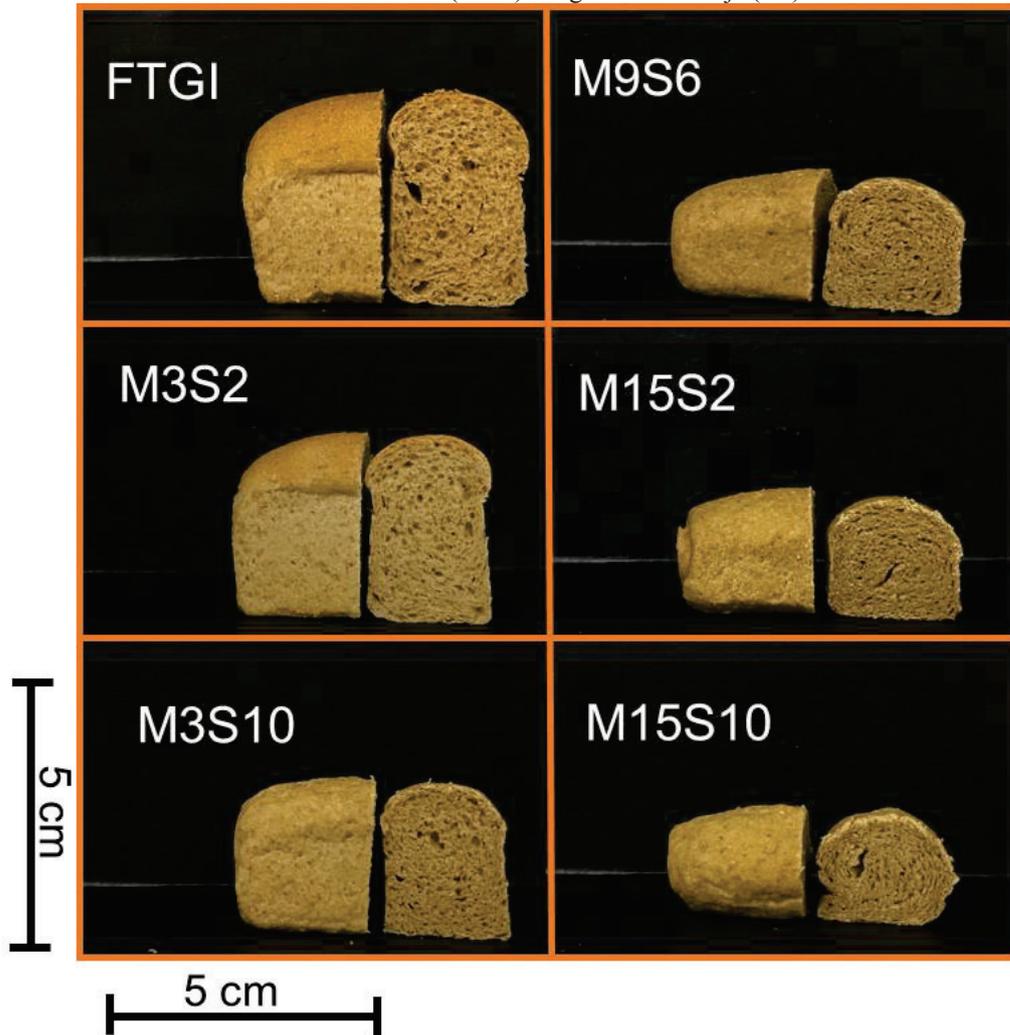
A Figura 22 mostra os pães elaborados a partir das misturas de FTGI, CFM e TS em comparação com o pão feito com FTGI sem substituição. O aumento da concentração de CFM acarretou em diminuição do volume do pão. No entanto, esse efeito não foi observado com o aumento a quantidade de TS, o qual aparentemente, não é alterado.

Em seu estudo de adição de farinha de soja, de linhaça e farelo de trigo no pão, Osuna, et al., (2014) verificaram que o pão elaborado com 5% de farinha de soja se apresentou igual ($\alpha > 0,05$) ao pão controle. As demais substituições mostraram uma queda significativa no volume específico. Os autores justificam que a adição das farinhas de soja, linhaça e farelo de trigo, na farinha de trigo, diminuiu a quantidade de glúten que causou redução no volume do pão.

Através da amostra M15S10 é possível, ainda, uma associação com as propriedades reofermentográficas, onde esta amostra não apresentou nenhuma resposta nos parâmetros de desenvolvimento da massa. Em todas as amostras, o coeficiente de retenção de gás, apresentou um comportamento semelhante ao da avaliação macroscópica. Outra observação possível é que o pão produzido a partir da formulação do ponto central (M9S6) apresentou comportamento semelhante aos pães com maior quantidade de CFM em sua formulação.

A Figura 22 mostra ainda que a formulação M3S2 se mostrou muito próxima do pão controle (FTGI) conservando semelhança no volume, coloração e formato. Na avaliação macroscópica se mostra um bom padrão de substituição.

Figura 22 - Pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) substituída parcialmente por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

4.4.2 Colorimetria

A Tabela 14 apresenta os resultados para os parâmetros de cor das amostras de farinha de FTGI parcialmente substituída por CFM e TS. O parâmetro L^* indica luminosidade na amostra (claro e escuro) e se apresentou igual estatisticamente nos pães elaborados com as misturas. Os índices a^* (vermelho/verde) e b^* (amarelo e azul) apresentaram diferenças entre as amostras indicando interferência das fibras alimentares nesta variável resposta.

Tabela 14 - Parâmetros de cor do miolo do pão elaborado com as misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra ¹	L*	a*	b*
FTGI	66,82 ^a ± 0,83	2,36 ^a ± 0,11	16,48 ^{abc} ± 0,49
M3S2	67,31 ^a ± 0,19	1,79 ^c ± 0,19	14,80 ^c ± 1,16
M3S10	67,85 ^a ± 2,47	1,82 ^{bc} ± 0,27	15,80 ^{bc} ± 1,33
M9S6	67,57 ^a ± 0,64	2,02 ^{abc} ± 0,10	16,95 ^{abc} ± 0,38
M15S2	68,47 ^a ± 1,08	2,27 ^{ab} ± 0,03	17,53 ^{ab} ± 0,09
M15S10	67,28 ^a ± 1,52	2,19 ^{abc} ± 0,03	18,36 ^a ± 0,01

¹ Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença entre as amostras ($p < 0,05$). L* luminância das amostras; a* cromaticidade de tons avermelhados; b* cromaticidade de tons amarelados

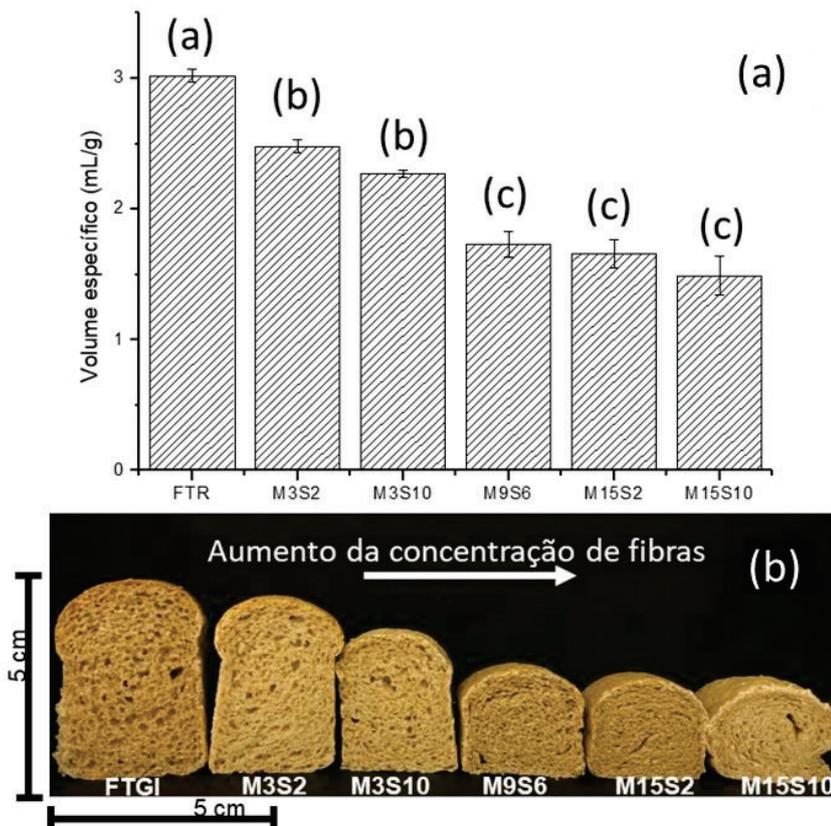
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A influência das cores originais das matérias-primas implica nas diferenças observadas nos parâmetros de cor dos pães elaborados com as misturas (OSUNA et al., 2014) em relação à FTGI (Tabela 4). Este comportamento foi observado na colorimetria das misturas (Tabela 4). O aumento da proporção do TS causa mais impacto no parâmetro a*. Diferentemente, o aumento do CFM causa diferenças significativas no parâmetro b*.

4.4.3 Volume Específico

O volume específico está associado com características sensoriais do pão, sendo de extrema importância para aceitação do consumidor. O efeito da substituição de FTGI pelo CFM e TS no volume específico dos pães mostra que houve diferença significativa entre o volume específico dos pães (Figura 23a).

Figura 23 - Volume específico dos pães produzidos com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Letras distintas, minúsculas nas amostras (23a) são significativamente diferentes ($p < 0,05$).
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

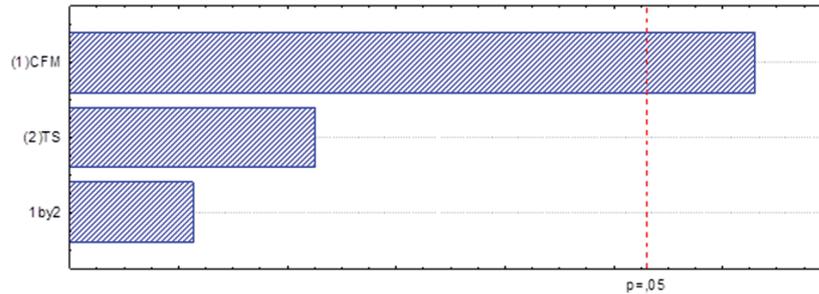
A Figura 23 (b) mostra a disposição dos pães em função da quantidade total de fibra alimentar substituída na formulação. O volume específico dos pães depende da expansão da massa durante a fermentação, influenciada pela força do glúten (CAUVAIN; YOUNG, 2009) que, por sua vez, tem o desenvolvimento afetado pela fibra presente na formulação. Além disso, a Figura 23(a) confirma que o aumento na proporção de TS (mantendo-se a quantidade de CFM) não altera (significativamente) o volume do pão. A diferença é observada no aumento da proporção de CFM.

Esses valores estão relacionados com o maior número de sulfidrilas livres observadas nas amostras com maior concentração de CFM. Os maiores teores de sulfidrilas livres nas amostras M9S6 e M15S2 prejudicou a formação rede de glúten e, por consequência, o volume do pão. Além disso, a amostra M15S10 não apresentou formação da rede de glúten (Tabela 5) acarretando no menor volume específico, igual ($p < 0,05$) às amostras M9S6 e M15S2.

A Figura 24 mostra os efeitos das variáveis CFM e TS na resposta volume específico dos pães. O CFM tem um efeito negativo significativo na resposta volume específico. Onde o

aumento na concentração de CFM resulta na redução do volume específico. Esse fato confirma o observado na avaliação macroscópica (Figura 22) discutido anteriormente. A Tabela 16 (Apêndice A) mostra a estimativa de efeitos dos fatores nas variáveis.

Figura 24 - Representação dos efeitos estimados das variáveis composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) no volume específico do pão



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

4.4.4 Análise do Perfil de Textura (TPA) dos pães

O envelhecimento do pão é um evento que depende de vários fatores físico-químicos que ocorrem simultaneamente, mas o principal é a retrogradação do amido. O processo de envelhecimento do pão causa endurecimento do miolo, aumento da força de compressão, amolecimento da crosta e perda do sabor (CURTI et al., 2010). A Figura 25 mostra a análise de perfil de textura das amostras nos tempos 0, 4 e 7 dias. A Tabela 16 (Apêndice A) apresenta as respostas para a análise de perfil de textura.

Analisando a firmeza no decorrer do tempo para cada tratamento, observa-se que a mistura M9S6 é estatisticamente igual nos tempos 0, 4 e 7. A FTGI apresentou aumento significativo no tempo 7. As misturas M3S10 e M15S10 apresentaram um aumento significativo no tempo 4 e os tratamentos M15S2 e M3S2 aumentaram significativamente durante todo o tempo de análise.

A redução na quantidade de CFM na formulação diminuiu ($p < 0,05$) a firmeza dos pães no tempo 0. A alteração na proporção de TS nos tratamentos, não acarretou em diferenças significativas para este parâmetro. Os pães com a menor adição de CFM (M3S10 e M3S2) são iguais estatisticamente ao padrão (FTGI). O tempo 4 apresentou um comportamento semelhante ao tempo 0 nos tratamentos, com exceção da mistura M3S10 que demonstra um aumento significativo para o valor de firmeza. Porém, observa-se também uma tendência a redução na firmeza com as menores quantidades de CFM. No tempo 7, as misturas FTGI, M3S2, M15S10 e M9S6 se mostram estatisticamente iguais, sendo a retrogradação um dos principais fatores para o aumento da firmeza no tempo (ALTAMIRANO-FORTOUL E ROSELL, 2011).

Bressiani et al., (2017) verificou uma relação inversa entre o volume específico e a firmeza do pão. O aumento na proporção de fibras nas misturas acarreta em maior firmeza e menor volume específico (Figuras 23 e 25).

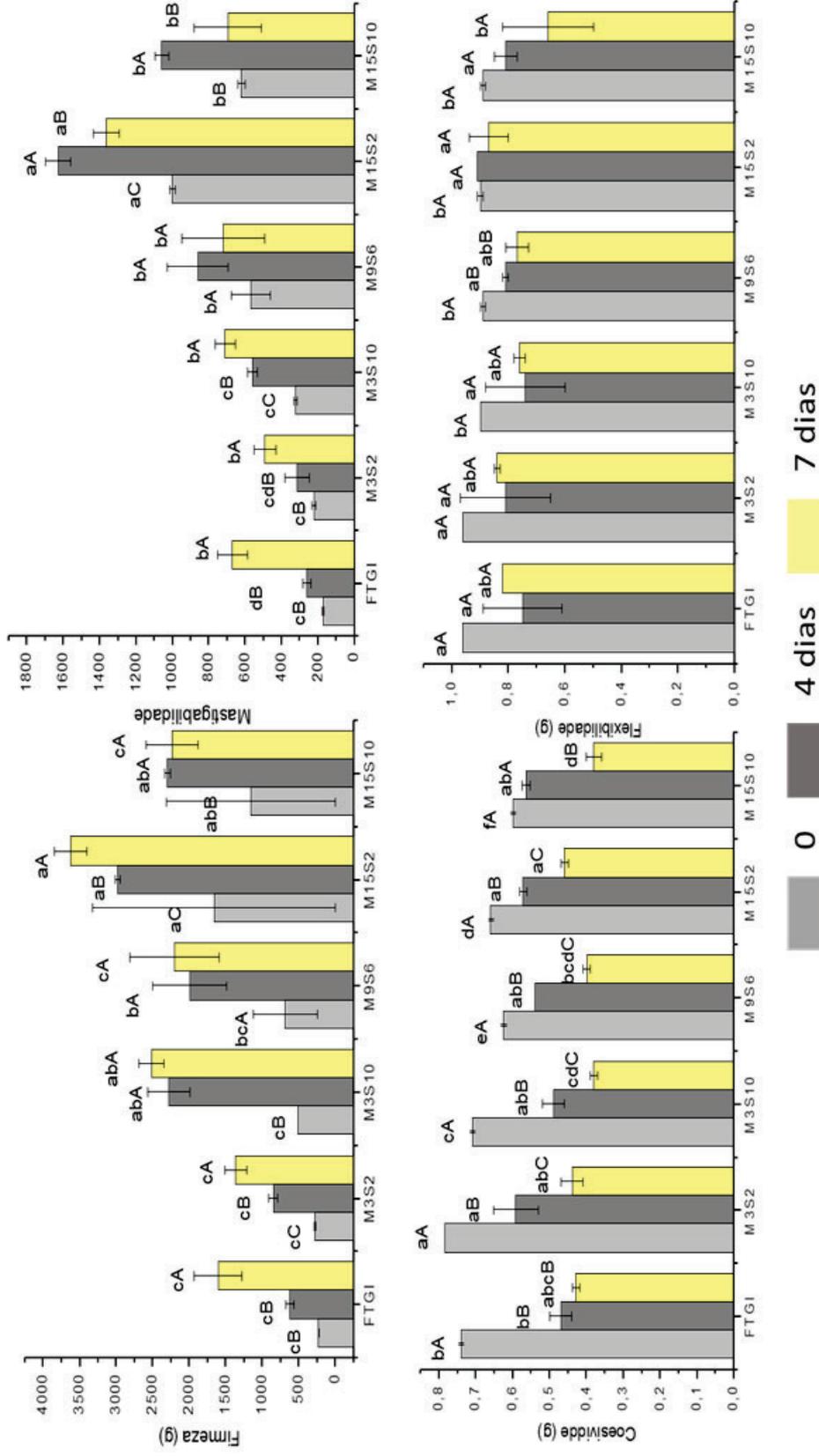
Jensen, et al., (2015), ao estudar a elaboração de pães com farinha de trigo parcialmente substituída por farinha de mandioca, observou que quanto maior a substituição, maior é a dureza dos pães, sendo esse aumento mais pronunciado na proporção 50%. O autor cita também estudo que dizem que aproximadamente 20% da farinha de trigo pode ser substituída por farinha de mandioca em pão sem efeitos sensoriais prejudiciais. No entanto, esses trabalhos fazem referência a substituição da farinha refinada, além da farinha de mandioca ser a única fonte alternativa na substituição.

A mastigabilidade é a energia necessária para deformar um produto sólido para deglutição. Este parâmetro está associado à firmeza e são atributos importantes pois estão diretamente ligados com a aceitabilidade do consumidor (PASRIJA et al., 2015). Na Figura 25 observa-se um comportamento de mastigabilidade semelhante ao da firmeza, sendo que esses parâmetros aumentam quando diminui a proporção de FTGI na amostra. O que indica que pães com firmeza maior necessitam de uma força maior para comprimi-lo na mastigação. O aumento destes parâmetros tem sido atribuído ao enfraquecimento do glúten que dificulta a retenção de gás, diminui o volume específico e aumenta a força necessária para desintegração do alimento (MANDALA et al., 2009; MEYER; PETERS, 2009; MORRIS; MORRIS, 2012). Na observação da mastigabilidade nos tratamentos, os dados apresentam a mesma tendência da dureza, aumento do valor no decorrer do tempo.

A coesividade mede a força das ligações internas que compõem a estrutura. É a extensão ao qual um material pode ser deformado antes da ruptura (Silva et al., 2009) e apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nos tratamentos, diminuindo seu valor com o aumento do percentual de substituição da FTGI para o tempo 0. Nos tempos 4 e 7 não se observou a mesma relação. Na análise dos tempos para cada tratamento verificou-se a mesma relação para todos os tratamentos, a coesividade diminuiu com o tempo. A maior coesão observada para os pães com FTGI, M3S2 e M3S10 sugere que a quantidade de fibra alimentar adicionada neste estudo levou a uma matriz mais íntegra. Além disso, pode-se observar uma diminuição da coesividade com o aumento da concentração de CFM.

A flexibilidade mostrou pouca ou nenhuma influência significativa na alteração da proporção de substituição. Na verificação do comportamento da mistura no tempo para este critério, com exceção da mistura M6S2, todas apresentam comportamentos iguais estatisticamente no decorrer do tempo.

Figura 25 - Representação gráfica das diferenças estatísticas das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nos parâmetros firmeza, mastigabilidade, coesividade e flexibilidade



Letras distintas, minúsculas nas amostras e maiúsculas entre os dias para cada parâmetro são significativamente diferentes (p<0,05).
 Fonte: elaborada pelo autor (2020)

4.4.5 Atividade de água (Aw) dos pães

O desenvolvimento de bolores e leveduras nos produtos com elevada atividade de água é favorecido, uma vez que estes microrganismos se desenvolvem em valores de aw de 0,80 e 0,88, respectivamente (FENNEMA 2000). O pão de forma, por ser um produto de alta aw, possui um tempo de vida de prateleira oscilando entre 3 e 7 dias (BAIK; CHIN CHOTI, 2003). A Tabela 15 apresenta o comportamento da atividade de água (Aw) nos tempos de 0, 4 e 7 dias.

Tabela 15 – Atividade de água dos pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nos tempos de 0, 4 e 7 dias

Pães ¹	Tempo de armazenamento (dias)		
	0	4	7
FTGI	0,892 ^{abB} ± 0,005	0,880 ^{bB} ± 0,008	0,949 ^{aA} ± 0,035
M3S2	0,907 ^{abA} ± 0,004	0,911 ^{abA} ± 0,001	0,910 ^{aA} ± 0,012
M3S10	0,913 ^{aA} ± 0,002	0,892 ^{abA} ± 0,008	0,914 ^{aA} ± 0,007
M9S6	0,907 ^{abB} ± 0,002	0,906 ^{abB} ± 0,004	0,913 ^{aA} ± 0,009
M15S2	0,911 ^{abA} ± 0,004	0,915 ^{aA} ± 0,002	0,940 ^{aA} ± 0,014
M15S10	0,895 ^{bA} ± 0,005	0,914 ^{aA} ± 0,006	0,916 ^{aA} ± 0,004

¹Letras distintas, minúscula na coluna e maiúsculas na linha, são significativamente diferentes (p<0,05).

Fonte: elaborada pelo autor

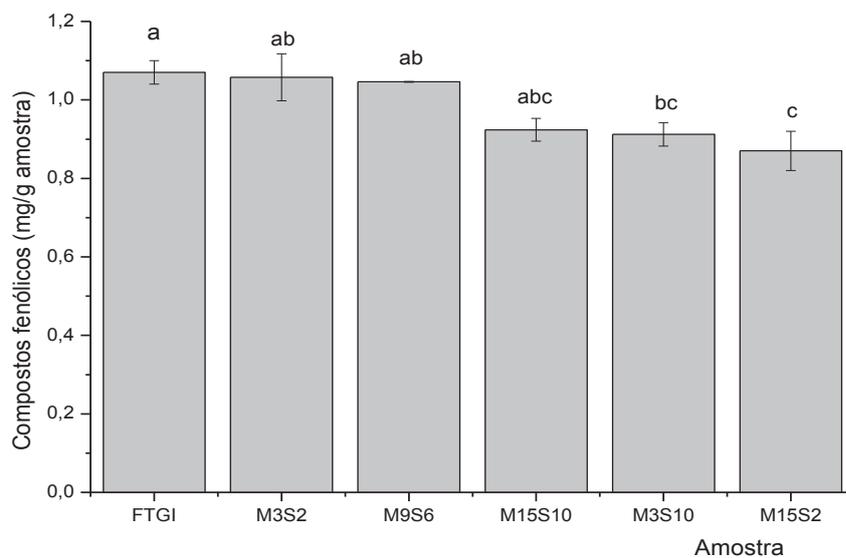
Os pães elaborados com CFM e TS apresentaram diferenças (p<0,05) de aw na variação das proporções destas matérias-primas para os tempos 0 e 4 dias. A diferença estatística também foi observada no decorrer dos dias analisados para as amostras FTGI e M9S6. As demais amostras se mantiveram iguais no tempo de análise (p<0,05). Esse aumento da atividade de água resulta no aparecimento de fungos.

O aparecimento de fungos nas amostras foi observado no quarto dia para as formulações as M9S6, M15S2 e M15S25 e, nas demais, no sétimo dia. Montenegro (2011) encontrou valores superiores a 0,90 para os pães de forma e notou o aparecimento de fungos no sétimo dia de vida de prateleira. Alterar as formulações com a substituição da farinha por CFM e TS não alterou (p<0,05) a aw porém acelerou o aparecimento de fungos.

4.4.6 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos mais abundantes nos cereais pertencem à classe dos ácidos fenólicos. Informações dos cereais tais como tipo, variedade e cultivo (local e manejo) do grão definem o perfil e o teor dos compostos fenólicos presentes no alimento (ANGELINO, 2017). A compreensão das propriedades da massa e panificação podem ser auxiliados pela determinação dos compostos fenólicos. Estes compostos possuem ação redutora de ocorrência natural (DZIKI, 2014). Vários compostos fenólicos podem afetar negativamente propriedades de formação da massa em produtos de panificação. A Figura 26 apresenta as repostas para a determinação de compostos fenólicos das misturas elaboradas com FTGI, CFM e TS.

Figura 26 - Representação gráfica das diferenças estatísticas na concentração de fenólicos (mg/g amostra) dos pães elaborados com as misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Letras distintas para as amostras são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor (2020)

A substituição da FTGI pelo CFM e TS causou uma redução do teor de compostos fenólicos. Este fato indica que as fibras alimentares têm efeito de diluir estes compostos já que, a queda na quantidade de compostos fenólicos se equivale ao aumento do percentual de fibras alimentares.

4.4.7 Teste estatístico desejabilidade

O objetivo do teste estatístico desejabilidade é encontrar condições que garantam a conformidade com os critérios de todas as respostas envolvidas e, junto a isso, fornecer o melhor valor na resposta conjunta sendo esse valor o mais desejável convertendo múltiplas variáveis em uma única (VERA CANDIOTI et al., 2014).

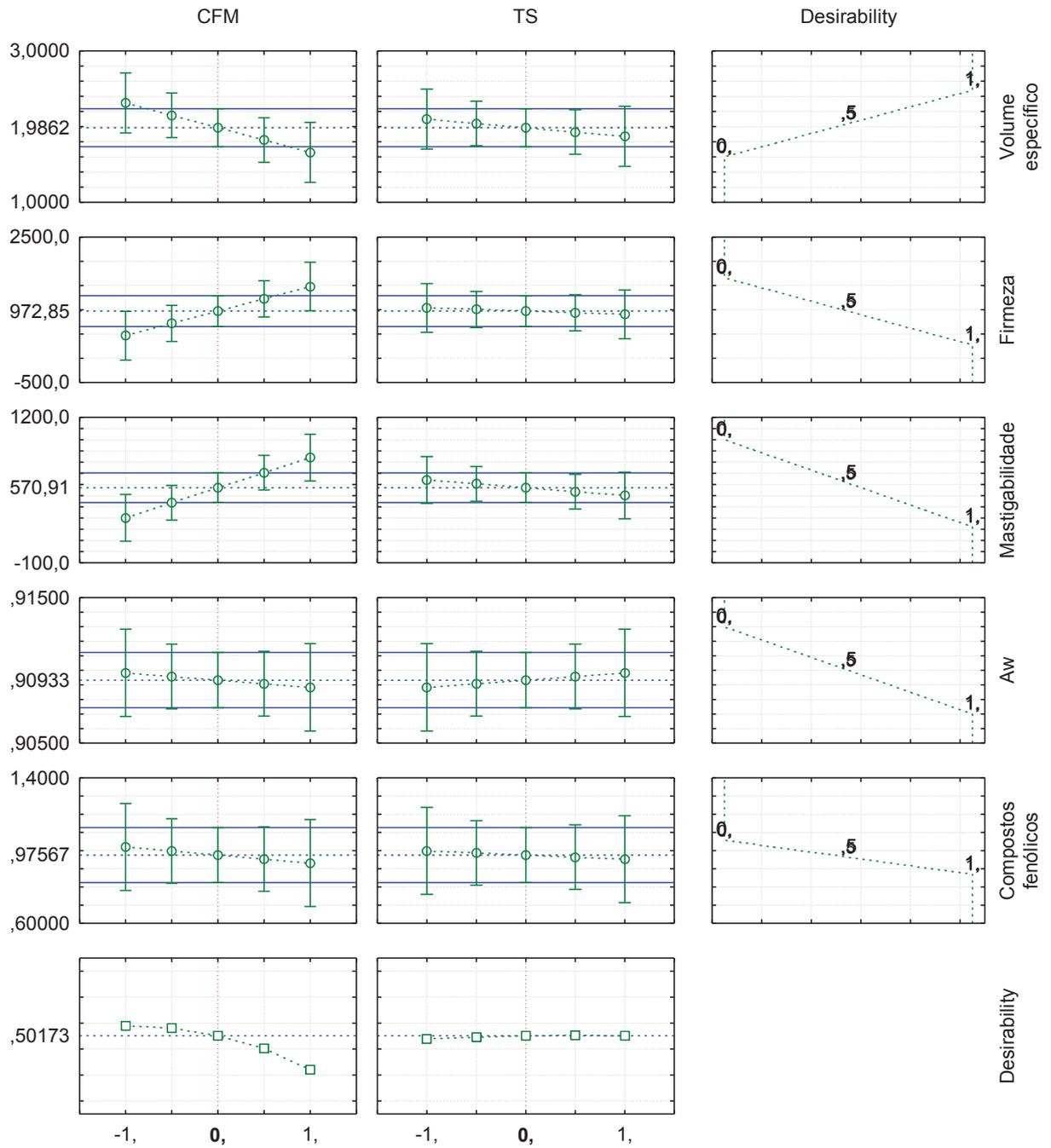
A Figura 27 apresenta o gráfico dos perfis dos valores otimizados para as variáveis CFM e TS nas respostas volume específico, análise do perfil de textura, atividade de água e compostos fenólicos. O gráfico apresenta, nas duas primeiras colunas, a otimização para cada fator e, na terceira coluna, a desejabilidade para cada variável. Na coluna da desejabilidade é possível verificar a faixa da resposta de desejabilidade aceitável onde no variável volume específico o aumento é favorável. O decréscimo dos valores da firmeza, mastigabilidade, atividade de água e compostos fenólicos é benéfico no desenvolvimento do pão.

É possível observar uma linha de comportamento de cada fator frente à variável resposta. Em todos os casos, o comportamento do composto fibroso de mandioca (CFM) é o contrário do que nos mostra a linha de desejabilidade aceitável para a resposta. O tegumento de soja (TS) mostra uma relativa constância no comportamento da curva indicando que, assim como nas demais avaliações da performance de panificação, o CFM é a variável que apresenta maior efeito nas respostas. Os gráficos apontam um valor ideal de cada resposta a saber, 1,9862, 972,85, 570,91, 0,909, 0,975 para volume específico, firmeza, mastigabilidade, atividade de água e compostos fenólicos, respectivamente.

Os gráficos presentes na última linha referem-se a desejabilidade individual para cada variável e a desejabilidade global 0,52869. As linhas vermelhas verticais correspondem aos valores ótimos das variáveis estudadas. Para as duas variáveis os valores ótimos estão no ponto central. Concluindo-se que para a performance de panificação, de acordo com o teste desejabilidade, a melhor condição seria a substituição da farinha de trigo de grão inteiro por 9% do composto fibroso de mandioca e 6% do tegumento de soja (M9S6).

Embora o ponto central tenha sido a melhor condição, o aumento da adição do CFM nas misturas alterou ($p < 0,05$) o volume específico do pão. Essa alteração está relacionada aos resultados relativos ao teor de glúten, grupamentos sulfidril livre e propriedades de fermentação. De maneira geral, a adição do CFM e TS alterou os parâmetros do perfil de textura dos pães, indicando aumento destes parâmetros com o aumento da proporção das matérias-primas e no decorrer do tempo.

Figura 27 – Perfil dos valores otimizados e da desejabilidade para as variáveis composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) nas respostas volume específico, firmeza, mastigabilidade, atividade de água e compostos fenólicos



CFM: Composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

5 CONCLUSÕES

A inclusão de fibras alimentares de diferentes fontes na farinha de trigo de grão inteiro acarretou em alterações na reologia da massa, na medida em que a formação da rede de glúten foi alterada. A perda da habilidade da formação da rede de glúten foi se intensificando a medida que a substituição da farinha de trigo aumentava. Com isso, aumento nos grupos sulfidrilas livres, e absorção de água foi observado. Neste contexto, as propriedades de hidratação se apresentam com destaque nas observações das interferências do CFM e TS pois estas matérias-primas interferem na correta hidratação das proteínas gliadina e glutenina.

Quando a farinha de trigo de grão inteiro foi substituída por 15% de CFM independente da concentração do TS, uma maior estabilidade e tempo de desenvolvimento com redução do índice de tolerância à mistura pode ser observado.

Em conclusão, o CFM ocasionou as alterações mais intensas na performance de panificação. O aumento do CFM acarretou em pães com menores volumes e, conseqüentemente, maior firmeza e mastigabilidade. Porém, o teste de desejabilidade indicou o ponto central (M9S6) como a melhor condição na performance de panificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods of Analysis., 11^a ed., 2010. **AACC International**, St. Paul, MN, U.S.A.
- AACC International. **Definition of whole grain**. Disponível em: <https://wholegrainscouncil.org/definition-whole-grain>, acesso em 25 outubro de 2018.
- ABAM – **Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca**. Disponível em: <http://www.abam.com.br/>. Acesso em 31/10/2018.
- AHMED, L.; ALMUSALLAN, A.S.; AL-SALMAN, F.; ABDURAHMAN, M.H; AL-SALEM, E. Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat four dough. **LWT – Food Science and technology**, v. 50, p. 409-416, 2013.
- AL-ATTABI, Z. H.; MERGHANI, T. M.; ALI, A.; e RAHMAN, M. S. Effect of barley flour addition on the physico-chemical properties of dough and structure of bread. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 61 – 68, 2017.
- ALTAMIRANO-FORTOUL, R.; ROSELL, C. MPhysico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 631 – 636, 2011.
- AMMAR, A. S.; SALEM, S. A.; e BADR, F.H. Rheological properties of wheat flour dough s affected by addition of whey and soy proteins. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 10, p. 302–306, 2011.
- ANDERSON, J. W. Whole grains and coronary heart disease: the whole kernel of truth. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, p. 1459–1460, 2004.
- ANDERSON, J. **Whole grain wheat – effects of peeling and pearling on chemical composition, taste and colour**. Master Thesis, The Plant Product Division, Department of Food Science, Swedish University of Agriculture, Uppsala, Sweden, 30p. 2011.
- ANGELINO, D., COSSU, M., MARTI, A., ZANOLETTI, M., CHIAVAROLI, L., BRIGHENTI, F., MARTINI, D. Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in bread: a review. **Food & Function**., v. 8, p. 2368–2393, 2017.
- ANIL, M. Using of hazelnut testa as a source of dietary fiber in breadmaking. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 61 – 67, 2007.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em 29/10/2018.
- ARPITA MONADAL, A.K. D. Bread Baking – A Review. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 465-474, 2008.
- AUFFRET, A.; RALET, M.C.; GUILLON, F.; BARRY, J.L.; THIBAUT, J. F. Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary Fibres. **LWT - Food Science and Technology**, v. 27, p. 166–172, 1994.
- BAIK, M.Y.; CHINACHOTI, P. Water self-diffusion coefficient and staling of white bread as affected by glycerol. **Cereal Chemistry**, v. 80, p. 740 – 744, 2003.
- BALDISSERA, A.C.; DELLA BETTA, F.; PENNA, A.L.B.; LINDNER, J.D.D. Functional foods: a new frontier for developing whey based protein beverages. **Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1497 – 1512, 2011.

- BERNAUD, F.S.R.; RODRIGUES, T.C. Dietary fiber – adequate intake and effects on metabolism health. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 57, p. 397-405, 2013.
- BIRKETVEDT, G.S.; SHIMSHI, M.; ERLING, T.; FLORHOLMEN, J. Experiences with three different fiber supplements in weight reduction. **Medical Science Monitor**, v. 11, p. 15-18, 2005.
- BOITA, E. R.; ORO, T.; BRESSIANI, J.; SANTETTI, G. S.; BERTOLIN, T. E.; GUTKOSKI, L. C. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 71, p. 177-182, 2016.
- BOTH, J. **Influência do farelo na formação de massa com adição de xilanase**. 36 p, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo), 2015.
- BOTH, J.; ESTERES, V. P.; SANTETTI, G.S.; BRESSIANI, J.; ORO, T. GÓMES, M.P.; FRIEDRICH, M.T.; GUTKOSKI, L.C. Phenolic compounds and free sulphydryl groups in whole grain wheat flour modified by xylanase. **Journal Science Food Agricultural**, v. 99, p. 5392 – 5400, 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Normativa n. 8, de 02 de junho de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília/DF, 3 jun. 2005.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo de 23 de setembro de 2005.
- BRESSIANI, J. **Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de diferentes tamanhos de partículas**. 87 p, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo), 2016.
- BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G.S.; ALMEIDA, J.L.; BERTOLIN, T.E.; GÓMEZ, M.; GUTKOSKI, L.C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size, **Journal of Cereal Science**. v.75, p. 269-277. 2017.
- BRESSIANI, J. **Farinha de trigo integral: relação entre propriedades de hidratação e qualidade de biscoitos tipo cookie**. 125P, Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas), 2019.
- BOCK, J.E.; DAMODARAN, S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy. **Food Hydrocolloids**, v. 31, p. 146 – 155, 2013.
- BUDINI, R.; TONELLI, D.; GIROTTI, S. Analysis of total phenols using the Prussian blue method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, p. 1236-1238, 1980.
- CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras alimentares: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.
- CAPREZ, A., ARRIGONI, E.; AMADO, R.; NEUKOM, H. Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 4, p. 233–239, 1986.

- CAUVAIN, S. P. Breadmaking. In: Gavin Owens. **Cereals Processing Technology**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001.
- CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Tecnologia da Panificação**. 2 Ed. São Paulo: Editora Manole, 2009. 418p.
- CEREDA, M.P. Caracterização dos subprodutos da indústria de mandioca. In CEREDA, M.P. (Ed.). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p. 27-29.
- CHAPLIN, M. F. Fibre and water binding. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, p. 223–227, 2003.
- CHEN, Y., T.; SHIAU, S.Y.; FU, J.T. Physicochemical properties of dough and steamed bread made from regular and whole wheat flour. **Journal of Food Engineering**, v, 12, p. 411-419, 2016.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, 2016. Disponível em www.conab.gov.br. Acesso em 28 de outubro de 2018.
- CURTI, E. **The state of water in bread: effect of processing, formulation and storage**. 130p. Tese (Doutorado em Food Science and Technology, Universita' degli studi di Parma, Italy), 2010.
- DELCOUR, J. A.; JOYE, I.J.; PAREYT, B.; WILDERJANS, E.; BRIJS, K.; LAGRAIN, B. Wheat Gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, p.469-492, 2012.
- DENDY, D.A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereales y productos derivados: química y tecnología**. Zaragoza: Acribia, 2001, 537p.
- DIAS, A.; ZAVAREZE, E. R.; COLUSSI, R.; HALAL, S. L. M. E. **Ciência e Tecnologia de Panificação**. 1ª ed. Pelotas, RS: *Santa Cruz*, 2019.
- DÍAZ, A.; BOMBEN, R.; DINI, C.; VIÑA, S.Z.; GARCÍA, M. A.; PONZI, M.; COMELLI, N. Jerusalem artichoke tuber flour as a wheat flour substitute for biscuit elaboration. **LWT – Food Science and Technology**, v. 108, p. 361-369, 2019.
- DOS ANJOS, C.N.; BARROS, B.H.S.; SILVA, E.I.G.; MENDES, M.L.M.; MESSIAS, C.M.B.O. Desenvolvimento e aceitação de pães sem glúten com farinhas de resíduos de abóbora (cucurbita moschata). **Arquivos de Ciência e Saúde**, v. 24, p. 58 – 62, 2017.
- DUBOIS, D. K. The fibre era. How to modify formulas without problems. **Journal of Food Engineering**. v, 25:74, 1978.
- DZIKI, D. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, p. 48–61, 2014.
- ENSLIN, O. Über einen apparatur messung der flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen stoffen und zur charakterisierung der benetzbarkeit. **Die Chemische Fabrik**, v. 13, p. 147 – 148, 1933.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations** Disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 10 de abril de 2020.
- FENNEMA, O. R. (2000). Química de los alimentos. (2. ed.) **Zaragoza**: Acribia.
- FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Water properties in wheat flour dough I: classical thermogravimetry approach. **Food Chemistry**, v. 72, p. 237-244, 2001.

- FIORDA, F.A.; SOARES JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.; SOUTO, L.R.F.; GROSSMANN, M.V.E. Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 408-416, 2013.
- FÖSTE, M.; VERHEYEN, C.; JEKLE, M. BECKER, T. Fibers of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. **Food Chemistry**, v. 306, 125451, 2020.
- FRAKOLAKI, G.; GIANNOU, V.; TOPAKAS, E.; TZIA, C. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 50-56, 2018.
- GAINES, C. S.; RAEKER, M. Ö.; TILLEY, M.; FINNEY, P. L.; WILSON, J. D.; BECHTEL, D. B.; MARTIN, R. J.; SEIB, P. A.; LOOKHART, G. L.; DONELSON, T. Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v.77, p.163-168, 2000.
- GOLDSTEIN, A.; ASHRAFI, L.; SEETHARAMAN, K. Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, p. 1641 – 1646, 2010.
- GUL, H.; SEN, H. Effects of pomegranate seed flour on dough rheology and bread quality. **Cyta – Journal of Food**, v.15, p. 622 – 628, 2017.
- GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação - pão tipo forma. **Ciência Rural**, v. 32, p. 873-879, 2002.
- HAN, J.A., LIM, S.T. Structural changes in corn starches during alkaline dissolution by vortexing, **Carbohydrate Polymers**, 55, 193–199, 2004.
- HEINIÖ, R. L.; NOORT, M. W. J.; KATINA, K.; ALAM, S. A.; SOZER, N.; DEKOCK, H. L.; POUTANEN, K. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 47, p. 25–38, 2016.
- HELKAR, P.B.; SAHOO, A.; e PATIL, N. Review: Food industry by-products used as a functional food ingredient. **International Journal of Waste Resources**, v. 6, p. 248, 2016.
- HEMDANE, S.; JACOBS, P.J.; DORNEZ, E.; VERSPREET, J.; DELCOUR, J.A.; e COURTIN, C.M. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 28-42, 2016.
- HEMDANE, S.; LEYS, S.; JACOBS, P.J.; DORNEZ, E.; DELCOUR, J.A.; e COURTIN, C.M. Wheat milling by-products and their impact on bread making. **Food Chemistry**, v. 187, p 280-289, 2015.
- HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 231 – 240, 2008.
- HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnologia de los cereales**. Zaragoza: Acribia, 1991. 321p.
- JACOBS, P. J., HEMDANE, S., DORNEZ, E., DELCOUR, J. A., COURTIN, C. M. Study of hydration properties of wheat bran as a function of particle size. **Food Chemistry**, v. 2, 2015.
- JACOBS, P.J.; BOGAERTS, S.; HEMDANE, S.; DELCOUR, J.A.; COURTIN, C.M. Impacto f wheat bran hydration properties as affected by toasting and degree of milling on optimal dough development in bread making. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 3636 – 3644, 2016.

- JENSEN, S.; SKIBSTED, L.H.; KIDMORSE, U.; THYBO, A.K. Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, p. 292 – 299, 2015.
- JONNALAGADDA, S. S.; HARNACK, L.; LIU, R. H.; MCKEOWN, N.; SEAL, C.; e LIU, S. Putting the whole grain puzzle together: Health benefits associated with whole grains – summary of American society for nutrition 2010 satellite symposium. **Journal of Nutrition**. v. 141, p. 1011-1022, 2011.
- JONES, J. M.; ENGLESSION, J. Whole Grains: Benefits and Challenges. **Annual Reviews Food Science and Technology**, v. 1, p. 19-40, 2010.
- JUNQUEIRA, R. M.; ROCHA, F.; MOREIRA, M. A.; CASTRO, I. A. Effect of proofing time and wheat flour strength on bleaching, sensory characteristics, and volume of french breads with added soybean lipoxigenase. **Cereal Chemistry**, v. 84, p. 443–449, 2007.
- KHALIL, A.H. Quality characteristics of low-fat beef paties formulated with modified corn starch and water. **Food Chemistry**, v. 68, p. 61 – 68, 2000.
- KIEFFER R., WIESER H., HENDERSON M.H., GRAVELAND A. Correlations of the bread-making performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. **Journal of Cereal Science**, v. 27, p. 53-60, 1998.
- KUNIAK, L.; MARCHESS, R.H. Study of cross-linking reaction between epichlorohydrin and starch. **Starch/Stärke**, v. 24, p. 110-116, 1972.
- KWEON M.; SLADE L.; LEVINE H. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding e a review. **Cereal Chemistry**, v. 88, p. 537-552, 2011.
- LEONEL, M. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001, v. 4, cap. 15, p. 211 – 217.
- LIU, M.; WU, P.; DING, Y.; CHEN, G.; LI, S. Two-dimensional (2D) ATR-FTIR spectroscopic study on water diffusion in cured epoxy resins. **Macromolecules**, v. 35, p. 5500 – 5507, 2002.
- LIU, C. M.; LIANG, R. H.; DAI, T. T.; YE, J. P.; ZENG, Z. C.; LUO, S. J.; CHEN, J. Effect of dynamic high pressure microfluidization modified insoluble dietary fiber on gelatinization and rheology of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 55-61, 2016.
- LIU, S.; STAMPFER, M.J.; HU, F.B.; GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E.; MANSON, JE.; et al. Whole-grain consumption and risk of coronary heart disease: results from the Nurses' Health study. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 412-419, 1999.
- LUTHRIA, D. L.; LU, Y.; MARIA JOHN, K. M. Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 910-925, 2015.
- MACCANN, T. H.; GALL, M. L.; DAY, L. Extensional dough rheology – Impact of flour composition and extension speed. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 228-237, 2016.
- MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 137– 145, 2009.
- MARTI, A.; BOTTEGA, G.; FRANZETTI, L.; MORANDIN, F.; QUAGLIA, L.; PAGANI, M.A. From wheat sourdough to gluten-free sourdough: A non-conventional process for

- producing gluten-free bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 1268 – 1274, 2015.
- MARTINS, Z.E.; PINHO, O.; FERREIRA, I. Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. **Trends in Food Science & Technology**. v. 67, p. 106-128, 2017.
- MEYER, D.; PETERS, B. Enhancing the nutritional value of bread with inulin. **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 20, p. 43–47, 2009.
- MIRANDA, M.Z. **Qualidade do grão de trigo para panificação**. In SCUSSEL, V.M.; ROCHA, M.W.; LORINI, I.; SABINO, M.; ROSA, C.A. R.; CARVAJAL, M.M. Atualidades em micotoxinas e armazenagem de grãos II. Florianópolis: (Universidade Federal de Santa Catarina), 2008. Cap. 12-2, p. 456-460.
- MONTENEGRO, F.M. **Avaliação do desempenho tecnológico de misturas de farinhas de triticale e trigo em produtos de panificação**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP), 2011.
- MONTONEN, J.; KNEKT, P.; JARVINEN, R.; AROMAA, A.; REUNANEN, A. Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 77, p. 622-629, 2003.
- MORGUETE, E.M.; BEZERRA, J.R.M.V.; CÓRDOVA, K.R.V.; e RIGO, M. Elaboração de pães com adição de farelo de soja. **Ambiência**, v. 7, p. 481-488, 2011.
- MORRIS, C.; MORRIS, G.A. The effect of inulin and fructooligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. **Food Chemistry**, v. 133, p. 237–248, 2012
- NAVACCHI, M. F. P.; CARVALHO, J.C.M.; TAKEUCHI, K.P.; e DANESI, D.G. Development os cassava cake enriched with. its own bran and *Spirulina platensis*. **Acta Scientiarum**, v. 34, p. 465-472, 2012.
- NAWROCKA, A.; MIS, A.; NIEWIADOMSKI, Z. Dehydration of gluten matrix as a result of dietary fibre addition – A study on model flour with application of FT-IR spectroscopy. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 86 – 94, 2017.
- NAWROCKA, A.; KREKORA, M.; NIEWIADOMSKI, Z.; MIŚ, A. Characteristics of the chemical processes induced by celluloses in the model and gluten dough studied with application of FTIR spectroscopy. **Food Hydrocolloids**, v. 85, p. 176 – 187, 2018.
- NAWROCKA, A.; KREKORA, M.; NIEWIADOMSKI, Z.; SZYMÁNSKA-CHARGOT, M.; KRAWĘCKA.; SOBOTA, A.; MIŚ, A. Effect of moisturizing pre-treatment of dietary fibre preparations on formation of gluten network during model dough mixing – A study with application of FT-IR and FT – Raman spectroscopy. **LWT – Food Science and Technology**, v. 121, 108959, 2020.
- NGAH, W.S.W.; e HANAFIAH, M.A.K.M.S. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 3935–3948, 2008.
- NOORT, M. W.; VAN HAASTER, D.; HEMERY, Y.; SCHOLS, H. A.; HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality–Evidence for fibre–protein interactions. **Journal of Cereal Science**, v. 52, p. 59-64, 2010.

- NUNES, A.G.; FARIA, A.P.S.; STEINMACHER, F.R.; VIEIRA, J.T.C. **Processos enzimáticos e biológicos na panificação**, Dissertação (Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC), 16p, 2006.
- OOMS, N.; JANSSENS, J.A.; PAREYT, B.; REYNIERS, S.; BRIJS. The impact of disulfide bond dynamics in wheat gluten protein on the development of fermented pastry crumb. **Food Chemistry**, v. 242, p. 68-74, 2018.
- ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.
- OSUNA, M.B.; JUDIS, M.A.; ROMERO, A.M.; AVALLONE, C.M.; BERTOLA, N.C. Improvement of fatty acid profile and studio of rheological and technological characteristics in breads supplemented with flaxseed, soybean and wheat bran flours. **Hindawi**, ID. 401981, 10p., 2014.
- PANGHAL, A.; JANGHU, S.; VIRKAR, K.; YOGESH, G.; KUMAR, V.; CHHIKARA, N. Potential non-dairy probiotic products. A healthy approach. **Food Bioscience**, v. 21, p. 80-89, 2018.
- PARETY, B.; FINNIE, S. M.; PUTSEYS, J. A.; e DELCOUR, J.A. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 266–279, 2011.
- PASRIJA, D.; EZHILARASI, P.N.; INDRANI, D.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. **LWT – Food Science and Technology**, v. 64, p. 289 – 196, 2015.
- PENELLA, J.M.; COLLAR, C.; HAROS, M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 715 – 721, 2008.
- PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and bread making properties of wheat dough. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 190–201, 2009.
- PÉREZ, G.; BONET, A.; ROSSEL, C. M. Relationship between gluten degradation by *Aelia* spp and *Eurygaster* spp and protein structure. **Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 1125-1130, 2005.
- PETRUZZIELLO, L.; IACOPINI, F.; BULAJIC, M.; SHAH, S.; COSTAMAGNA, G. Review article: uncomplicated diverticular disease of the colon. **Alimentary Pharmacology & Therapeutics**, v, 23, p. 1379-1391, 2006.
- POMERANZ, Y.; SHOGREN, M.D.; FINNEY, K.F.; BECHTEL, D. B. Fibre in breadmaking – Effects on functional properties. **Cereal Chemistry**, V. 54, P. 25–41, 1977.
- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.C. Starch affecting anti-staling agents and their functions in freestanding and pan-baked bread. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p.1656-1666, 2011.
- PREEDY, V.R.; WATSON, R.R.; e PATEL, V.B. **Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention**. London: Elsevier, 2011.
- QIU, Y.; XU, Y.; ZHANG, Y.; ZHOU, H.; DENG, Y.-Q, LI, X.-F.; MIAO, M.; ZANG, Q.; ZHONG, B.; HU, Y.; ZHANG, F.-C.; WU, L.; QIN, C.-F.; ZHOU, X. Human Virus-Derived Small RNAs Can Confer Antiviral Immunity in Mammals. **Immunity**, v. 46, p. 992 – 1004, 2017.

- RAGAE, S.; ABDEL-AAL, EL-S. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.
- RAKITA, S.; POJIC, M.; TOMIC, J.; TORBICA, A. Determination of free sulphhydryl groups in wheat gluten under the influence of different time and temperature of incubation: Method validation. **Food Chemistry**, v. 150, p. 163-176, 2014.
- RANGEL, J. H. G.; OLIVEIRA, M. M.; CARNEIRO, F. J. C.; MELO L. P.; CONCEIÇÃO, M. M.; ROJAS M. O. A. I.; SOUZA, A. G. Estudo termogravimétrico e das propriedades nutricionais do mesocarpo de babaçu [*Orbignya speciosa*] em adição ao pão. **Revista Acta Tecnológica – Revista Científica de Tecnologia de Alimentos**, v. 6, p.12 – 17, 2011.
- RAY, R.C.; MOHAPATRA, S.; PANDA, S.; e KAR, S. Solid substrate fermentation of cassava fibrous residue for production of alpha-amylase, lactic acid and ethanol. **Journal of Environmental Biology**, v. 29, p. 111–115, 2008.
- RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R. Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 2196-2202, 2011.
- RODRIGUEZ, I.F.; PÉREZ, M.J.; CATTANEO, F.; ZAMPINI, I.C.; CUELLO, A.S.; MERCADO, M.I.; PONESSA, G.; ISLA, M.I. Morphological, histological, chemical and functional characterization of *Prosopis alba* flours of different particle sizes. **Food Chemistry**, v. 271, p. 583 – 591, 2019.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; SANTOS, J. M.; SANZ PENELLA, M. H. Wholemeal wheat bread: A comparison of different breadmaking processes and fungal phytase addition. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 272–277, 2009.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. Mixing properties of fiber-enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 333-340, 2005.
- ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BARBER, C.B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 75 – 81, 2001.
- SADEQ, H. A. S.; AMIN, I.; MOHD, Y. M.; SHUHAIMI, M.; ROKIAH, M. Y.; FOUAD, A. H. Functional properties and characterization of dietary fibre from *Mangifera pajang* Kort. Fruit pulp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 3980–3985, 2011.
- SAITO, I.M.; CABELLO, C.; FUKUSHIMA, R.S. Análise da fibra residual do farelo de mandioca após tratamento hidrotérmico. **RAT – Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, p. 1-11, 2006.
- SANDHU, K.S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1499 – 1507, 2007.
- SANTOS, C.M.; ROCHA, D.A.; MADEIRA, R.A.V.; QUEIROZ, E.R.; MENDONÇA, M.M.; PEREIRA, J.; e ABREU, C.M.P. Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. **Brasilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- SBOG – **Sociedade Brasileira de Óleos e Gorduras**. Disponível em: <http://www.oleosegorduras.org.br>. Acesso em 30/10/2018.

- SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.D.; MIRANDA, M.Z.D.; LIMBERGER, V.M. TRIGO: Características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, p. 211 – 222, 2011.
- SCHIMIELE, M.; JAEKEL, L. Z.; PATRICIO, S. M. C.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 2141-2150, 2012.
- SEETHARAMAN, K.; McDONOUGH, C.M.; WANISKA, R.D.; ROONEY, L.W. Microstructure of wheat flour tortillas: effects of soluble and insoluble fibres. **Food Science and Technology International**, v. 3, p. 181–188, 1997.
- SEHN, G. A. R. **Desenvolvimento de padrões reológicos para farinhas de trigo e estudo do envelhecimento de pães de forma integrais**. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 2015.
- SEIBEL, N. F.; BELÉIA, A. D. P. Características químicas e funcionalidade tecnológica de ingredientes de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]: Carboidratos e proteínas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 113-122, 2009.
- SHMID, M.; WIESER, H.; e KOEHLER, P. Disulphide structure of high-molecular-weight (HMW-) gliadins as affected by terminators. **Journal of Cereal Science**, v. 78, p. 66-74, 2017.
- SILVA, L. H.; MENACHO, L. M. P.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S.; STEEL, C. J. Desenvolvimento de pão de fôrma com a adição de farinha de “okara”. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 315-322, 2009.
- SINGH, S.; SINGH, N.; MACRITCHIE, F. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. **Food Hydrocolloid**, v. 25, p. 19–24, 2011.
- SLAVIN, J. Whole grains and human health. Nutrition Research Reviews. **Food Chemistry**, v. 17, p. 99–110, 2004.
- SROAN, B. S. e MACRITCHIE, F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking II. The secondary liquid lamellae. **Journal of Cereal Science**, v. 49(1), p. 41-46, 2009.
- STEFFEN, L.M.; JACOBS, D.R. Jr; STEVENS, J. SHAHAR, E. CARITHERS, T.; FOLSOM, A.R.; Associations of whole-grain, refined grain, and fruit and vegetable consumption with risks of all-cause mortality and incident coronary artery disease and ischemic stroke: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, p. 383-390, 2003.
- TEBBEN, L.; SHEN, Y E LI, Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 10-24, 2018.
- TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Review: Starch composition fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004.
- VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.
- VERA CANDIOTI, L. et al. Experimental design and multiple response optimization. Using the desirability function in analytical methods development. **Talanta**, v. 124, p. 123–138, 2014.

- VERAVERBEKE, W.S.; DELCOUR, J.A. Application Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. **Reviews in Food Science and Nutrition**, v.42, p.179-208, 2002.
- VIEIRA, J.C.; MONTENEGRO, F. M. M.; LOPES, A.S.; PENA, R. S. Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim Ceppa**, v. 28, p. 37 – 48, 2010.
- WAGNER, M. J.; LUCAS, T.; LE RAY, D.; TRYSTRAM, G. Water transport in bread during baking. **Food Engineering**, v. 78, p. 1167 – 1172, 2007.
- WANG, N.; HOU, G.G.; KWEON, M.; LEE, B. Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 187 – 193, 2016.
- WANG, P.; CHEN, H.; MOHANAD, B.; XU, L.; NING, Y.; XU, J.; WU, F.; YANG, N.; JIN, Z.; XU, X. Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins: Studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 187-194, 2014.
- WANG, J.; ROSELL, C.M.; BARBER, C.B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality, **Food Chemistry**, v. 79, p. 221 – 226, 2002.
- WATZL, B.; GIRRBACH, S.; ROLLER, M. Inulin, oligofructose and immunomodulation. **British Journal of Nutrition**, v 93, p. 49-55, 2005.
- WEI, M.; BRANDHORST, S.; SHELEHCHI, M.; MIRZAEI, H.; CHENG, C.W.; BUDNIAK, J.; GROSHEN, S.; GUEN, E.; BIASE, S.D.; COHEN, P.; MORGAN, T.E.; DORFF, T.; HONG, K.; MICHALSEN, A.; LAVIANO, A.; LONGO, V. Fasting-mimicking diet and markers/risk factors for aging, diabetes, cancer and cardiovascular disease. **Science Translational Medicine**, v. 9, p. 377, 2017.
- WHELTON, S.P.; HYRE, A.D.; PEDERSEN, B.; YI, Y.; WHELTON, P.K.; HE, J. Effect of dietary fiber intake on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled clinical trials. **Journal of Hypertension**, v. 23, p. 475-481, 2005.
- WHOLE GRAINS COUNCIL – Conselho de Cereais Integrais. Disponível em www.wholegrainscouncil.org/definition-whole-grain. Acesso em 15 de outubro de 2018.
- WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v. 24, p. 115-119, 2007.
- WIESER, H. The use of redox agents in breadmaking. In: Cauvin, S.P. (Ed.). **Breadmaking: Improving Quality, second ed. Woodhead Publishing Limited**, Cambridge, UK, 2012, p. 447-469.
- WILLIAMS, C.L.; STROBINO, B.A. Childhood diet, overweight, and CVD risk factors: the Healthy Start project. **Preventive cardiology**, v. 11, p. 11-20, 2008.
- YANG, H., YAN, R., CHEN, H., DONG, Ho, L., ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781 – 1788, 2007.
- YANG, J.; XIAO, A.; WANG, C. Novel development and characterisation of dietary fibre from yellow soybean hulls. **Food Chemistry**, v. 161, p. 367-375, 2014.
- YU, S.; MA, Y.; MENAGER, L.; SUN, D. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 626 – 637, 2012.
- ZAMBOM, M.A.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C. et al. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v.23, p.937-943, 2001.

ZHANG, C.; REN, Z.; YIN, Z.; QIAN, H.; MA, D. Amide II and amide III bands in polyurethane model soft and hard segments. **Polymer Bulletin**, v. 60, p. 97 – 101, 2008.

ZHOU, K.; SU, L.; e YU, L. L. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 6108 – 6114, 2004.

APÊNDICE A

Tabela 16 - Análise do Perfil de textura dos pães integrais parcialmente substituídos por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra ¹	Tempo de armazenamento (dias)			Tempo de armazenamento (dias)		
	0	4	7	0	4	7
	Firmeza (g)			Coesividade (g)		
FTGI	232,91 ^{dB} ± 4,56	622,43 ^{dB} ± 54,07	1603,24 ^{bca} ± 328,53	0,737 ^{bA} ± 0,006	0,467 ^{bb} ± 0,029	0,423 ^{abcB} ± 0,012
M3S2	274,72 ^{dB} ± 12,64	849,33 ^{dB} ± 62,54	1363,81 ^{cA} ± 150,15	0,784 ^{aA} ± 0,004	0,593 ^{aB} ± 0,058	0,439 ^{abcC} ± 0,027
M3S10	513,45 ^{cC} ± 4,60	1317,34 ^{cB} ± 77,19	2517,18 ^{abcA} ± 173,20	0,696 ^{cA} ± 0,010	0,493 ^{abb} ± 0,029	0,379 ^{cdC} ± 0,005
M9S6	1149,53 ^{bb} ± 33,91	2352,20 ^{bA} ± 70,97	2535,47 ^{abA} ± 487,05	0,627 ^{eA} ± 0,007	0,535 ^{abB} ± 0,000	0,399 ^{bcdC} ± 0,020
M15S2	1661,27 ^{aC} ± 43,98	2983,65 ^{ab} ± 37,84	3625,03 ^{aA} ± 220,63	0,660 ^{dA} ± 0,007	0,573 ^{ab} ± 0,014	0,461 ^{aC} ± 0,011
M15S10	1147,24 ^{bB} ± 76,18	2307,01 ^{bA} ± 40,26	2301,53 ^{bca} ± 352,49	0,592 ^{fA} ± 0,013	0,565 ^{abA} ± 0,012	0,356 ^{dB} ± 0,009
	Flexibilidade (g)			Mastigabilidade (g)		
FTGI	0,959 ^{aA} ± 0,004	0,850 ^{ab} ± 0,004	0,820 ^{abC} ± 0,004	174,54 ^{dB} ± 4,68	261,67 ^{dB} ± 23,90	670,19 ^{bA} ± 83,85
M3S2	0,961 ^{aA} ± 0,001	0,811 ^{aA} ± 0,157	0,836 ^{abA} ± 0,006	222,27 ^{dB} ± 11,14	315,05 ^{dB} ± 68,22	492,43 ^{bA} ± 58,39
M3S10	0,904 ^{bA} ± 0,003	0,839 ^{ab} ± 0,002	0,763 ^{abC} ± 0,017	324,41 ^{cC} ± 7,03	561,84 ^{eB} ± 28,04	710,84 ^{bA} ± 120,57
M9S6	0,894 ^{bA} ± 0,005	0,807 ^{aC} ± 0,013	0,791 ^{abB} ± 0,032	645,42 ^{bAB} ± 22,71	979,77 ^{bA} ± 16,57	613,00 ^{bb} ± 229,02
M15S2	0,902 ^{bA} ± 0,011	0,910 ^{aA} ± 0,004	0,872 ^{aA} ± 0,0067	1016,30 ^{aC} ± 14,30	1559,85 ^{aA} ± 68,61	1364,56 ^{aB} ± 71,48
M15S10	0,893 ^{bA} ± 0,007	0,777 ^{aA} ± 0,020	0,631 ^{bA} ± 0,157	651,53 ^{bb} ± 44,70	1091,42 ^{bA} ± 35,73	681,97 ^{bb} ± 182,73

Letras distintas, minúsculas nas amostras e maiúsculas entre os dias para cada parâmetro são significativamente diferentes (p<0,05).

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 17 – Estimativa dos efeitos das variáveis CFM e TS nas variáveis respostas

Análise			Média	CFM	TS	1 by 2
Teor de glúten	Glúten úmido (%)	Efeito	11,01	-4,49	-9,84	-5,24
		p	0,013	0,284	0,086	0,232
	Índice de glúten (%)	Efeito	83,00	-49,36	-49,74	-50,02
		p	0,010	0,139	0,137	0,136
Propriedades extensiográficas	Resistência à extensão (g)	Efeito	117,90	15,13	-18,31	-18,98
		p	0,000	0,037	0,025	0,024
	Extensibilidade (mm)	Efeito	19,72	-8,10	-1,82	-1,14
		p	0,000	0,000	0,002	0,006
Propriedades de mistura	Estabilidade (min)	Efeito	15,66	17,47	0,62	2,82
		p	0,012	0,056	0,898	0,581
	ITM	Efeito	27,70	-9,87	-10,87	-7,12
		p	0,111	0,019	0,016	0,037
	TD (min)	Efeito	12,48	4,32	6,37	3,97
		p	0,004	0,184	0,098	0,207
	AA (%)	Efeito	79,84	5,10	5,45	0,40
		p	0,000	0,135	0,121	0,866
Propriedades de pasta	Pico de Viscosidade (RVU)	Efeito	170,30	-76,27	-48,48	9,56
		p	0,000	0,014	0,035	0,413
	Quebra de Viscosidade (RVU)	Efeito	64,51	-30,44	-4,85	2,68
		p	0,000	0,022	0,409	0,624
	Viscosidade Final (RVU)	Efeito	200,07	-78,24	-63,87	8,83
		p	0,000	0,005	0,007	0,263
	Retrogradação (RVU)	Efeito	94,27	-32,40	-20,23	1,98
		p	0,000	0,003	0,007	0,389
Temperatura de Pasta (°C)	Efeito	83,75	-0,86	-4,63	-2,48	
	p	0,000	,0741	0,179	0,389	

Tabela 17 - Continuação

Análise		Média	CFM	TS	1 by 2		
Análise de perfil de textura dos géis	Firmeza	Efeito	269,91	-103,72	-28,77	57,61	
		p	0,003	0,119	0,541	0,281	
	Elasticidade	Efeito	0,950	0,005	0,035	-0,015	
		p	0,000	0,591	0,047	0,198	
	Coesividade	Efeito	0,550	-0,010	-0,010	-0,010	
		p	0,000	0,591	0,591	0,591	
	Gomosidade	Efeito	143,40	-44,14	-33,67	44,99	
		p	0,007	0,275	0,374	0,268	
	Capacidade de intumescimento (ml/g)	Efeito	0,475	0,236	0,040	0,140	
		p	0,054	0,494	0,901	0,671	
	Capacidade de retenção de solventes (SRC)	Água	Efeito	103,09	22,35	7,41	0,28
			p	0,000	0,018	0,140	0,936
Sacarose 50%		Efeito	135,31	34,35	6,53	-1,98	
		p	0,000	0,040	0,456	0,807	
Carbonato de sódio (5%)		Efeito	130,25	26,56	10,93	3,12	
		p	0,000	0,006	0,114	0,370	
Ácido láctico (5%)		Efeito	114,98	37,59	8,37	-3,56	
		p	0,000	0,044	0,201	0,645	
Volume específico (ml/g)		Efeito	1,915	-0,800	-0,190	0,020	
		p	0,001	0,033	0,335	0,906	

Fonte: elaborada pelo autor

APÊNDICE B: ARTIGO CIENTÍFICO

Propriedades de formação de massa de pão elaborado com farinha de trigo de grão inteiro incorporado com tegumento de soja e composto de mandioca

Viviane Vaz Oleiro Durante^a, Bárbara Biduski^a, Luiz Carlos Gutkoski^a, Telma Elita Bertolin^a

^a Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, BR 285, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil

Resumo

A farinha de trigo é o ingrediente mais importante nos produtos de panificação pois possui propriedade única de formação da massa devido as proteínas formadoras do glúten, uma rede viscoelástica importante na qualidade do produto final. O glúten possui capacidade de dar extensibilidade e consistência à massa, além de reter o gás carbônico proveniente da fermentação e promover o volume desejado do pão. O pão, por ser um produto muito consumido e estar na base da pirâmide alimentar, se torna um interessante veículo para promover a incorporação de compostos bioativos para desenvolvimento de alimentos funcionais. Apesar de benéfica para a saúde, a presença de fibras alimentares na farinha de trigo interfere na formação da rede de glúten. Desta forma, pesquisas devem ser conduzidas para que estes efeitos sejam minimizados já que, a incorporação desses subprodutos resulta em alimentos menos calóricos, com menores teores de lipídios e proteínas e maior teor de fibras alimentares. Desta forma, se objetivou avaliar as propriedades de formação de massa de pão de forma com farinha de trigo de grão inteiro incorporado de tegumento de soja e composto fibroso de mandioca. As misturas foram avaliadas quanto ao perfil de distribuição do tamanho de partícula, composição centesimal, farinografia e performance de panificação sendo avaliada segundo os parâmetros de volume específico, firmeza e cor. Os experimentos foram realizados em planejamento fatorial 2^2 com dois pontos centrais, resultando em 6 tratamentos. As variáveis independentes analisadas foram: tegumento de soja nos níveis 2, 6, 10% e fibra da mandioca nos níveis 3, 9, 15%. Os resultados foram submetidos ao teste de tukey ao nível de 5% de significância. O composto fibroso de mandioca acarreta alterações nas propriedades de mistura, o aumento do percentual de substituição da FTGI acarretou farinhas mais estáveis. Na performance de panificação, O aumento do CFM causou menor volume do pão e maior firmeza.

Palavras-chave: trigo, pão, glúten, fibras alimentares, reologia

1. INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares humanos estão em um processo de transição devido ao aumento da conscientização crescente do consumidor para alimentos com perfil nutricional mais equilibrado, com benefícios de saúde, metabólicos, fisiológicos e funcionais mais amplos (PANGHAL et al., 2018). Para atender as novas demandas, algumas adaptações das indústrias para produzir alimentos com tal perfil são necessárias e incluem estudos para o aproveitamento dos seus subprodutos. Neste caso, além da produção de alimentos com melhor equilíbrio nutricional e com mais ingredientes funcionais, os impactos ambientais de seus resíduos descartados seriam reduzidos bem como custos operacionais, de forma a agregar valor ao sistema como um todo (BALDISSERA, et al., 2011).

A indústria de alimentos gera uma grande quantidade de resíduos que, na maioria das vezes, são subprodutos de alto valor agregado. Esses subprodutos são fontes promissoras e econômicas de ingredientes funcionais que, quando adicionados à alimentos tradicionais, podem, além de cumprir a função básica de nutrir, promover benefícios à saúde (MARTINS; PINHO; FERREIRA, 2017; YANG; XIAO; WANG, 2014). Dentre os ingredientes funcionais,

é possível citar, antioxidantes, prébióticos, probióticos, biopeptídeos, vitaminas, esteróis vegetais, minerais e fibras alimentares.

As fibras alimentares, presentes nos subprodutos das indústrias de processamento de soja e mandioca, por exemplo, podem ser classificadas em solúveis e insolúveis e são relacionadas a diferentes funções no organismo humano (BERNAUD; RODRIGUES, 2013). As fibras alimentares solúveis estão associadas com o retardo na absorção de glicose, maior saciedade, diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo e prevenção do câncer de intestino. Enquanto que, as fibras alimentares insolúveis estão relacionadas ao bom funcionamento do intestino (TEBBEN; SHEN; LI, 2018).

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma das principais culturas alimentares em áreas de clima tropical (WANG, et al., 2014; WEI, et al., 2017). A fibra de mandioca é um subproduto proveniente da extração da fécula de mandioca e apresenta alto potencial para o aproveitamento como ingrediente alimentar, devido a sua quantidade de fibras alimentares, que é de aproximadamente 16% (LEONEL, 2001; RODRIGUES, 2011).

Outro subproduto importante na cadeia de alimentos é o tegumento de soja. A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa utilizada para extração de óleo vegetal. Como um dos subprodutos desse processamento, o tegumento, camada externa dos grãos de soja, é rico em fibras alimentares e capaz de fornecer um bom perfil nutricional e funcional quando adicionados em produtos de panificação.

Dentro do contexto de transição alimentar existe um interesse particular pelos produtos integrais. O consumo de grãos integrais promove efeitos benéficos a saúde devido a ação conjugada de vários componentes como fibra alimentar e compostos fitoquímicos com ação bioativa (LUTHRIA; LU; JOHN MARIA, 2015). No trigo, esses compostos funcionais estão presentes na camada de aleurona e mais externa do grão, porções estas removidas durante a obtenção da farinha refinada. Ocorre, então, um aumento pela procura de produtos elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (SANTOS et al., 2018) como os produtos de panificação.

O pão é o produto de panificação considerado um alimento básico em muitas civilizações e é, até hoje, a base da pirâmide alimentar pelo seu equilíbrio adequado de macronutrientes e possuir alguns micronutrientes e minerais (PREEDY; WATSON; PATEL, 2011). A presença das camadas externas do grão de trigo, ricas em fibras alimentares, no pão podem influenciar nas suas características sensoriais e na formação da rede e glúten (SANTOS et al., 2018).

A rede proteica viscoelástica de glúten é formada pela hidratação e amassamento da massa e é capaz de reter o gás produzido no processo de fermentação (SANTOS et al., 2018; SROAN; MACRITCHIE, 2009). A rede de glúten se forma a partir das ligações dissulfeto que ocorrem entre suas proteínas formadoras, a gliadina e glutenina. As fibras alimentares, quando adicionadas nas formulações, são capazes de criar novas ligações de hidrogênio e novas conformações nas ligações dissulfeto. Ocorre, então, uma agregação anormal das proteínas formadoras do glúten e, conseqüentemente, alterações nas propriedades mecânicas da massa.

O aproveitamento de subprodutos ricos em fibras alimentares para o desenvolvimento dos produtos de panificação está relacionado à quantidade e qualidade destes ingredientes a fim de não descaracterizar os produtos elaborados (VIEIRA et al., 2010). Os principais desafios destes estudos são elevar o valor nutricional e funcional dos produtos conferindo-lhes características sensoriais aceitáveis.

Desta forma, objetivou-se investigar a influência da adição de um composto fibroso de mandioca e do tegumento da soja nas propriedades de formação de massa e nas características de pão de forma elaborado com farinha de trigo de grão inteiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

O trigo do cultivar Audaz de Coxilha – RS foi fornecido pela empresa Biotrigo, Passo Fundo, RS. O tegumento da soja foi concedido pela empresa BSBIOS, localizada em Passo Fundo - RS. O composto fibroso de mandioca foi cedido pela empresa Fibervita, localizada em Chapecó-SC.

2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento está sendo realizado através de um planejamento fatorial 2^2 . As variáveis estão estabelecidas em dois níveis (-1, +1) com duplicata do ponto central. A distribuição de realização dos experimentos está descrita na Tabela 1.

As avaliações e condições experimentais acima descritas foram aplicadas na massa de pão de forma elaborado com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS). A codificação das amostras ocorre da seguinte maneira: a primeira letra seguida de um valor indica o percentual substituído da FTGI pelo CFM; a segunda letra e seu respectivo valor representam o percentual substituído de TS na formulação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis independentes e níveis do planejamento fatorial 2^2 , para caracterização das misturas de farinha de trigo de grão inteiro e fibras alimentares de mandioca e soja.

Tratamentos	Composto fibroso de mandioca	Tegumento de soja	Código
1	-1 (3%)	-1 (2%)	M3S2
2	+1 (15%)	-1 (2%)	M15S2
3	-1 (3%)	+1 (10%)	M3S10
4	+1 (15%)	+1 (10%)	M15S10
5	0 (9%)	0 (6%)	M9S6
6	0 (9%)	0 (6%)	M9S6

2.3. MÉTODOS

2.3.1. Obtenção da farinha de trigo de grão inteiro

A farinha de trigo de grão inteiro foi obtida em moinho de rotor termostaticado (MA90, Marconi, Brasil). O moinho possui três peneiras para o processo de moagem, 10 mesh (G), 20 mesh (M) e 32 mesh (P). O trigo foi moído primeiramente na peneira G e logo em seguida foi peneirado com peneira de 40 mesh. O passante, considerado a farinha, foi armazenado. O retido foi moído novamente com peneira M. Novamente, depois do peneiramento em 40 mesh, o passante foi armazenado e o retido foi moído com a peneira P. A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) é a junção das quantidades passantes na peneira de 40 mesh e do que foi moído na peneira de 32 mesh.

2.3.2. Composição química

Os teores de umidade, proteína, cinzas e lipídios foram determinados de acordo com os métodos nº 44-15.02 da AACC (2010), nº 46-10.01 da AACC (2010), nº 08-12.01 da AACC (2010), nº 30.20.01 da AACC (2010) respectivamente. O teor de fibras alimentares foi determinado de acordo com o método AACC (2010) nº 32-07.01 com o kit enzimático (Total Dietary Fiber Assay Kit, Sigma-Aldrich®, EUA).

2.3.3. Caracterização das misturas de farinha de trigo de grão inteiro, tegumento de soja e composto fibroso de mandioca

O tamanho das partículas das amostras foi determinado pela técnica de espalhamento de luz (Laser Particle Size Analyzer, Bettersizer S2-WD, EUA) utilizando sistema de dispersão a

seco. Para a verificação do tamanho de partícula do tegumento de soja foi utilizado o método analítico Diâmetro de Sauter.

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando-se o espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA), com sensor óptico geométrico de esfera para se obter os valores de luminosidade (L^*). Os valores de L variam entre 0 (preto) e 100 (branco) e as coordenadas de cromacidade $-a^*$ que vai de -60 (verde) até $+a^*$, +60 (vermelho); e $-b^*$ -60 (azul) até $+b^*$ +60 (amarelo).

2.3.4. Propriedades reológicas das misturas de farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), tegumento de soja (TS) e composto fibroso de mandioca (CFM)

As propriedades de pasta foram analisadas no equipamento Viscosímetro (modelo RVA-3D), equipado com software Termocline for Windows, versão 3.1, de acordo com o método nº 76-21.01 da AACC (2010). Foram utilizados 4 g de farinha e $25 \pm 0,1$ ml de água destilada, corrigidas para 14% de umidade, sendo considerados os parâmetros: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante que é ligada à quebra e viscosidade final, associada à tendência à retrogradação.

O comportamento das farinhas durante o processo de mistura foi avaliado segundo o método nº 54-21.02 da AACC (2010), em equipamento Farinograph-E Brabender, utilizando 50 g de farinha de trigo. Os parâmetros avaliados foram absorção de água; tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e estabilidade da massa.

2.3.5. Elaboração do pão de forma

O preparo da massa foi realizado como descrito por ORO (2013). A massa foi preparada utilizando a masseira do equipamento farinógrafo (Farinograph-E Brabender) com capacidade para 50 g de amostra. As massas foram preparadas utilizando as misturas de farinha de trigo de grão inteiro com as fibras alimentares de mandioca e soja, gordura vegetal hidrogenada (4%), cloreto de sódio (2%), reforçador (1%), açúcar (5%), fermento biológico (2%), água a 4,0°C adicionada de acordo com a absorção previamente determinada nas propriedades de mistura da massa.

A farinha foi colocada na masseira do farinógrafo (mantida em temperatura constante de 30 °C) e misturada durante 1 min. Em seguida, foram adicionados o açúcar, o fermento, o sal, a gordura vegetal hidrogenada e o ácido ascórbico e também misturados durante 1 minuto. Após este período, foi adicionada água destilada em quantidade suficiente para que a massa formada atingisse a consistência máxima de 650 (± 20) UF, empregando 6,0 minutos como tempo de desenvolvimento da massa. Finalizada a etapa de amassamento, a massa foi fracionada pesada e dividida em partes iguais de 35,0 g. As frações foram moldadas com o auxílio de cilindro manual (Pasiani, Brasil) e colocadas em formas de aço inox, previamente untadas com gordura vegetal hidrogenada. As massas permanecerão em câmara de descanso (Multi Pão, Brasil) sob temperatura controlada de 30°C e 100% de umidade relativa durante 60 minutos. Posteriormente, foram submetidas a cozimento em forno (modelo QA 226, Labor Instruments Works, Hungria) com temperatura controlada de 150°C e tempo de cozimento de 13 min. Os pães permaneceram em temperatura ambiente por 1 hora após cozimento para esfriar antes das análises de qualidade.

2.3.6. Avaliação das características de qualidade dos pães

O volume específico dos pães foi determinado em aparelho Vondel, modelo MVP 1300, Brasil, pelo deslocamento de sementes de painço e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi-analítica. A determinação do volume específico foi realizada uma hora após o cozimento dos pães e os resultados expressos em $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$.

O perfil de textura pão foi determinada através de um analisador de textura TA.XTplus, utilizando o método n 74-09.01 da AACCI (2010), no qual um probe cilíndrico de 36 mm comprime a amostra a 40% do tamanho original, a velocidade de 1,7 mm.s⁻¹, obtendo-se assim os parâmetros de parâmetro de firmeza (g), coesividade (g), mastigabilidade (g) e gomosidade (g). Para a análise foram utilizadas seis fatias de pão de 25 mm de espessura.

2.3.7. Análise estatística

A significância dos dados foi testada pela análise de variância (Anova) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 95% de intervalo de confiança.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A composição química da matéria-prima é um fator importante para a qualidade tecnológica dos produtos de panificação (DIAS et al., 2019), uma vez que, a proporção destes componentes influencia nas características físico-químicas e reológicas da massa. A Tabela 2 mostra a composição química da farinha de trigo de grão inteiro do composto fibroso de mandioca e do tegumento de soja e das misturas elaboradas a partir destas matérias-primas.

Tabela 2 - Composição centesimal da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) das misturas elaboradas a partir destas matérias-primas

Matérias-primas						
Amostra	Umidade (%)	Proteína (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)	Fibra alimentar (%)
FTGI	10,55 ± 0,22	13,26 ± 0,89	2,25 ± 0,04	2,79 ± 0,19	71,14 ± 1,470	12,81 ± 0,40
CFM	12,21 ± 0,01	1,55 ± 0,04	1,49 ± 0,05	0,37 ± 0,07	84,87 ± 0,05	40,05 ± 1,81
TS	6,16 ± 0,07	9,53 ± 0,21	4,27 ± 0,06	2,83 ± 0,70	2,69 ± 0,005	74,52 ± 0,85
Misturas						
Amostra ¹	Umidade (%)	Proteína (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)		
M3S2	10,55 ^a ± 0,01	12,05 ^a ± 0,06	1,82 ^b ± 0,03	3,47 ^{ab} ± 0,27		
M3S10	10,59 ^a ± 0,24	11,95 ^a ± 0,07	2,14 ^a ± 0,0	2,42 ^b ± 0,16		
M9S6	11,08 ^a ± 0,33	11,27 ^b ± 0,07	1,59 ^d ± 0,005	4,15 ^a ± 0,26		
M15S2	11,58 ^a ± 0,07	11,77 ^{ab} ± 0,01	1,77 ^{bc} ± 0,01	3,72 ^a ± 0,06		
M15S10	10,55 ^a ± 0,22	10,66 ^c ± 0,18	1,73 ^c ± 0,005	3,49 ^{ab} ± 0,15		

¹ Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05)

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo n° 8, 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), a farinha deve apresentar um teor mínimo de proteína de 8,0% e um valor máximo de cinzas de 2,5%. Embora esses valores sejam estabelecidos para farinha de trigo integral e não para FTGI, a mesma se apresentou dentro dos limites estipulados na legislação. Ainda segundo BRASIL (2005), o percentual de umidade não deve ultrapassar 15%. A farinha utilizada encontra-se dentro dos padrões estabelecidos para este parâmetro.

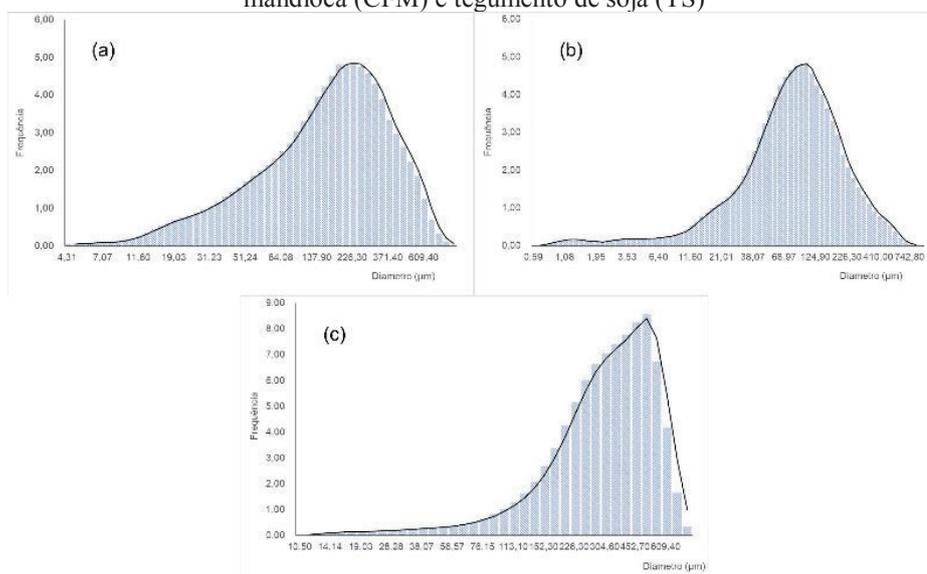
A Tabela 2 expõe, também, a composição química das misturas elaboradas com farinha de grão inteiro parcialmente substituída por composto fibroso de mandioca e tegumento de soja. O percentual de proteína não apresentou diferença significativa entre as misturas, porém apresentaram valores menores que a FTGI. A composição centesimal das amostras é obtida através do percentual do componente, o aumento de um ocasiona a diminuição de outro. Sendo assim, a parcial substituição da FTGI por matérias-primas ricas em fibras, causa diminuição dos demais componentes.

A Figura 1 apresenta o perfil de distribuição do tamanho de partículas da farinha de trigo de grão inteiro (a), composto fibroso de mandioca (b) e tegumento de soja (c). A curva que apresenta o comportamento do tamanho de partícula da FTGI mostra que a matéria-prima apresentou um tamanho de partícula menor que 600 μm .

O conhecimento sobre o tamanho de partícula da FTGI é um fator importante, pois segundo Bressiani et al., (2017), partículas com tamanho médio de 608,44 μm em FTGI apresentam um bom comportamento na panificação causando menor impacto nas propriedades de formação de massa. Da mesma forma, em estudo realizado por Rodríguez et al., (2019), com farinha de “algarrobo”, arbusto comum em países como Argentina e Peru, mostra diferenças na concentração dos compostos fenólicos, fibras alimentares e potássio em diferentes tamanhos de partícula.

O composto fibroso de mandioca apresentou tamanho de partícula médio inferior ao da farinha de trigo de grão inteiro. Isso se deve à obtenção do material e subsequentes tratamentos no processamento do composto. Além disso, essa matéria-prima apresenta uma distribuição mais homogênea.

Figura 1 – Distribuição do tamanho de partículas da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



(a) FTGI; (b) CFM; (c) TS
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O tegumento da soja apresentou tamanho de partícula superior as demais matérias-primas. Todavia mais de 70% da amostra ficou com diâmetro inferior a 450 μm . Yang, Xiao e Wang (2014) utilizam a casca de soja em produtos de panificação com tamanho de partícula inferior a 230 μm e verificaram uma significativa melhora nos parâmetros de cor das farinhas. Segundo os autores, esse avanço foi devido ao controle do tamanho de partícula das matérias-primas envolvidas

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de cor da FTGI, CFM e TS e das misturas elaboradas com estas matérias-primas. A maior luminosidade observada no composto fibroso de mandioca pode estar associada ao aumento na área de superfície, relacionadas às partículas finas obtidas na moagem do material, que permite maior reflexão da luz (AHMED et al., 2013). Além disso, esse valor pode ter associação com os parâmetros de cor da mandioca, sua matéria-prima de origem.

Tabela 3 – Parâmetros de cor da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	L*	a*	b*
Matérias-primas			
FTGI	80,84 ± 0,12	3,05 ± 0,04	12,92 ± 0,03
CFM	85,12 ± 0,04	1,89 ± 0,01	13,97 ± 0,02
TS	73,03 ± 0,37	4,54 ± 0,07	19,96 ± 0,03
Misturas ¹			
M3S2	87,62 ^a ± 0,04	1,76 ^d ± 0,01	10,43 ^d ± 0,09
M3S10	86,52 ^c ± 0,03	1,94 ^b ± 0,01	10,87 ^c ± 0,14
M9S6	86,94 ^b ± 0,15	1,85 ^c ± 0,02	10,97 ^c ± 0,06
M15S2	82,29 ^e ± 0,17	2,68 ^a ± 0,06	12,81 ^a ± 0,05
M15S10	86,15 ^d ± 0,05	1,96 ^b ± 0,01	11,72 ^b ± 0,04

¹Valores médios na mesma coluna seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). L* luminância das amostras; a* cromaticidade de tons avermelhados; b* cromaticidade de tons amarelados

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Da mesma forma, os maiores valores observados nas coordenadas de cromaticidade a* e b* indicam tendência a tons avermelhados e amarelados respectivamente, demonstrando farinhas mais escuras, também relacionadas a coloração da matriz de obtenção destas farinhas.

Em relação à cor nas misturas, diferenças significativas foram observadas entre as amostras (p<0,05) nos parâmetros analisados. No parâmetro luminosidade, o maior valor encontra-se na amostra que possui um menor percentual de substituição (3% de CFM e 2% de TS).

É possível, ainda, observar que o aumento na proporção de CFM influenciou mais o aumento da luminosidade quando comparado ao aumento na quantidade adicionada de TS. Isso pode ser explicado pelo fato do CFM apresentar uma luminosidade maior (p<0,05) das demais matérias-primas.

As coordenadas de cromaticidade a* e b* indicam as tendências à tons de cores avermelhados e amarelados, respectivamente. Nesse contexto, todas as amostras apresentaram diferenças (p<0,05) nas duas coordenadas de cromaticidade. As amostras com menores percentuais de substituição (Tabela 5) mostram menores valores para as coordenadas. Na Tabela 4, os valores de a* e b* são maiores para TS o que indica ser esta matéria-prima a principal responsável pela alteração na cor das misturas. Os parâmetros de cor são determinações importantes pois, tais respostas. Interferem nas características de aparência do produto final.

3.2. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA MASSA

A determinação de propriedades de mistura da massa foi realizada à fim de avaliar os efeitos das substituições da FTGI. A estabilidade da massa mede a resistência ao estresse mecânico. O tempo de desenvolvimento (TD) depende da qualidade do glúten e representa o tempo necessário para que a massa alcance a consistência máxima. O índice de tolerância à mistura (ITM), apresenta o enfraquecimento da massa (JUNQUEIRA, et al., 2007) que, juntamente com a estabilidade, retratam as propriedades viscoelásticas do glúten. Combinando altos valores de estabilidade e tempo de desenvolvimento com baixos valores de índice de tolerância à mistura, temos uma farinha de alta qualidade para panificação. A absorção de água (AA) é um fenômeno complexo que deve ser correlacionado aos demais parâmetros. Além disso, depende de fatores como tipo de farinha, característica do glúten e presença de outros componentes, por exemplo, as fibras alimentares (FRAKOLAKI, et al., 2018).

As respostas de tais parâmetros apresentadas na Tabela 4 confirmam a complexidade do efeito das substituições no comportamento da massa. A substituição de FTGI pelo CFM e TS tornou as massas mais fortes. O aumento da substituição acarreta em farinhas com maior estabilidade e TD, além de menor ITM atendendo aos requisitos de qualidade da farinha para panificação. Peressini; Sensidoni (2009) e Gül; Sem (2017) também encontraram valores elevados de estabilidade em seus respectivos estudos de adição de fibras e produtos de panificação.

Porém, como mencionado à adição de fibras alimentares leva a uma diluição do glúten prejudicando sua formação. A interferência das fibras alimentares altera consideravelmente as propriedades reológicas da farinha e, por consequência, a performance de panificação.

Tabela 4 - Propriedades de mistura (farinografia) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostra	Estabilidade (min)	ITM	TD (min)	AA (%)
FTGI	9,35 ± 0,25	29,50 ± 0,50	8,00 ± 0,20	69,15 ± 0,05
M3S2	9,80 ± 0,10	34,50 ± 0,80	8,25 ± 0,25	73,95 ± 0,25
M3S10	7,60 ± 0,40	30,50 ± 1,50	10,65 ± 0,15	79,00 ± 0,20
M9S6	12,12 ± 0,07	28,25 ± 1,25	14,22 ± 0,37	81,47 ± 0,62
M15S2	24,45 ± 0,35	31,50 ± 0,50	8,60 ± 0,20	78,65 ± 0,15
M15S10	27,90 ^a ± 0,70	13,50 ± 0,50	18,95 ± 1,25	84,50 ± 0,20

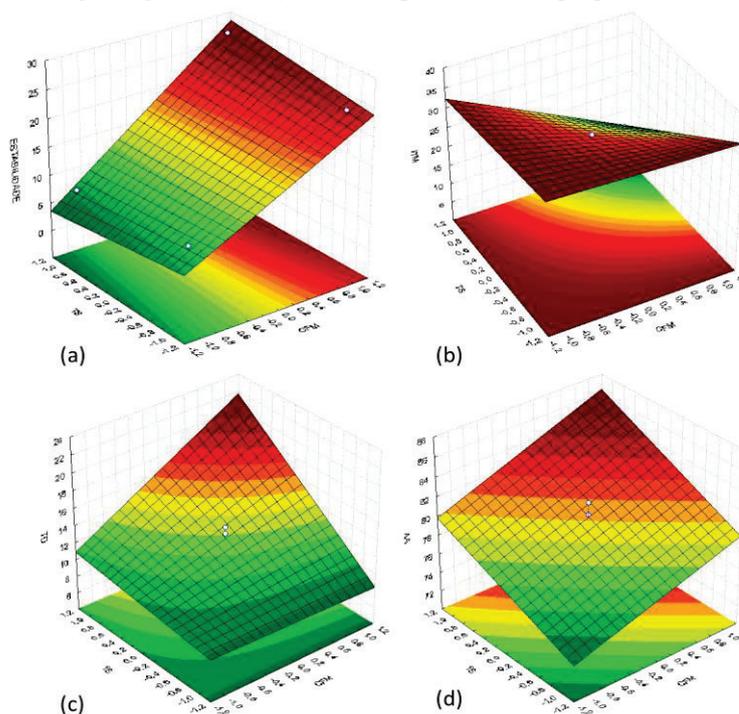
ITM: índice de tolerância à mistura; TD: tempo de desenvolvimento; AA: absorção de água

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Segundo Khalil (2000), ao estudar a substituição da farinha de trigo por farinha de mandioca, revela um aumento do tempo de desenvolvimento da massa. Os autores atribuíram essa alteração ao maior teor de fibras alimentares da farinha de mandioca, que absorveu a água lentamente. Além disso, as fibras alimentares interagem com o glúten e impedem sua correta hidratação (PENELLA; COLLAR; HAROS, 2008). A interação das fibras alimentares com o glúten pode ser explicada pela presença de grande número de grupos hidroxila em sua estrutura, o que proporciona maiores interações com a água através de ligações de hidrogênio (ROSSEL et al., 2001).

A Tabela 7 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS nas propriedades de mistura. A Figura 2 apresenta os diagramas de superfície de resposta para os parâmetros estudados nas propriedades de mistura. A Figura é dividida em (a), (b), (c) e (d) que são estabilidade, índice de tolerância à mistura (ITM), tempo de desenvolvimento (TD) e absorção de água (AA), respectivamente. O aumento das proporções de CFM e TS acarreta em estabilidade e TD maiores e ITM maior.

A Figura 2 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de mistura



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

(a) Estabilidade (min); (b) Índice de tolerância à mistura (ITM); (c) Tempo de desenvolvimento (TD); (d) Absorção de água (%)

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

O aumento da substituição da FTGI pelo CFM e TS acarretou em um aumento significativo da AA das amostras - Figura 2(d), causado pela interação das fibras alimentares, através dos seus grupos hidroxila e a água. Essa elevação ocorreu independentemente da proporção das fibras alimentares em cada amostra. A relação observada na Tabela 4, entre o aumento de substituição da FTGI e elevação da AA é uma característica de farinhas compostas, pelo fato dos componentes possuírem quantidade e velocidade de absorção diferentes (KHALIL, 2000). Além de interferir na rede de formação de glúten (ROSELL, et al., 2005; AHMED et al., 2013), as fibras alimentares levam a uma hidratação não uniforme durante a mistura da massa (JACOBS et al., 2016).

Os maiores valores de AA ($p < 0,05$) estão entre as misturas com maior quantidade de CFM. De acordo com a Figura 1, o TS apresentou tamanho de partícula maior, fato que faz com que absorva água mais lentamente em relação ao CFM. Além disso, o CFM apresenta uma característica de solubilidade a frio (determinada em trabalhos anteriores) indicando uma interação imediata com a água ao contrário do TS que precisaria de um tempo maior para absorver água.

As propriedades de pasta apresentam o comportamento do amido, na presença de água, durante o aquecimento e agitação mecânica (BRESSIANI et al., 2017). Quando o CFM e TS são adicionados na FTGI sua composição química é alterada. O amido fica diluído e, conseqüentemente, as propriedades de pasta são modificadas. Outro fator que contribui é a competição dos componentes das misturas pela água presente no meio que vai variar com a proporção das misturas estabelecidas (Tabela 4). A Tabela 5 mostra as respostas para os parâmetros pico de viscosidade, quebra, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta das amostras parcialmente substituídas por CFM e TS.

Tabela 5 - Propriedades de pasta (RVA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostras	Pico de Viscosidade (RVU)	Quebra (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Temperatura de Pasta (°C)
FTGI	191,25 ± 3,92	59,37 ± 2,20	248,41 ± 3,16	116,54 ± 1,46	88,13 ± 0,13
M3S2	234,63 ± 3,46	81,59 ± 0,84	274,17 ± 6,25	121,13 ± 1,96	84,43 ± 0,33
M3S10	176,59 ± 4,42	74,05 ± 1,13	201,46 ± 4,29	98,92 ± 1,00	82,28 ± 0,82
M9S6	175,98 ± 6,23	68,33 ± 0,16	202,83 ± 4,60	95,18 ± 1,43	85,41 ± 1,03
M15S2	148,79 ± 0,96	48,46 ± 0,21	187,09 ± 2,84	86,75 ± 2,08	86,05 ± 0,45
M15S10	109,88 ± 0,45	46,29 ± 0,21	132,05 ± 0,05	68,50 ± 0,75	78,93 ± 4,88

RVU: Rapid Visco Unit

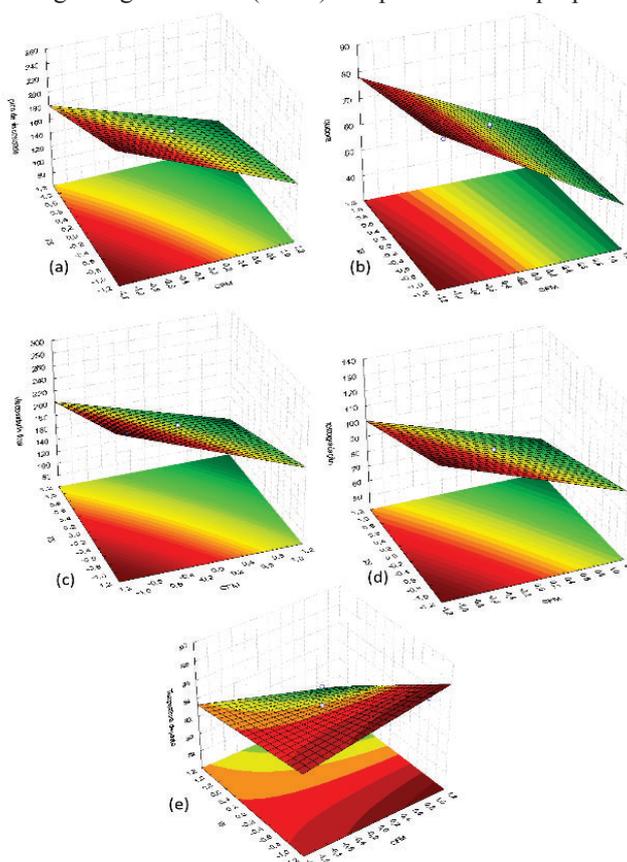
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O pico de viscosidade reflete a extensão da gelatinização do grânulo de amido e mostra a tendência da viscosidade da amostra durante a mistura. Segundo RAGAE; ABDEL-ALL, (2006), o aumento da quantidade de amido na amostra contribui para a maior viscosidade, relacionado com a composição química das amostras. As quantidades de fibras alimentares, proteínas e lipídios podem interferir na absorção de água pelo amido levando à diferenciação nos valores de pico de viscosidade (SINGH, et al., 2011). Isso ocorre, pois, as fibras alimentares são conhecidas por absorver grande quantidade de água, desta forma, a presença dessas nas misturas acarreta em uma competição pela absorção de água limitando a absorção de água pelos grânulos de amido e conseqüentemente o seu perfil de gelatinização (KHALIL, 2000).

A Figura 3 apresenta os gráficos de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS nas respostas pico de viscosidade (a), quebra de viscosidade (b), viscosidade final (c), retrogradação (d) e temperatura de pasta (e). Todos dos parâmetros avaliados apresentaram redução com o aumento da substituição pelo CFM e TS. A Tabela 7 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS nas propriedades de pasta (RVA).

As matérias-primas adicionadas na FTGI alteraram a absorção da água (Tabela 4), conseqüentemente o pico de viscosidade Figura 3a. A diminuição da disponibilidade de água interfere no intumescimento do grânulo de amido afetando o pico de viscosidade (LIU et al., 2016).

A Figura 3 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) nos parâmetros de propriedades de pasta



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

(a) Pico de viscosidade; (b) quebra de viscosidade; (c) viscosidade final; (d) retrogradação; (e) temperatura de pasta

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A quebra da viscosidade é causada pela ruptura dos grânulos de amido intumescidos. A diminuição da quebra indica maior estabilidade do amido frente ao aquecimento e agitação (VANDEPUTTE et al., 2003). Na análise da quebra de viscosidade da Figura 3b, o aumento da concentração das variáveis (principalmente o CFM) gera menor quebra de viscosidade e, conseqüentemente, leva a uma maior estabilidade da amostra frente ao aquecimento e força de cisalhamento, uma vez que este composto apresenta grande quantidade de amido (Tabela 2). Além disso, a menor disponibilidade de água pode não ter permitido o intumescimento completo dos grânulos de amido, não sendo o suficiente para que ocorresse a fragmentação dos grânulos.

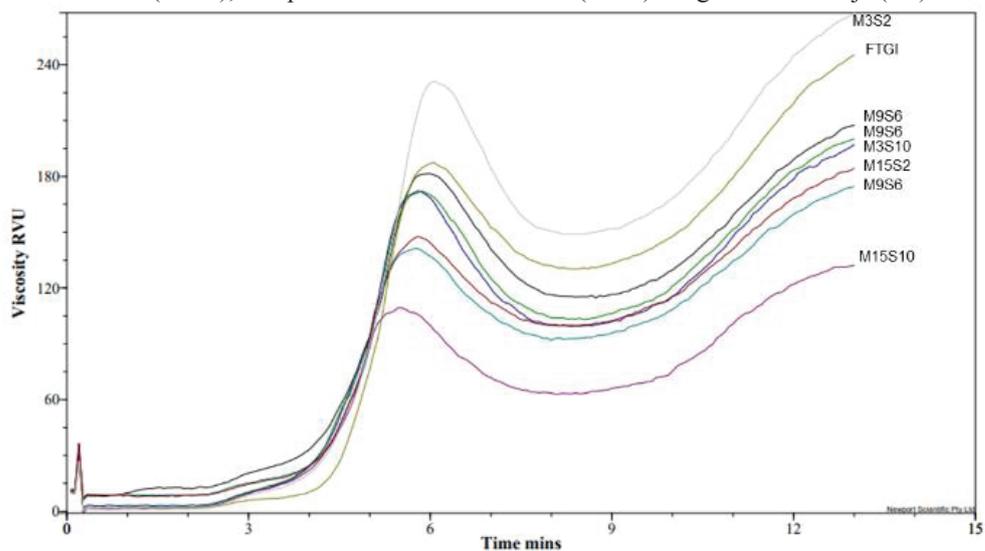
A viscosidade final é atingida durante o processo de resfriamento do gel e pode estar diretamente relacionada com a retrogradação (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). O aumento da substituição da FTGI acarreta a diminuição da viscosidade final (Tabela 7). As duas variáveis analisadas diminuem o valor da viscosidade final (Figura 14c). As amostras com maior valor de viscosidade final e retrogradação são a FTGI e M3S2, com 0 e 5% de substituição da FTGI, respectivamente o que sugere que 5% de substituição não é suficiente para causar alterações nas propriedades de pasta.

O parâmetro de retrogradação descreve a fase em que ocorre uma reassociação das moléculas de amilose e amilopectina resultando na formação de um gel. Esta fase é relacionada com a reorganização das moléculas de amido (RAGAE; ABDEL-AAL, 2006). Com um comportamento semelhante à viscosidade final, a retrogradação foi afetada pelas duas variáveis (Figura 3d).

A temperatura de pasta indica a temperatura que a viscosidade começa a aumentar durante o período de aquecimento (SINGH et al., 2011). Em 3e observa-se que o aumento da concentração do CFM e TS diminui a temperatura de pasta. O aumento do CFM e TS faz com que as misturas iniciem o aumento de viscosidade antes.

A Figura 4 mostra o comportamento das misturas contendo FTGI, CFM e TS no perfil de viscosidade. A diminuição no pico de viscosidade e quebra juntamente com o aumento da viscosidade final e retrogradação sugere que, a substituição parcial da FTGI por CFM e TS ocasiona a complexação com a proteína e fibras alimentares, além de uma competição pela absorção de água dos amidos acarretando em farinhas com estrutura mais organizada e estável à altas temperaturas. Além disso, é possível observar um aumento mais intenso no início da curva de viscosidade das amostras adicionadas das fibras alimentares, em relação a FTGI, sendo esse aumento mais acentuado nas amostras com maior concentração de CFM. Isso pode ser um indicativo de viscosidade a frio do CFM devido ao tratamento dessa matéria-prima pela indústria. A viscosidade a frio faz com que as misturas que contenham CFM (especialmente em maiores quantidades) apresentem interação com a água mais rápida do que a FTGI presente na mistura ocasionando o aumento da curva de viscosidade, em relação à FTGI.

Figura 4 – Representação gráfica do perfil de viscosidade das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Tabela 6 mostra a análise do perfil de textura dos géis das misturas de FTGI parcialmente substituída com CFM e TS. A elasticidade é medida da maneira como a estrutura da amostra quebra durante a mastigação. A coesividade é a medida da força das ligações internas que compõem a estrutura, capacidade da amostra em suportar deformações. Um gel de amido coeso tem como principais fenômenos a lixiviação das cadeias de amilose dos grânulos e sua reassociação durante a retrogradação (SANDHU; SINGH, 2007).

Tabela 6 - Análise de perfil de textura (TPA) das misturas elaboradas com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)

Amostras ¹	Firmeza (g)	Elasticidade	Coabilidade	Gomosidade (g)
FTGI	235,07 ± 6,55	0,93 ± 0,00	0,54 ± 0,01	126,69 ± 1,53
M3S2	349,57 ± 3,69	0,92 ± 0,00	0,55 ± 0,00	192,80 ± 3,21
M3S10	263,18 ± 2,15	0,97 ± 0,03	0,55 ± 0,00	144,14 ± 1,78
M9S6	300,70 ± 11,56	0,95 ± 0,005	0,56 ± 0,01	167,42 ± 3,49
M15S2	188,23 ± 0,44	0,94 ± 0,01	0,55 ± 0,02	103,67 ± 4,63
M15S10	217,07 ± 2,09	0,96 ± 0,00	0,53 ± 0,02	114,99 ± 2,36

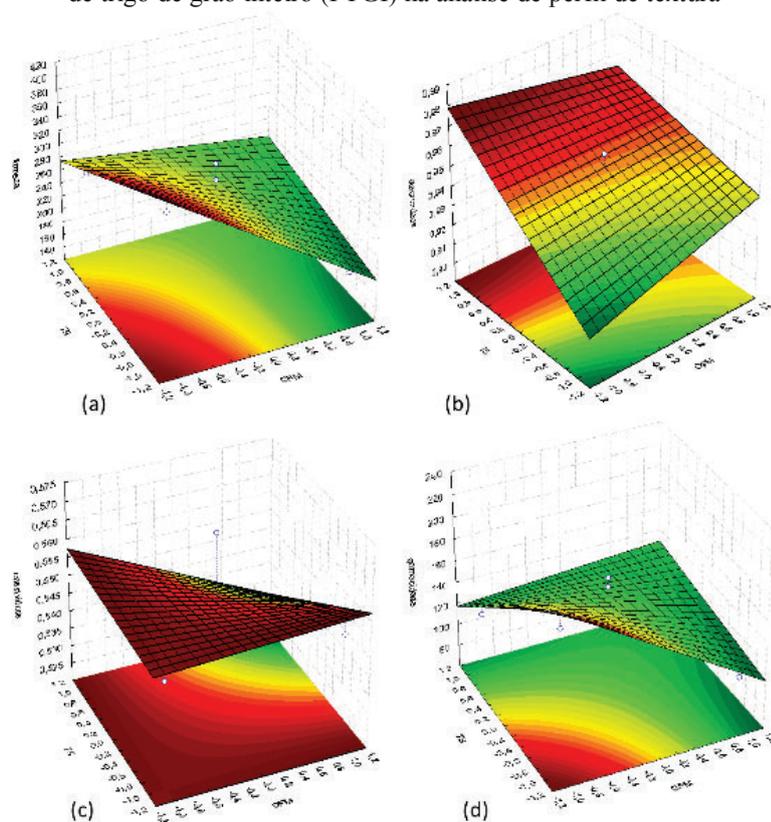
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A retrogradação do amido contribui para as modificações dos parâmetros do TPA, principalmente no aumento da firmeza e na diminuição da adesividade (YU et al., 2012; QIU, et al., 2017). A presença das fibras alimentares nas misturas afetou a retrogradação e, conseqüentemente, a firmeza dos géis. A maior viscosidade final e maior retrogradação da amostra M3S2 acarretaram em maior firmeza do gel. As amostras com maior concentração de CFM (M15S2 e M15S10) apresentaram a menor firmeza. As fibras causam essa desordem por possuírem superior capacidade de retenção de água em relação ao amido, logo, a distribuição de água no sistema seria heterogênea (PURHAGEN et al., 2012).

A gomosidade é associada com a força necessária para que ocorra a desintegração do gel. A amostra que apresentou maior valor para esse parâmetro foi M3S2, é possível associar essa informação com as Tabelas 5 (viscosidade final) e 6 (dureza do gel) onde esta amostra apresentou os maiores valores indicando que a farinha desta amostra necessita de uma força maior para desintegrar o seu gel uma vez que tem maior viscosidade final e dureza.

A Figura 4 apresenta os gráficos de superfície de resposta dos efeitos das variáveis CFM e TS nas respostas firmeza (a), elasticidade (b), coabilidade (c) e gomosidade. A Tabela 7 (Apêndice A) mostra os resultados da análise de variância dos efeitos das variáveis CFM e TS no perfil de textura (TPA) das amostras.

Figura 4 – Efeito da incorporação do composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) na farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) na análise de perfil de textura



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja
 (a) firmeza; (b) elasticidade; (c) coesividade; (d) gomosidade
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

3.3. PERFORMANCE DE PANIFICAÇÃO

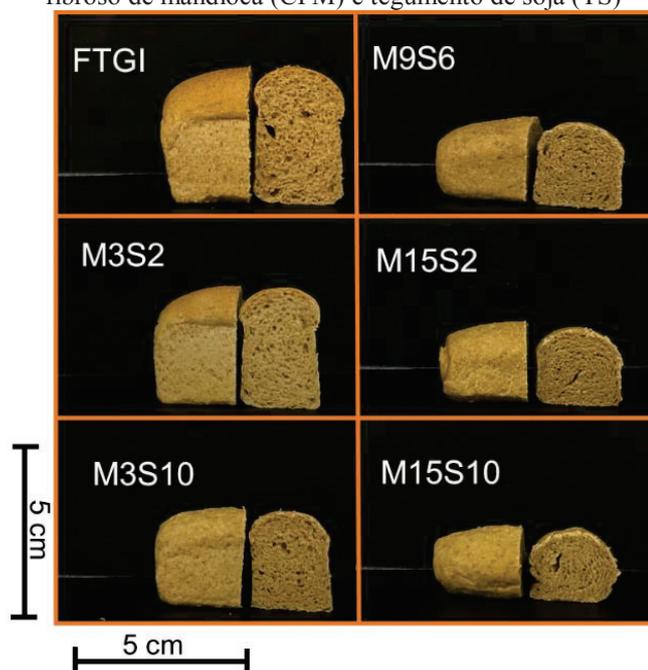
A Figura 5 mostra os pães elaborados a partir das misturas de FTGI, CFM e TS em comparação com o pão feito com FTGI sem substituição. O aumento da concentração de CFM acarretou em diminuição do volume do pão. No entanto, esse efeito não foi observado com o aumento a quantidade de TS, o qual aparentemente, não é alterado.

Em seu estudo de adição de farinha de soja, de linhaça e farelo de trigo no pão, Osuna, et al., (2014) verificaram que o pão elaborado com 5% de farinha de soja se apresentou igual ($\alpha > 0,05$) ao pão controle. As demais substituições mostraram uma queda significativa no volume específico. Os autores justificam que a adição das farinhas de soja, linhaça e farelo de trigo, na farinha de trigo, diminuiu a quantidade de glúten que causou redução no volume do pão.

Através da amostra M15S10 é possível, ainda, uma associação com as propriedades reofermentográficas, onde esta amostra não apresentou nenhuma resposta nos parâmetros de desenvolvimento da massa. Em todas as amostras, o coeficiente de retenção de gás, apresentou um comportamento semelhante ao da avaliação macroscópica. Outra observação possível é que o pão produzido a partir da formulação do ponto central (M9S6) apresentou comportamento semelhante aos pães com maior quantidade de CFM em sua formulação.

A Figura 5 mostra ainda que a formulação M3S2 se mostrou muito próxima do pão controle (FTGI) conservando semelhança no volume, coloração e formato. Na avaliação macroscópica se mostra um bom padrão de substituição.

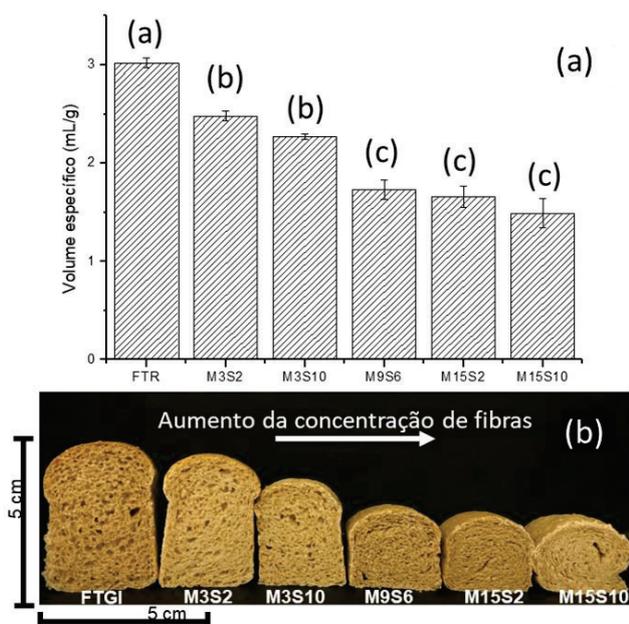
Figura 5 - Pães elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) substituída parcialmente por composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O volume específico está associado com características sensoriais do pão, sendo de extrema importância para aceitação do consumidor. O efeito da substituição de FTGI pelo CFM e TS no volume específico dos pães mostra que houve diferença significativa entre o volume específico dos pães (Figura 6a).

Figura 6 - Volume específico dos pães produzidos com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS)



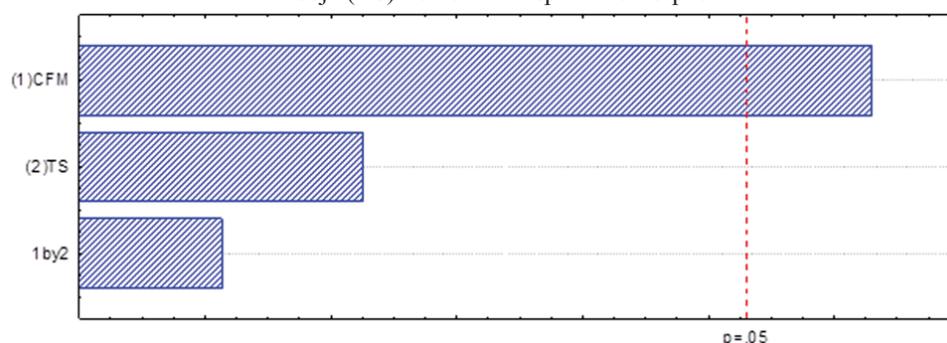
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Figura 6 (b) mostra a disposição dos pães em função da quantidade total de fibra alimentar substituída na formulação. O volume específico dos pães depende da expansão da

massa durante a fermentação, influenciada pela força do glúten (CAUVAIN; YOUNG, 2009) que, por sua vez, tem o desenvolvimento afetado pela fibra presente na formulação. Além disso, a Figura 6(a) confirma que o aumento na proporção de TS (mantendo-se a quantidade de CFM) não altera (significativamente) o volume do pão. A diferença é observada no aumento da proporção de CFM.

A Figura 7 mostra os efeitos das variáveis CFM e TS na resposta volume específico dos pães. O CFM tem um efeito negativo significativo na resposta volume específico. Onde o aumento na concentração de CFM resulta na redução do volume específico. Esse fato confirma o observado na avaliação macroscópica (Figura 5) discutido anteriormente. A Tabela 7 (Apêndice A) mostra a estimativa de efeitos dos fatores nas variáveis.

Figura 7 - Representação dos efeitos estimados das variáveis composto fibroso de mandioca (CFM) e tegumento de soja (TS) no volume específico do pão



CFM: composto fibroso de mandioca; TS: tegumento de soja

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Figura 8 mostra a análise de perfil de textura das amostras nos tempos 0, 4 e 7 dias. O envelhecimento do pão é um evento que depende de vários fatores físico-químicos que ocorrem simultaneamente, mas o principal é a retrogradação do amido. O processo de envelhecimento do pão causa endurecimento do miolo, aumento da força de compressão, amolecimento da crosta e perda do sabor (CURTI et al., 2010).

Analisando a firmeza no decorrer do tempo para cada tratamento, observa-se que a mistura M9S6 é estatisticamente igual nos tempos 0, 4 e 7. A FTGI apresentou aumento significativo no tempo 7. As misturas M3S10 e M15S10 apresentaram um aumento significativo no tempo 4 e os tratamentos M15S2 e M3S2 aumentaram significativamente durante todo o tempo de análise.

A redução na quantidade de CFM na formulação diminuiu ($p < 0,05$) a firmeza dos pães no tempo 0. A alteração na proporção de TS nos tratamentos, não acarretou em diferenças significativas para este parâmetro. Os pães com a menor adição de CFM (M3S10 e M3S2) são iguais estatisticamente ao padrão (FTGI). O tempo 4 apresentou um comportamento semelhante ao tempo 0 nos tratamentos, com exceção da mistura M3S10 que demonstra um aumento significativo para o valor de firmeza. Porém, observa-se também uma tendência a redução na firmeza com as menores quantidades de CFM. No tempo 7, as misturas FTGI, M3S2, M15S10 e M9S6 se mostram estatisticamente iguais, sendo a retrogradação um dos principais fatores para o aumento da firmeza no tempo (ALTAMIRANO-FORTOUL E ROSELL, 2011). Bressiani et al., (2017) verificou uma relação inversa entre o volume específico e a firmeza do pão. O aumento na proporção de fibras nas misturas acarreta em maior firmeza e menor volume específico (Figuras 6 e 8).

Jensen, et al., (2015), ao estudar a elaboração de pães com farinha de trigo parcialmente substituída por farinha de mandioca, observou que quanto maior a substituição, maior é a dureza dos pães, sendo esse aumento mais pronunciado na proporção 50%. O autor cita também estudo que dizem que aproximadamente 20% da farinha de trigo pode ser substituída por farinha de

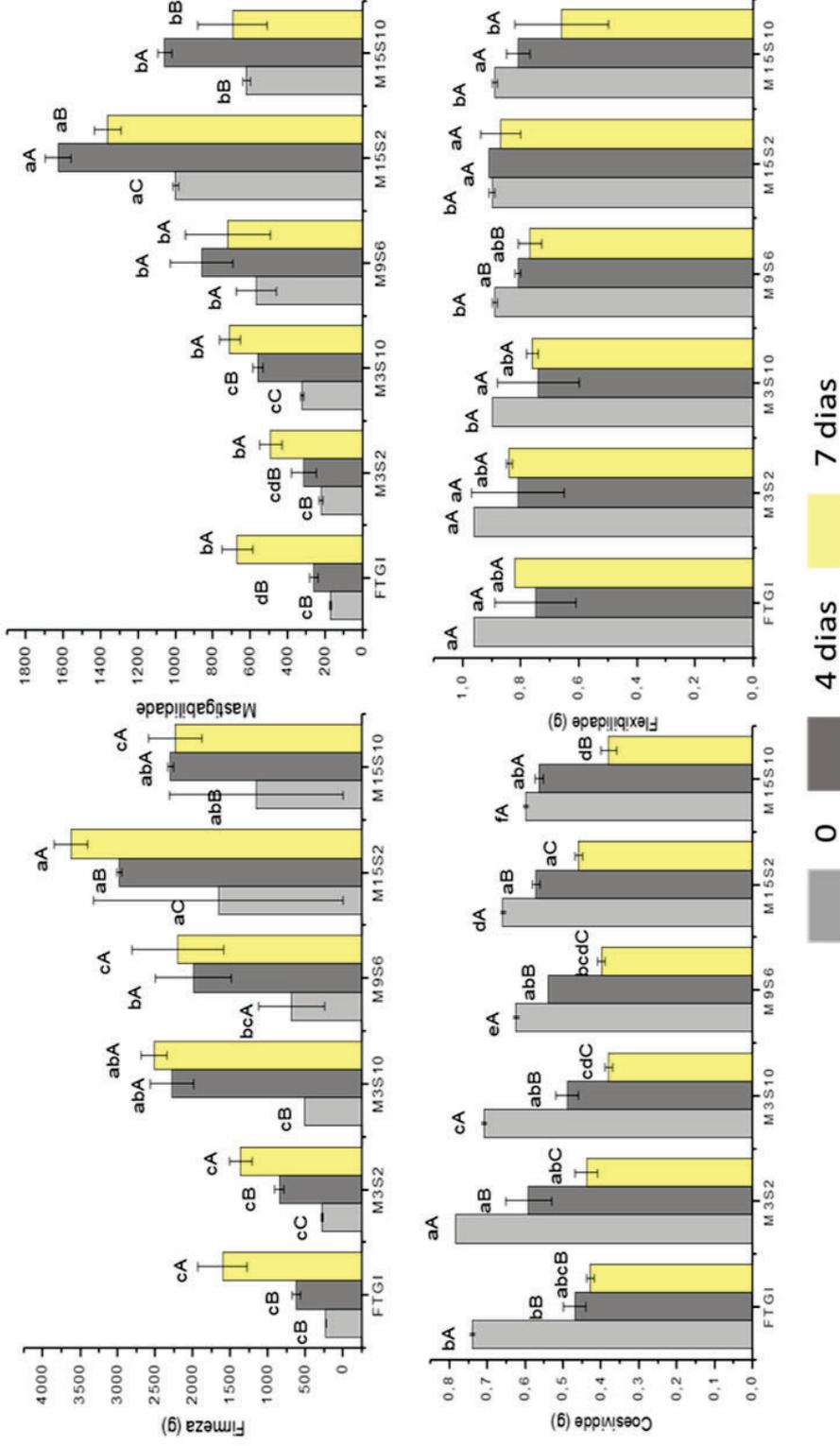
mandioca em pão sem efeitos sensoriais prejudiciais. No entanto, esses trabalhos fazem referência a substituição da farinha refinada, além da farinha de mandioca ser a única fonte alternativa na substituição.

A mastigabilidade é a energia necessária para deformar um produto sólido para deglutição. Este parâmetro está associado à firmeza e são atributos importantes pois estão diretamente ligados com a aceitabilidade do consumidor (PASRIJA et al., 2015). Na Figura 8 observa-se um comportamento de mastigabilidade semelhante ao da firmeza, sendo que esses parâmetros aumentam quando diminui a proporção de FTGI na amostra. O que indica que pães com firmeza maior necessitam de uma força maior para comprimi-lo na mastigação. O aumento destes parâmetros tem sido atribuído ao enfraquecimento do glúten que dificulta a retenção de gás, diminui o volume específico e aumenta a força necessária para desintegração do alimento (MANDALA et al., 2009; MEYER; PETERS, 2009; MORRIS; MORRIS, 2012). Na observação da mastigabilidade nos tratamentos, os dados apresentam a mesma tendência da dureza, aumento do valor no decorrer do tempo.

A coesividade mede a força das ligações internas que compõem a estrutura. É a extensão ao qual um material pode ser deformado antes da ruptura (SILVA et al., 2009) e apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nos tratamentos, diminuindo seu valor com o aumento do percentual de substituição da FTGI para o tempo 0. Nos tempos 4 e 7 não se observou a mesma relação. Na análise dos tempos para cada tratamento verificou-se a mesma relação para todos os tratamentos, a coesividade diminuiu com o tempo. A maior coesão observada para os pães com FTGI, M3S2 e M3S10 sugere que a quantidade de fibra alimentar adicionada neste estudo levou a uma matriz mais íntegra. Além disso, pode-se observar uma diminuição da coesividade com o aumento da concentração de CFM.

A flexibilidade mostrou pouca ou nenhuma influência significativa na alteração da proporção de substituição. Na verificação do comportamento da mistura no tempo para este critério, com exceção da mistura M6S2, todas apresentam comportamentos iguais estatisticamente no decorrer do tempo.

Figura 8 - Representação gráfica das diferenças estatísticas das amostras de FTGI, CFM e TS nos parâmetros firmeza, mastigabilidade, coesividade e flexibilidade



Letras distintas, minúsculas entre as amostras e maiúsculas entre os dias para cada parâmetro, são significativamente diferentes (p < 0,05).
 Fonte: elaborado pelo autor (2020)

4. CONCLUSÕES

O composto fibroso de mandioca acarreta alterações nas propriedades de mistura bem como na performance de panificação mais intensas do que o tegumento de soja. Quando a farinha de trigo de grão inteira foi substituída por 15% de CFM, independente da concentração de TS, uma maior estabilidade e tempo de desenvolvimento com redução do índice de tolerância a mistura pode ser observado. No entanto, quando observado o teste de panificação, o aumento do CFM acarretou em pães com menores volumes e, conseqüentemente, maior firmeza e mastigabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods of Analysis., 11^a ed., 2010. **AACC International**, St. Paul, MN, U.S.A.
- AHMED, L.; ALMUSALLAN, A.S.; AL-SALMAN, F.; ABDURAHMAN, M.H; AL-SALEM, E. Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat four dough. **LWT – Food Science and technology**, v. 50, p. 409-416, 2013.
- ALTAMIRANO-FORTOUL, R.; ROSELL, C. MPhysico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 631 – 636, 2011.
- BALDISSERA, A.C.; DELLA BETTA, F.; PENNA, A.L.B.; LINDNER, J.D.D. Functional foods: a new frontier for developing whey based protein beverages. **Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1497 – 1512, 2011.
- BERNAUD, F.S.R.; RODRIGUES, T.C. Dietary fiber – adequate intake and effects on metabolism health. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia.**, v. 57, p. 397-405, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Normativa n. 8, de 02 de junho de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília/DF, 3 jun. 2005.
- BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G.S.; ALMEIDA, J.L.; BERTOLIN, T.E.; GÓMEZ, M.; GUTKOSKI, L.C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size, **Journal of Cereal Science**. v.75, p. 269-277. 2017.
- CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Tecnologia da Panificação**. 2 Ed. São Paulo: Editora Manole, 2009. 418p.
- CURTI, E. **The state of water in bread: effect of processing, formulation and storage**. 130p. Tese (Doutorado em Food Science and Technology, Universita' degli studi di Parma, Italy), 2010.
- DIAS, A.; ZAVAREZE, E. R.; COLUSSI, R.; HALAL, S. L. M. E. **Ciência e Tecnologia de Panificação**. 1^a ed. Pelotas, RS: *Santa Cruz*, 2019.
- FRAKOLAKI, G.; GIANNOU, V.; TOPAKAS, E.; TZIA, C. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 50-56, 2018.
- GUL, H.; SEN, H. Effects of pomegranate seed flour on dough rheology and bread quality. **Cyta – Journal of Food**, v.15, p. 622 – 628, 2017.
- JACOBS, P.J.; BOGAERTS, S.; HEMDANE, S.; DELCOUR, J.A.; COURTIN, C.M. Impacto f wheat bran hydration properties as affected by toasting and degree of milling on optimal dough development in bread making. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 3636 – 3644, 2016.
- JENSEN, S.; SKIBSTED, L.H.; KIDMORSE, U.; THYBO, A.K. Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, p. 292 – 299, 2015.

- JUNQUEIRA, R. M.; ROCHA, F.; MOREIRA, M. A.; CASTRO, I. A. Effect of proofing time and wheat flour strength on bleaching, sensory characteristics, and volume of french breads with added soybean lipoxygenase. **Cereal Chemistry**, v. 84, p. 443–449, 2007.
- KHALIL, A.H. Quality characteristics of low-fat beef paties formulated with modified corn starch and water. **Food Chemistry**, v. 68, p. 61 – 68, 2000.
- LEONEL, M. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001, v. 4, cap. 15, p. 211 – 217.
- LIU, C. M.; LIANG, R. H.; DAI, T. T.; YE, J. P.; ZENG, Z. C.; LUO, S. J.; CHEN, J. Effect of dynamic high pressure microfluidization modified insoluble dietary fiber on gelatinization and rheology of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 55-61, 2016.
- LUTHRIA, D. L.; LU, Y.; MARIA JOHN, K. M. Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 910-925, 2015.
- MANDALA, I.; POLAKI, A.; YANNIOTIS, S. Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 137– 145, 2009.
- MARTINS, Z.E.; PINHO, O.; FERREIRA, I. Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. **Trends in Food Science & Technology**. v. 67, p. 106-128, 2017.
- MEYER, D.; PETERS, B. Enhancing the nutritional value of bread with inulin. **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 20, p. 43–47, 2009.
- MORRIS, C.; MORRIS, G.A. The effect of inulin and fructooligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. **Food Chemistry**, v. 133, p. 237–248, 2012
- ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.
- OSUNA, M.B.; JUDIS, M.A.; ROMERO, A.M.; AVALLONE, C.M.; BERTOLA, N.C. Improvement of fatty acid profile and studio of rheological and technological characteristics in breads supplemented with flaxseed, soybean and wheat bran flours. **Hindawi**, ID. 401981, 10p., 2014.
- PANGHAL, A.; JANGHU, S.; VIRKAR, K.; YOGESH, G.; KUMAR, V.; CHHIKARA, N. Potential non-dairy probiotic products. A healthy approach. **Food Bioscience**, v. 21, p. 80-89, 2018.
- PASRIJA, D.; EZHILARASI, P.N.; INDRANI, D.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. **LWT – Food Science and Technology**, v. 64, p. 289 – 196, 2015.
- PENELLA, J.M.; COLLAR, C.; HAROS, M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 715 – 721, 2008.
- PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and bread making properties of wheat dough. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 190–201, 2009.
- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.C. Starch affecting anti-staling agents and their functions in freestanding and pan-baked bread. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p.1656-1666, 2011.
- QIU, Y.; XU, Y.; ZHANG, Y.; ZHOU, H.; DENG, Y.-Q, LI, X.-F.; MIAO, M.; ZANG, Q.; ZHONG, B.; HU, Y.; ZHANG, F.-C.; WU, L.; QIN, C.-F.; ZHOU, X. Human Virus-Derived Small RNAs Can Confer Antiviral Immunity in Mammals. **Immunity**, v. 46, p. 992 – 1004, 2017.

- RAGAE, S.; ABDEL-AAL, EL-S. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.
- RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R. Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 2196-2202, 2011.
- RODRIGUEZ, I.F.; PÉREZ, M.J.; CATTANEO, F.; ZAMPINI, I.C.; CUELLO, A.S.; MERCADO, M.I.; PONESSA, G.; ISLA, M.I. Morphological, histological, chemical and functional characterization of *Prosopis alba* flours of different particle sizes. **Food Chemistry**, v. 271, p. 583 – 591, 2019.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. Mixing properties of fiber-enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. **European Food Research and Technology**, v. 223, p. 333-340, 2005.
- ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BARBER, C.B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 75 – 81, 2001.
- SANDHU, K.S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1499 – 1507, 2007.
- SANTOS, C.M.; ROCHA, D.A.; MADEIRA, R.A.V.; QUEIROZ, E.R.; MENDONÇA, M.M.; PEREIRA, J.; e ABREU, C.M.P. Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- SILVA, L. H.; MENACHO, L. M. P.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S.; STEEL, C. J. Desenvolvimento de pão de fôrma com a adição de farinha de “okara”. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 315-322, 2009.
- SINGH, S.; SINGH, N.; MACRITCHIE, F. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. **Food Hydrocolloid**, v. 25, p. 19–24, 2011.
- SROAN, B. S. e MACRITCHIE, F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking II. The secondary liquid lamellae. **Journal of Cereal Science**, v. 49(1), p. 41-46, 2009.
- TEBBEN, L.; SHEN, Y E LI, Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 10-24, 2018.
- VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.
- VIEIRA, J.C.; MONTENEGRO, F. M. M.; LOPES, A.S.; PENA, R. S. Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim Ceppa**, v. 28, p. 37 – 48, 2010.
- WANG, P.; CHEN, H.; MOHANAD, B.; XU, L.; NING, Y.; XU, J.; WU, F.; YANG, N.; JIN, Z.; XU, X. Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins: Studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 187-194, 2014.
- WEI, M.; BRANDHORST, S.; SHELEHCHI, M.; MIRZAEI, H.; CHENG, C.W.; BUDNIAK, J.; GROSHEN, S.; GUEN, E.; BIASE, S.D.; COHEN, P.; MORGAN, T.E.; DORFF, T.; HONG, K.; MICHALSEN, A.; LAVIANO, A.; LONGO, V. Fasting-mimicking diet and markers/risk factors for aging, diabetes, cancer and cardiovascular disease. **Science Translational Medicine**, v. 9, p. 377, 2017.
- YANG, J.; XIAO, A.; WANG, C. Novel development and characterisation of dietary fibre from yellow soybean hulls. **Food Chemistry**, v. 161, p. 367-375, 2014.
- YU, S.; MA, Y.; MENAGER, L.; SUN, D. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 626 – 637, 2012.

APÊNDICE A

Tabela 7 – Estimativa dos efeitos das variáveis CFM e TS nas variáveis respostas

Análise		Média	CFM	TS	1 by 2	
Propriedades de mistura	Estabilidade (min)	Efeito	15,66	17,47	0,62	2,82
		p	0,012	0,056	0,898	0,581
	ITM	Efeito	27,70	-9,87	-10,87	-7,12
		p	0,111	0,019	0,016	0,037
	TD (min)	Efeito	12,48	4,32	6,37	3,97
		p	0,004	0,184	0,098	0,207
	AA (%)	Efeito	79,84	5,10	5,45	0,40
		p	0,000	0,135	0,121	0,866
Propriedades de pasta	Pico de Viscosidade (RVU)	Efeito	170,30	-76,27	-48,48	9,56
		p	0,000	0,014	0,035	0,413
	Quebra de Viscosidade (RVU)	Efeito	64,51	-30,44	-4,85	2,68
		p	0,000	0,022	0,409	0,624
	Viscosidade Final (RVU)	Efeito	200,07	-78,24	-63,87	8,83
		p	0,000	0,005	0,007	0,263
	Retrogradação (RVU)	Efeito	94,27	-32,40	-20,23	1,98
		p	0,000	0,003	0,007	0,389
Temperatura de Pasta (°C)	Efeito	83,75	-0,86	-4,63	-2,48	
	p	0,000	,0741	0,179	0,389	
Análise de perfil de textura dos géis	Firmeza	Efeito	269,91	-103,72	-28,77	57,61
		p	0,003	0,119	0,541	0,281
	Elasticidade	Efeito	0,950	0,005	0,035	-0,015
		p	0,000	0,591	0,047	0,198
	Coesividade	Efeito	0,550	-0,010	-0,010	-0,010
		p	0,000	0,591	0,591	0,591
Gomosidade	Efeito	143,40	-44,14	-33,67	44,99	
	p	0,007	0,275	0,374	0,268	
Volume específico (ml/g)	Efeito	1,915	-0,800	-0,190	0,020	
	p	0,001	0,033	0,335	0,906	

Fonte: elaborada pelo autor (2020)