



Efeito da Substituição Parcial de Farinha de Trigo por Farinha de Trigo Espelta na Reologia da Massa e Qualidade Tecnológica do Pão

Lidiane Luiz de Fátima Moura

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar no âmbito da dupla diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ

Orientado por

Dr^a. Ursula Gonzales Barron

Dr. Vasco Cadavez

Dr. Gaspar Dias Monteiro Ramos

Bragança

2020

Dedico este trabalho a minha família e amigos. Em principal a minha mãe, irmã e Kaio que foram meus grandes apoiadores incondicionais, mesmo durante os momentos mais difíceis. Dedico também a minha vó Angelina e meu pai Luiz cuja presença foi essencial na minha vida. Enfim, multíssimo obrigado a todos do fundo do meu coração!



AGRADECIMENTOS

Gratidão a todos os membros da minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis, em especial a minha mãe Lourdes, irmã Lívía, primo Kaio, cunhado Jonatan, sobrinha Lavínia e as tias Nadir, Celina e Marina que foram meus apoiadores fundamentais.

Agradeço incondicionalmente aos meus orientadores Dr^a. Ursula Gonzales Barron e Dr. Vasco Cadavez por aceitarem a tarefa de me ajudar a conduzir este trabalho de pesquisa. Gostaria de agradecer toda ajuda, a enorme disponibilidade, a valiosa supervisão e a confiança depositada durante toda a condução do trabalho.

Sou grata a todos os meus amigos, em especial a Leidiane, Karine, Iasmin, Ellen, Sandrinha, Jonatas e Lais, que estiveram sempre comigo nas horas difíceis, nas incontáveis trocas de ideias e nas várias noites de sono perdidas estudando.

Quero agradecer ao corpo docente do curso de Engenharia de Alimentos do CEFET-RJ unidade Valença que sempre fizeram o possível e o impossível para garantir o melhor aprendizado tanto para mim quanto para meus colegas, em especial ao professor Dr. Gaspar Dias Monteiro Ramos que aceitou continuar-me acompanhando como meu orientador no mestrado e que se mostrou sempre disponível a me ajudar no que fosse necessário. Gostaria de agradecer também as professoras Dr^a. Alba Regina Pereira Rodrigues e Dr^a. Mabelle Biancardi Oliveira de Medeiros que no início do meu interesse pela pesquisa científica se mostraram disponíveis a me auxiliar na condução dos meus primeiros trabalhos que foram muito importantes, pois serviram de aprendizado para que atualmente eu pudesse desenvolver essa dissertação de mestrado.

Gostaria de agradecer ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB, Portugal) e ao CEFET-RJ Campus Valença (Brasil) pela parceria que estabeleceu o programa de Dupla-Diplomação entre as duas instituições. Esse programa me possibilitou um grande aprendizado de vida e científico.

Por último gostaria de agradecer ao Centro de Investigação de Montanha (CIMO) por fornecer o laboratório e os equipamentos necessários para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

O trigo espelta, chamado trigo ancestral, possui um perfil nutricional interessante devido ao alto teor de proteínas, aminoácidos essenciais e vitaminas. A composição nutricional desse grão tem sido associada a efeitos benéficos à saúde, e, com isso, estudos têm sido voltados à utilização da farinha de trigo espelta em diversos produtos de panificação. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito da substituição parcial de farinha de trigo por farinha de trigo espelta na qualidade tecnológica do pão e na sua vida de prateleira, bem como a possível utilização de melhoradores para aprimorar a sua qualidade final. Estes objetivos foram atingidos por meio de três experiências que visaram: (i) entender os efeitos da substituição parcial por farinha espelta (0, 5, 10, 15%), do tipo de farinha de trigo (T65, T55 e T150) e do nível de adição de água (55,0, 57,5, 60,0 e 62,5%) na reologia da massa; (ii) avaliar a qualidade tecnológica do pão composto (0, 10, 20, 30, 100%) e a sua deterioração durante o tempo de prateleira; e (iii) otimizar uma formulação fortificada com glúten (9%) e ácido ascórbico (0,50%) mediante o uso de dois melhoradores, fosfolipase (0,10, 0,30 e 0,50%) e glicose oxidase (0,02, 0,06 e 0,10%), com a finalidade de aperfeiçoar as características tecnológicas dos pães de farinha espelta.

A massa foi caracterizada quanto as propriedades reológicas de adesividade com a célula SMS/Chen-Hoseney, e extensibilidade com o acessório Kieffer; a qualidade tecnológica do pão foi avaliada por volume específico, atividade de água, perdas por cocção, análise do perfil de textura e análise de imagem da distribuição alveolar do miolo; e os indicadores de deterioração do pão foram avaliados mediante atividade da água, dureza, coesividade e resiliência do miolo ao longo de 5 dias de armazenamento. Toda a análise estatística foi realizada no programa estatístico R, e consistiu no ajuste de análises de variância para testar efeitos principais e interações, seguido de provas de comparação de médias Tukey ($\alpha=0,05$).

Neste trabalho, verificou-se que os níveis de adição de água, nível de farinha de espelta e tipo de farinha de trigo causaram mudanças significativas ($p<0,05$) nas propriedades reológicas das 48 formulações de massas. Observou-se que os níveis de 5% e 10% de farinha de espelta em farinha de trigo T55 não apresentaram diferenças significativas nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade; em contra partida, para as farinhas T65 e T150, ocorreu uma redução

significativa da resistência à extensão ($p < 0,05$). Mais ainda, as formulações com substituições parciais realizadas na farinha T55 apresentaram-se mais extensíveis. Por estas razões, a farinha de trigo T55 foi a escolhida para a elaboração de pães compostos.

Os maiores níveis de substituição de farinha T55 por farinha de espelta causaram uma diminuição ($p < 0,05$) no volume e um aumento ($p < 0,05$) da dureza dos pães; contudo, entre os níveis de 20% e 30%, o miolo dos pães compostos não apresentou diferenças ($p > 0,05$) nos atributos de resiliência, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. Todavia, o mais alto nível de substituição por farinha de espelta (30%) produziu um miolo mais apelativo, de maior uniformidade alveolar ($p < 0,05$) e menor tamanho de alvéolo ($p < 0,05$). Durante o tempo de prateleira, observou-se que todos os níveis de substituição diferiram da amostra controle ($p < 0,05$). A dureza aumentou progressivamente em cada um dos tratamentos com os dias de armazenamento ($p < 0,01$); entretanto, os pães de 20% e 30% de farinha espelta não apresentaram diferenças mínimas significativas ($p < 0,05$) entre eles. O fato das amostras com 20% e 30% não diferirem estatisticamente para a maioria dos parâmetros, permitiu a escolha da mistura de 70% de farinha de trigo T55 e 30% de farinha de espelta para dar continuidade ao experimento.

As enzimas glicose oxidase e fosfolipase alteraram a reologia da massa: verificou-se que as doses de 0,02% a 0,06% para glicose oxidase e 0,30% e 0,50% para a fosfolipase aumentaram ($p < 0,05$) a extensibilidade das massas substituídas. O volume dos pães decaiu ($p < 0,05$) com o aumento da dose de glicose oxidase, enquanto maiores doses de fosfolipase causaram um aumento ($p < 0,05$) deste importante atributo de qualidade. As doses de 0,02% de glicose oxidase e 0,50% de fosfolipase produziram as maiores médias ($p < 0,05$) de volume específico dentre todas as concentrações testadas. Para as propriedades texturiais, todos os tratamentos testados causaram melhora nos parâmetros avaliados; contudo, as doses de 0,30% fosfolipase e 0,06% glicose oxidase ocasionaram um aumento ($p < 0,05$) da dureza e mastigabilidade. Com doses de 0,02% glicose oxidase e 0,50% fosfolipase obtiveram-se as melhores médias para os parâmetros avaliados e, por esta razão, consideram-se como as concentrações ótimas para melhorar a qualidade das propriedades tecnológicas dos pães substituídos com 30% de farinha de espelta.

Palavras-chave: Espelta, panificação, massas, análise de perfil de textura, melhoradores

ABSTRACT

Spelt wheat, also known as ancestral wheat, has an interesting nutritional profile due to its high content of proteins, essential amino acids and vitamins. The nutritional composition of this grain has been associated with beneficial health effects; and hence, studies have been focused on the use of spelt wheat flour in various bakery products. Thus, the general objective of this work was to evaluate the effect of the partial replacement of wheat flour with spelt wheat flour on the technological quality of bread and on its shelf life, as well as the possible use of enzymatic improvers to enhance its final quality. These objectives were achieved through three experiments aimed at: (i) understanding the effects of partial replacement with spelt flour (0, 5, 10, 15%), type of wheat flour (T65, T55 and T150) and level of water addition (55.0, 57.5, 60.0 and 62.5%) on the rheology of the composite dough; (ii) evaluating the technological quality of composite bread (0, 10, 20, 30, 100%), and its deterioration during shelf life; and (iii) optimising a formulation fortified with gluten (9%) and ascorbic acid (0.50%) using two enzymatic enhancers, phospholipase (0.10, 0.30 and 0.50%) and glucose oxidase (0.02, 0.06 and 0.10%), in order to improve the technological characteristics of spelt flour breads.

The dough was characterised in terms of the rheological properties of stickiness using the SMS/Chen-Hoseney cell, and extensibility using the Kieffer accessory; the technological quality of the bread was evaluated by volume, water activity, cooking loss, texture profile analysis, and bread crumb grain image analysis; and the indicators of bread deterioration through crumb water activity, hardness, cohesiveness and resilience over 5 days of storage. All statistical analyses were performed in the free programme R, and consisted of adjusting analysis of variance to test main effects and interactions, followed by Tukey's comparison of means ($\alpha = 0.05$).

In the first experiment, it was found that the levels of water addition, spelt flour level and wheat flour type caused significant changes ($p < 0.05$) in the rheological properties of the 48 dough formulations. Formulations with partial substitutions made in wheat flour T55 were overall more resistant and extensible. The substitution levels of 5% and 10% of T55 with spelt flour did not present a significant reduction in the properties of resistance to extension and

extensibility; by contrast for the base flours T65 and T150 there was a significant reduction in the resistance to extension ($p < 0.05$). For this reason, wheat flour T55 was chosen for the preparation of the composite breads.

The higher levels of substitution of T55 wheat flour with spelt flour caused a decrease ($p < 0.05$) in specific volume and an increase ($p < 0.05$) in bread crumb hardness; however, between the levels of 20% and 30%, the bread crumbs showed no differences ($p > 0.05$) in the attributes of resilience, elasticity, cohesiveness and chewiness. However, the highest level of substitution by spelt flour (30%) produced crumbs of greater alveolar uniformity ($p < 0.05$) and smaller alveolar size ($p < 0.05$). During shelf life, it was observed that all levels of substitution differed statistically from the control sample. Crumb hardness increased progressively in each treatment with days of storage ($p < 0.01$); however, there were no minimum significant differences ($p < 0.05$) between the 20% and 30% substitution levels. The fact that the samples with 20% and 30% did not differ statistically for most of the quality parameters, allowed the choice of a mixture of 70% wheat flour T55 and 30% spelt flour to carry on with this experiment.

The enzymes glucose oxidase and phospholipase modified dough rheology: it was found that doses between 0.02% to 0.06% glucose oxidase and doses between 0.30% to 0.50% phospholipase increase ($p < 0.05$) the extensibility of the composite doughs. The specific volume of the bread loaves declined ($p < 0.05$) with higher doses of glucose oxidase, while the higher doses of phospholipase caused an increase ($p < 0.05$) in loaf volume. The concentrations of 0.02% glucose oxidase and 0.50% phospholipase rendered the highest means ($p < 0.05$) of specific volume among all tested concentrations. For textural properties, all treatments caused an improvement in the parameters evaluated; however, the concentrations of 0.30% phospholipase and 0.06% glucose oxidase caused a significant increase ($p < 0.05$) in hardness and chewiness. Using doses of 0.02% glucose oxidase and 0.50% phospholipase, the best values were obtained for most of the quality parameters and, for this reason, this is the most suitable enzymatic improvers combination to enhance the technological quality properties of breads replaced with 30% of spelt flour.

Keywords: Spelt, alternative flour, breadmaking, dough, texture profile analysis, improvers, composite flour breads

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Pão.....	19
2.2 Ingredientes	20
2.2.1 Trigo.....	20
2.2.2 Trigo Espelta.....	26
2.2.3 Água	29
2.2.4 Fermento Biológico.....	30
2.2.5 Sal	31
2.2.6 Melhoradores	31
2.3 Análises Reológicas.....	35
2.3.1 Alveografia	37
2.3.2 Extensógrafo Brabender	37
2.3.3 Kieffer	37
2.3.4 Farinografia.....	39
2.3.5 Análise do perfil de textura (TPA).....	39
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Matérias-Primas	43
3.2 Primeira Fase: Estudo da reologia da massa de pão com substituição parcial da farinha de trigo de três diferentes tipos (T65, T55 e T150) por farinha de trigo espelta	43
3.2.1 Adesividade da Massa	46
3.2.2 Extensibilidade da massa e do glúten com o acessório Kieffer	46
3.3 Segunda Fase: Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de trigo espelta na qualidade tecnológica do pão e seu tempo de vida	47
3.3.1 Elaboração dos pães	47
3.3.2 Análise dos Pães	48
3.4 Terceira Fase: Efeito dos melhoradores na qualidade tecnológica do pão de trigo T55 substituído com 30% de farinha de trigo espelta.....	52
3.4.1 Padronização do teor de gluten da mistura de farinhas a 9,0%.....	52
3.4.2 Definição de tratamentos com melhoradores.....	55
3.4.3 Análise dos Pães	55
3.5 Análise Estatística	56
3.5.1 Primeira Fase: Estudo da reologia da massa de pão com substituição parcial da farinha de trigo de três diferentes tipos por farinha de trigo espelta	56
3.5.2 Segunda Fase: Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de trigo espelta na qualidade tecnológica do pão e seu tempo de vida	56
3.5.3 Terceira Fase: Efeito dos melhoradores na qualidade tecnológica do pão de trigo T55 substituído com 30% de farinha de trigo espelta	56

4	REOLOGIA DA MASSA DE PÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA FARINHA DE TRIGO T55/T65/T150 POR FARINHA DE TRIGO ESPELTA	57
4.1	Extensibilidade e Resistência do Glúten	57
4.2	Pegajosidade, Área de Adesão e Coesividade	59
5	EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO POR FARINHA DE TRIGO ESPELTA (0, 10, 20, 30, 100%) NOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE TECNOLÓGICA E TEMPO DE VIDA DO PÃO	66
5.1	Avaliação das propriedades físico-químicas dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta	66
5.2	Avaliação da textura de miolo dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta	70
5.3	Avaliação da estrutura alveolar do miolo dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta	73
5.4	Tempo de vida de prateleira dos pães substituídos com farinha espelta	77
6	EFEITO DOS MELHORADORES NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DO PÃO DE TRIGO SUBSTITUÍDO COM 30% FARINHA DE TRIGO ESPELTA	84
6.1	Efeito da suplementação com glúten 9% e uso de melhorador comercial nos atributos de qualidade da massa e do pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta	84
6.2	Efeito de melhoradores nos atributos de qualidade da massa e do pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta	86
6.2.1	Propriedades reológicas das massas de trigo substituídas com trigo espelta e adicionadas de melhoradores enzimáticos($p < 0,05$)	87
6.2.2	Propriedades físicoquímicas do pão de trigo substituídas com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos	88
6.2.3	Textura do miolo do pão de trigo substituído com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos	92
6.2.4	Características de estrutura alveolar do miolo do pão de trigo substituídas com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos	96
7	CONCLUSÕES	104
7.1	Discussão Geral	104
7.2	Conclusão Final	107
8	TRABALHO FUTURO	108
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama esquemático do grão de trigo, com ilustração de suas três principais partes anatômica	22
Figura 2.2. Fatores responsáveis por conferir a qualidade do glúten e propriedades reológicas da massa de trigo (Goesaert et al., 2005).....	26
Figura 2.3. Forma de atuação das enzimas β e α amilases nas moléculas de amido (Gava, 2009).....	34
Figura 2.4. Gráfico obtido por intermedio da medição da extensibilidade do glúten e da massa em texturômetro.....	38
Figura 2.5. Diagrama ilustrativo do mecanismo de dupla compressão da análise do perfil de textura (TPA).....	40
Figura 2.6. Gráfico obtido através da análise do perfil de textura de uma amostra de pão com substituição parcial de farinha de trigo espelta.	41
Figura 3.1. Fluxograma para a elaboração e análises dos pães	49
Figura 3.2. Teste de mudança de coloração da água de lavagem.	53
Figura 4.1. Efeito do nível de substituição por farinha de trigo espelta (esquerda) e do nível de adição de água (direita) na resistência à extensão (acima) e na extensibilidade (abaixo) da massa do pão. Dados para o nível de adição de água de 55.0% foram removidos.	60
Figura 4.2. Efeito do nível de substituição por farinha de trigo espelta (esquerda) e do nível de adição de água (direita) na pegajosidade (acima), na adesividade (meio) e na coesividade (abaixo) da massa do pão.	62
Figura 5.1. Corte transversal dos pães compostos por farinha de trigo e diferentes níveis de farinha de trigo espelta (0%, 10%, 20%, 30% e 100%) respectivamente.	66
Figura 5.2. Propriedades físico-químicas dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta	67
Figura 5.3. Efeito da substituição parcial de farinha de espelta nas propriedades da análise do perfil de textura (TPA).	71

Figura 5.4. Efeito da adição de farinha de espelta nos parâmetros de avaliação da estrutura alveolar do miolo dos pães: Área alveolar média (canto superior esquerdo), uniformidade alveolar (canto superior direito), circularidade alveolar média (canto inferior esquerdo) e número médio de alvéolos grandes por 16 cm ² (canto inferior direito).....	74
Figura 5.5. Estrutura alveolar de miolo de pães produzidos com substituição parcial de farinha Espelta em diferentes níveis. Figuras em escala 3,8 cm x 3,8 cm.....	76
Figura 5.6. Atividade de água (adimensional), dureza (g), coesividade (adimensional) e resiliência (adimensional) do miolo dos pães substituídos com farinha espelta (10%, 20% e 30%) e pão branco controle (0%)	78
Figura 6.1. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) na extensibilidade (mm) e resistência à extensão da massa do pão de farinha de trigo substituído com farinha espelta 30%.....	89
Figura 6.2. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) na análise do perfil de textura do miolo de pães de farinha de trigo espelta a 30%.....	95
Figura 6.3. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) nas características de estrutura alveolar do miolo dos pães de farinha de trigo espelta a 30%	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Análises reológicas empíricas e fundamentais aplicadas a alimentos	36
Tabela 3.1. Formulações das massas com substituição parcial de farinha de trigo (T65, T55 e T150) por farinha de trigo espelta e as respectivas quantidades de água adicionada	44
Tabela 3.2. Ingredientes utilizados na formulação (F) dos pães com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de trigo espelta	48
Tabela 3.3. Teores de glúten seco e umido das amostras de farinha de trigo 55 e espelta	54
Tabela 3.4. Porcentagem adicionada dos três melhoradores em cada uma das cinco formulações testadas	55
Tabela 4.1. Efeito combinado da substituição de farinha de espelta e conteúdo de água adicionada nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade da massa.....	64
Tabela 4.2. Efeito combinado da substituição de farinha de espelta e conteúdo de água adicionada nas propriedades de adesividade (g), área de adesão (g.s) e coesividade (mm) da massa	65
Tabela 5.1. Propriedades gravimétricas e atividade de água do pão com substituição de farinha de trigo espelta.	81
Tabela 5.2. Propriedades da análise do perfil de textura – dureza (g), coesividade (n.d), mastigabilidade (g), elasticidade (n.d) e resiliência (n.d) – do pão de farinha de trigo substituído com farinha de trigo espelta.	81
Tabela 5.3. Características do miolo dos pães substituídos com farinha de trigo espelta.....	82
Tabela 5.4. Médias dos mínimos quadrados para a atividade da água (a_w) e a análise de perfil de textura (Dureza (g), Coesividade (nd), Resiliência (nd) do pão de farinha de trigo substituído com trigo espelta durante o seu tempo de vida útil, junto com os resultados da atividade de água.....	83
Tabela 6.1. Efeito do melhorador comercial nas características das massas e pães de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta	85
Tabela 6.2. Médias dos mínimos quadrados para a extensibilidade e a resistência à extensão da massa de pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta com diferentes concentrações de melhoradores enzimáticos.....	88

Tabela 6.3. Atributos de qualidade do pão com substituição parcial de farinha de Espelta.	101
Tabela 6.4. Análise do perfil de textura -dureza (g), coesividade (n.d), mastigabilidade (g), elasticidade (n.d), resiliência (n.d) e adesividade (g.s) - do pão de farinha de trigo substituído com trigo espelta	102
Tabela 6.5. Características de estrutura alveolar do miolo dos pães substituídos com farinha de espelta.	103

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Definição	Unidades
ANOVA	Análise de variância	-
a_w	Atividade de água	-
E_u	Extensibilidade	mm
F	Soma das quantidades das duas farinhas	g
F_A	Farinha de trigo	-
F_E	Farinha espelta	-
G_A	Teor de glúten farinha de trigo	%
$G_{\text{adicionar}}$	Quantidade de glúten a ser adicionada	g
G_E	Teor de glúten farinha de espelta	%
G_{PA}	Quantidade padronizada de glúten	%
G_{P80}	Pureza glúten vital	%
G_T	Teor de glúten total para a mistura de farinhas	%
m	Massa de sementes deslocadas	g
PPC	Perdas por cocção	%
R_{ext}	Resistência a extensão	g
T65	Farinha de trigo tipo 65	-
T55	Farinha de trigo tipo 55	-
T150	Farinha de trigo tipo 150 (Integral)	-
TPA	Análise do Perfil de Textura	-
X_A	Índice de Absorção de água farinha de trigo	%
X_E	Índice de Absorção de água farinha de espelta	%
X_T	Índice de Absorção de água para a mistura de farinhas	%

ρ	densidade aparente das sementes de quinoa	g/cm^3
w_0	massa do pão antes da cocção	g
w_1	massa do pão 24 horas após cocção	g

Unidades

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
g	gramas (unidade de massa)
g	grama força (unidade de força), 1 grama força equivale a 0,0098 Newton (N)
g.s	grama por segundo
ml/g	milímetros por grama
mm^2	milímetros quadrados
cell/ mm^2	números de células por milímetro quadrado
%	percentagem

1 INTRODUÇÃO

Na indústria da panificação são utilizados muitos ingredientes para a produção de pão, dentre esses a farinha é um dos mais importantes. Sua relevância é tão grande que o cálculo das porcentagens dos ingredientes na formulação se baseia no peso inicial de farinha. São basicamente constituídas por proteínas, amido e outros carboidratos, cinzas, fibras, lipídeos, água e pequenas quantidades de vitaminas, minerais e enzimas (Chavan & Chavan, 2011).

Um dos fatores que regem a qualidade das farinhas é o equilíbrio entre as proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina), pois para produzir um pão de qualidade é necessário ter um equilíbrio satisfatório entre viscosidade e elasticidade/força. Quando temos uma simples alteração na elasticidade do glúten, podemos ter um pão de baixo volume para um rede pouco elástica ou um pão de grande volume para uma rede com maior elasticidade; entretanto um excesso de elasticidade pode levar a um impedimento da expansão das células gasosas e com isso acarretar em um pão de baixo volume (Barak et al., 2013).

A produção dos produtos de panificação depende de complexas interações entre as matérias primas, metodologias, formulações elaboradas e processamento dos produtos que são responsáveis por modificar as suas características e alterar a qualidade (Cauvain & Young, 2006). A produção do pão inclui uma série de etapas, nomeadamente, a mistura dos ingredientes, fermentação, divisão, fermentação e cozimento. Cada uma dessas etapas é responsável por causar mudanças nas características dos pães (Gajula, 2017).

Muitos autores têm buscado melhorar as características nutricionais dos produtos de panificação através da substituição parcial da farinha de trigo por outras farinhas reconhecidamente mais ricas nutricionalmente em comparação com a farinha desse cereal amiláceo. Entretanto a incorporação de outras farinhas causa alterações nos parâmetros de qualidade final dos pães, como exemplo, diminuição de volume, escurecimento de miolo,

alteração nas características reológicas, entre outros (Eleazu et al., 2014; Nemar et al., 2015; Pourafshar et al., 2015; Trejo-González, Loyo-González & Munguía-Mazariegos, 2014).

O trigo espelta (*Triticum aestivum L. spelta*), alimento principal das antigas civilizações, tem sido redescoberto pela agricultura biológica, por ser muito resistente a pragas e condições climáticas adversas, bem como por ter um grão de um perfil nutricional superior ao do trigo (Gomez-Becerra et al., 2010). O teor de proteína dos grãos de trigo espelta vai de 13.1 a 18.4%, e são ricos em aminoácidos essenciais como a lisina, leucina e isoleucina, o qual determina seu mais alto valor nutritivo (Biel et al., 2016). O trigo espelta também contém maior teor de gordura total, incluindo ácidos gordos insaturados como o oleico e linoleico, e maiores quantidades de ferro, potássio, magnésio e selênio em comparação ao trigo (Suchowilska et al., 2009; Biel et al., 2016). Devido a esta composição nutricional benéfica dos seus grãos, o trigo espelta exhibe propriedades promotoras da saúde, e tem sido recomendado na prevenção de doenças gastrointestinais, do sistema circulatório e do metabolismo (Biskup et al., 2017).

Dentro deste contexto, o **objetivo** deste trabalho foi avaliar o efeito da substituição parcial de farinha de trigo por farinha de trigo espelta na reologia da massa, na qualidade tecnológica do pão e na sua vida de prateleira, bem como a possível utilização de melhoradores para aprimorar a qualidade final do pão de trigo espelta. Este objetivo geral foi atingido por meio dos seguintes objetivos específicos:

- 1) Entender como a substituição com farinha de trigo espelta (0, 5, 10 e 15%), o tipo de farinha de trigo (T55, T65 e T150) e o nível de adição de água (55%, 57,5%, 60,0% e 62,5%) afetam as características reológicas das massas (i.e., adesividade e extensibilidade) elaboradas para panificação;
- 2) Avaliar o efeito da substituição com farinha de trigo espelta (0, 10, 20, 30, 100%) na qualidade tecnológica do pão (i.e., propriedades gravimétricas, físico-químicas, perfil de textura do miolo e análise de imagem alveolar das fatias de pão), com a finalidade de produzir um pão substituído parcialmente com farinha de trigo espelta que retenha e/ou melhore as características do pão elaborado apenas com farinha de trigo;

3) Avaliar o efeito da substituição parcial com farinha de trigo espelta (0, 10, 20, 30%) no tempo de vida do pão por meio da análise da evolução de três indicadores de perda de qualidade – atividade de água, dureza do miolo e resiliência do miolo.

4) Otimizar uma formulação fortificada com glúten que inclua melhoradores tais como ácido ascórbico, fosfolipases e glucose oxidase com a finalidade de aperfeiçoar as características tecnológicas finais dos pães substituídos parcialmente com farinha de trigo espelta a 30%.

O trabalho de investigação foi assim organizado em três fases, cuja metodologia se apresenta de maneira conjunta no Capítulo 3. A primeira fase da investigação visou atingir o Objetivo 1 acima referido, e os resultados são apresentados no Capítulo 4. A segunda fase foi focada nos Objetivos 2 e 3, e os resultados apresentam-se no Capítulo 5. Finalmente, numa terceira fase, desenvolveram-se experimentos para alcançar o Objetivo 4, cujos resultados são apresentados no Capítulo 6. O Capítulo 7 desta dissertação apresenta as conclusões gerais obtidas por meio dos resultados encontrados nos Capítulos 4, 5 e 6. A continuação, no Capítulo 2, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica que serve de marco teórico ao trabalho de investigação realizado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pão

A produção de pão é um dos processos tecnológicos mais antigos conhecidos no mundo. Alguns registros mencionam que civilizações na Grécia, Egito, Babilônia e Roma já tinham o pão incorporado na dieta em períodos antes de Cristo. Nos dias atuais o pão continua sendo um dos alimentos mais consumido do mundo (Chavan & Chavan, 2011; Teixeira et al., 2020).

A legislação europeia entende por pão “o produto obtido da amassadura, fermentação e cozedura, em condições adequadas, das farinhas de trigo, centeio, triticale ou milho, estremes ou em mistura, de acordo com os tipos legalmente estabelecidos, água potável e fermento ou levedura sendo ainda possível a utilização de sal, e de outros ingredientes, incluindo aditivos, bem como auxiliares tecnológicos, nomeadamente enzimas, nas condições legalmente fixadas”. (Portaria n.º 52/2015).

Os quatro ingredientes básicos principais para a fabricação de pão são: a farinha de trigo, a água, a levedura e o sal. Cada um desses ingredientes anteriormente mencionados possui papel fundamental no processo, entretanto temos outros ingredientes não essenciais que podem ser utilizados no processo, por exemplo, gorduras, açúcares, produtos lácteos, enzima e melhoradores (Avramenko et al., 2018).

No processo de panificação, as etapas de mistura dos ingredientes e amassadura são de grande importância, pois essas etapas são responsáveis por fornecer massas homogêneas com estruturas de glúten bem desenvolvidas (Cauvain & Young, 2007). Existem inúmeros processos para realizar essas duas etapas, mas em geral são utilizados os métodos direto, esponja e massa e CBP (Chorleywood bread process) (Mondal & Datta, 2008). As últimas etapas de cocção e o resfriamento são as responsáveis por converter uma massa fermentada em um produto estável para o consumo (Cauvain & Young, 2007).

2.2 Ingredientes

2.2.1 Trigo

O Trigo está presente na nossa alimentação desde o início da civilização, onde inicialmente era triturado com auxílio de pedaços de rochas e misturado a outros alimentos de interesse para posteriormente ser consumido pela população (Silva, 2018). A palavra “trigo” tem sua origem no Latim, sendo uma derivação da palavra *triticum*, que possui sentido de quebrado, triturado, fazendo alusão à atividade responsável por separar o grão de trigo da camada de revestimento (Scheuer et al., 2011).

A difusão da utilização do trigo parte de 12000 anos atrás quando o ser humano, principal responsável por influenciar a evolução do cereal, realizou a sua domesticação (Kiszonas & Morris, 2018). O cultivo de trigo é amplamente difundido no mundo inteiro, uma vez que a planta é bastante resistente podendo crescer sobre uma vasta gama de condições ambientais e solos (Hoseney, 1994).

Segundo Shewry (2018), os países de clima temperado possuem a maior parte da produção do trigo. O consumo desse cereal também tem aumentado em outros países com condições climáticas menos favoráveis para o seu cultivo, e durante o período de 2010 a 2014 a produção mundial de trigo alcançou o valor de 690 milhões de toneladas.

Os dados da produção de trigo no mundo atingiram patamares bem altos devido à necessidade de utilização em larga escala como matéria-prima principal na indústria alimentícia, sendo utilizado no processamento de diversos produtos, por exemplo, pães, massas, biscoitos e bolos (Clément et al., 2018; Kiszonas & Morris, 2018; Scheuer et al., 2011)

Para a grande parte da população, o trigo é considerado um vilão na alimentação, pois está associado principalmente como fonte de caloria, devido a sua presença em diversos alimentos ricos em carboidratos. Mas esse cereal também contribui na alimentação humana fornecendo aminoácidos essenciais, minerais, vitaminas, compostos fitoquímicos benéficos e fibras (Shewry, 2018).

O trigo é classificado como pertencente da família *Poacea*, subfamília *Pooideae* e ao gênero *Triticum*, sendo este último classificado em diferentes espécies de acordo com o número de cromossomos, pois o trigo pode ser diplóide, tetraplóide e hexaplóide.

Existe portanto: *Triticum monococcum* com 14 cromossomos, *Triticum durum* com 28 cromossomos e *Triticum aestivum*, também chamado de trigo comum, com 42 cromossomos (Gwirtz et al., 2006; Scheuer et al., 2011; Silva, 2017).

De acordo com Atwell & Finnie (2016), o grão de trigo possui uma estrutura bastante complexa devido ao seu elevado número de componentes individuais, entretanto com relação ao processamento para produção de farinha, essa divisão é simplificada restando apenas uma classificação básica em três regiões anatômicas gerais, que são: farelo, gérmen e endosperma.

As camadas protetoras externas do núcleo recebem o nome de farelo, esse constituinte representa cerca de 14% do peso total do grão, além disso, é rico em componentes como fibras e minerais. O gérmen representa uma pequena fração do grão referente a apenas 3% do peso total, sendo essa fração responsável por conter a maior parte dos lipídeos e dos nutrientes essenciais; além disto, é responsável por conter a parte embrionária do grão de trigo (Atwell & Finnie, 2016).

Devido a suas características, a última porção do grão de trigo denominada endosperma, que corresponde a 83% da sua composição, é a fração de maior interesse para indústria de farinha. Basicamente, composto por amido e proteína, sua função é fornecer energia e proteína para a planta de trigo em desenvolvimento, isto é, sua maior atribuição é ser rico em amido e possuir um elevado teor de proteína (gluten) (Atwell & Finnie, 2016).

Segundo Haddad et al. (2001), o endosperma é uma matriz proteica onde se localizam grande número de grânulos de amido. Esse polissacarídeo é sintetizado pelos vegetais para ser uma fonte de energia de reserva, por este motivo esse componente encontra-se presente em níveis bem elevados nas plantas (Onyango, 2016). Podemos então dizer convenientemente que o endosperma é a principal fração do grão responsável por constituir a farinha de trigo (Hoseney, 1994).

Por último temos uma camada altamente especializada, localizada na fronteira entre o endosperma e o farelo. Essa camada é denominada de aleurona, possui grande importância devido a sua atividade biológica. Alguns fatores contribuem para a camada de aleurona fornecer efeitos variados na qualidade, nutrição e funcionalidade das farinhas, por exemplo, a sua composição, atividade e até sua localização. Nos processos de moagem, essa camada é removida, constituindo assim parte importante do farelo após o processo de moagem (Atwell & Finnie, 2016).

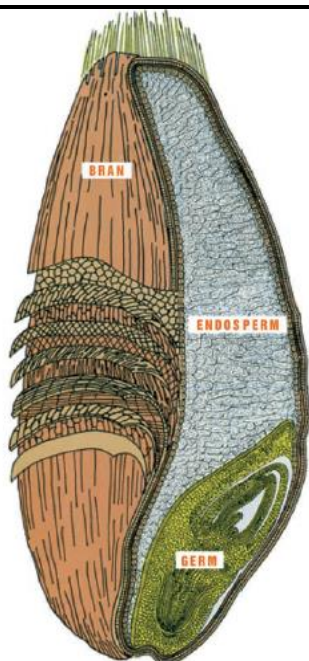


Figura 2.1. Diagrama esquemático do grão de trigo, com ilustração de suas três principais partes anatômica (Atwell & Finnie, 2016).

De acordo à Portaria nº 254/2003, a farinha é o produto obtido do processo de moagem de grãos de um ou mais cereais, maduros, sãos, não geminados e isentos de impurezas, bem como sua mistura. A portaria estabelece as características analíticas que devem ser obedecidas para utilização das farinhas na indústria de panificação, bolachas e biscoitos. A classificação do tipo de farinha depende desses padrões previamente estabelecidos, que são umidade (% máxima), acidez (g/100 g máximo), cinzas totais (% limite), cinzas insolúveis (% máxima) e glúten seco (% mínima).

Segundo Cauvain & Young (2006), as farinhas de trigos são divididas em duas classes principais, que são as brancas e as integrais. Basicamente, o que diferencia esses dois tipos de farinhas são as metodologias de moagem aplicadas ao cereal, uma vez que para as farinhas integrais tem-se o esmagamento do grão inteiro no processo, enquanto para a farinha branca apenas ocorre o esmagamento do endosperma do grão (Cauvain & Young, 2006; Popper et al., 2006).

A composição das farinhas de trigo é formada basicamente por amido, que é o principal ingrediente na sua constituição, além disso, apresenta outros elementos como as proteínas que são necessárias na formação do glúten, os polissacarídeos não amiláceos, e os lipídeos que possuem importância no processamento da matéria-prima e controle de qualidade das farinhas de trigo (Goesaert et al., 2005).

Da mesma maneira que outros processos alimentares muito antigos, as origens do processo de moagem do grão de trigo estão perdidas na história da humanidade (Atwell & Finnie, 2016). Para obtenção da farinha é necessário que ocorra o processo de moagem. Esse procedimento consiste em moer o trigo para que possamos separar os seus constituintes (Azudin, 2006). A técnica fundamenta-se na redução dos grãos íntegros de trigo em partículas menores. Atualmente, o processo envolve a segregação das principais partes anatômicas do grão de trigo, que são ilustradas na Figura 2.1. A próxima etapa, baseia-se na redução das partículas do endosperma até a granulometria desejada para a farinha de trigo (Atwell & Finnie, 2016).

Como mencionado anteriormente, o processo de moagem é baseado na redução do tamanho das partículas do grão de trigo, mas o processo moderno na sua integridade envolve mais etapas do que apenas o processo de redução de tamanho efetivamente. De maneira geral, envolve três operações: limpeza, condicionamento e a moagem propriamente dita (Atwell & Finnie, 2016). De acordo com Dal-Pastro et al. (2016), um sistema de moagem simplificado é dividido geralmente em três etapas básicas que são: quebra, peneiramento e redução.

Existem duas formas de realizar o processo de moagem, a primeira é através de um moinho de pedra, onde o grão passa por dois pares de pedras durante o processo; E o segundo consiste em uma série de etapas de moagem e peneiramento, no processo popularmente conhecido como moinho de rolos. Nesse segundo método ocorre à otimização da separação entre endosperma e o farelo trigo, no caso em que se deseje produzir a farinha T150, o farelo é recombinado posteriormente com o endosperma para formação do produto (Cauvain & Young, 2006).

Segundo Belitz et al. (2009), a classificação das farinhas destinadas a panificação na Europa é feita com base no seu conteúdo de cinzas. A análise da qualidade é realizada através do processo incineração de uma amostra de farinha à temperatura de 550°C. Os componentes minerais em sua grande maioria são encontrados no farelo, então um maior teor de cinzas indica uma farinha menos pura. Basicamente, as farinhas são classificadas em quatro tipos que são: T45, T55, T65 e T150 (Ribeiro, 2009).

A farinha de trigo de trigo possui uma grande vantagem em comparação com as demais farinhas quando o assunto é produção de pães, pois a sua composição de proteínas, tem por característica formar uma rede capaz de reter os gases que serão formados na etapa de fermentação (Atwell & Finnie, 2016).

Diversos trabalhos têm tentado substituir totalmente e/ou parcialmente a farinha de trigo por farinhas de variedades de trigo, farelo de trigo e até mesmo por farinhas provenientes de outros cereais. Esses trabalhos têm por objetivo tentar melhorar as características nutricionais desses pães através dessas substituições (Bibiana et al., 2014; Sanful & Darko, 2010; Suchowilska et al., 2019).

Para Hemdane et al. (2016), a incorporação de farelo de trigo em produtos de panificação gerou desafios tecnológicos, pois algumas características de qualidade foram alteradas, por exemplo, volume específico, estrutura alveolar do miolo e alterações sensoriais. Segundo Gadallah et al., (2017), que optou por realizar uma substituição em diferentes níveis experimentais (5%, 10%, 15% e 20%) da farinha de trigo por farinha de sorgo e grão de bico, os resultados de extensibilidade e resistência a extensão foram melhorados para o níveis de substituição de 15% de substituição em comparação ao tratamento controle.

De acordo com Mohammed et al. (2012), a incorporação de farinha de grão de bico à farinha de trigo causou mudanças nas características reológicas, uma vez que, ocorreu um decréscimo da resistência e extensibilidade das massas produzidas. O aumento do nível de substituição teve relação direta com o maior escurecimento do miolo e crosta dos pães, diminuição do volume específico e alterações de textura dos pães. Da mesma forma, para Gomes et al. (2016), a substituição parcial de farinha de trigo por farinha de banana verde gerou um decréscimo do volume específico, um miolo de coloração mais escura e um aumento da atividade de água dos pães.

2.2.1.1 Proteínas (Glúten)

As proteínas responsáveis pelas propriedades únicas do grão de trigo, e que se localizam essencialmente no endosperma, possuem características estruturais e funcionais que permitem uma vasta gama de aplicações em produtos alimentícios (Lagrain et al., 2010). As proteínas do trigo compõem entre 10 a 18% do material seco total. Sua classificação baseia-se através de extração e classificação em vários solventes pela metodologia tradicional de Osborne. Com base na metodologia de classificação das proteínas essas são divididas em quatro grupos, que são: albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas (Belderok et al., 2000). Partindo desta classificação, podemos ainda dividir as proteínas em dois grupos distintos: proteínas não formadoras e formadoras de glúten (Belderok et al., 2000; Goesart et al., 2005).

Dentre essas quatro proteínas mencionadas anteriormente, as gliadinas e gluteninas são as principais, pois além de representar cerca de 75% a 85% do conteúdo total de proteínas, são as responsáveis por constituir o grupo de proteínas formadoras da rede de glúten (Belderok et al., 2000; Goesaert et al., 2005).

A formação do glúten ocorre quando temos a adição de certa porcentagem de água a farinha de trigo que será posteriormente submetida a um esforço mecânico. Nesse processo ocorre à hidratação das gliadinas e gluteninas, responsáveis pela formação do glúten, que geram um complexo proteico através de ligações de Van der Waals, ligações de hidrogênio e ligações de dissulfeto. A qualidade e a quantidade do glúten são os fatores determinantes para a qualidade final de um produto em panificação (Belderok et al., 2000).

Segundo Cauvain & Young (2008), a qualidade dos produtos da indústria de panificação depende muito da habilidade especial das proteínas (gliadina e glutenina) e amidos que estão presentes na farinha de trigo. A sua estrutura e composição serão responsáveis por dar início ao processo de formação da rede proteica que retém os gases produzidos durante a etapa de fermentação.

As proteínas (gliadina e glutenina) possuem um papel específico dentro da massa viscoelástica formada da farinha de trigo. Os polímeros de glutenina devido ao seu grande tamanho formam uma rede capaz de fornecer força, ou seja, resistência à deformação. Em contrapartida, as gliadinas monoméricas são responsáveis por atuar como plastificantes, dessa forma fornecem a massa plasticidade e viscosidade (Goesaert et al., 2005). Portanto podemos dizer que a gliadina é responsável pela viscosidade da massa e é uma proteína pouco elástica, por sua vez, as gluteninas são elásticas e não viscosas (Damodaran, 2007) (Figura 2.2).

As propriedades reológicas de massas compostas por trigo e/ou trigo espelta estão intrinsecamente relacionadas em grande parte às propriedades viscoelásticas presentes na matriz do glúten, sendo que essas propriedades estão inerentemente ligadas à quantidade e qualidade das frações dos compostos monoméricos gliadina e glutenina presentes nas farinhas que compõem essas massas (Pruska-Kedzior et al., 2008).

O glúten presente na farinha de trigo é responsável por conferir as propriedades de viscosidade, extensibilidade, elasticidade, coesão, absorção de água. A ineficiência e/ou diminuição da quantidade e qualidade das proteínas formadoras do glúten em uma massa ocasiona a diminuição dos atributos de consistência, coesão e extensibilidade. Essa diminuição

nas características causam um aumento na velocidade de deterioração da qualidade final do pão elaborado, causando impacto direto sobre a textura, sabor, vida de prateleira, aparência e volume específico (Atwell & Finnie, 2016; Sun et al., 2019).

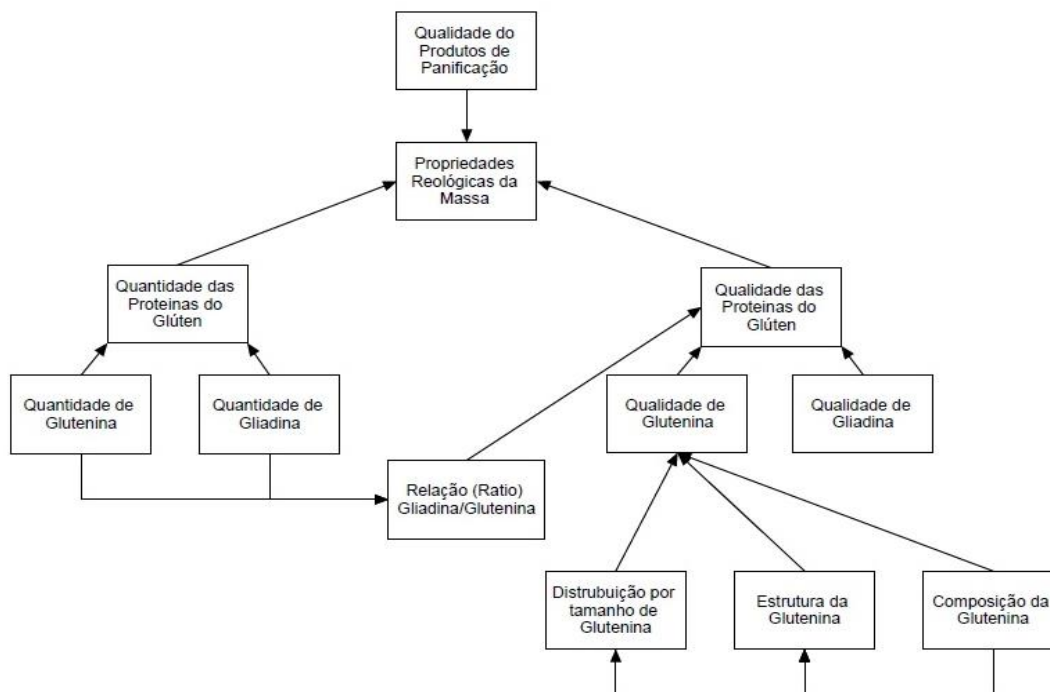


Figura 2.2. Fatores responsáveis por conferir a qualidade do glúten e propriedades reológicas da massa de trigo (Goesaert et al., 2005).

O amido também auxilia na funcionalidade da rede do glúten, dado que a interação entre as proteínas formadores do glúten e os grânulos de amido presentes nas farinhas proporcionam uma maior estabilidade para a estrutura formada. A maior estabilidade proporciona a rede uma maior capacidade de retenção dos gases produzidos na etapa de fermentação e impedir que o pão tenha colapso no decorrer das etapas de cocção e arrefecimento (Onyango, 2016).

2.2.2 Trigo Espelta

Classificado como um cereal hexaplóide, o trigo espelta pertence ao gênero *Triticum* e está enquadrado na família das gramíneas (Marconi et al., 2002). A variedade de trigo espelta nasceu devido ao cruzamento de espécies de trigo, o processo ocorreu de maneira natural, e gerou o desenvolvimento do genótipo que atualmente é classificado como *T. aestivum* subsp. *Espeleta*

com diversas variedades conhecidas. Alguns trabalhos mencionam que sua aparição ocorreu no sudoeste da Ásia e posteriormente sua variedade foi introduzida na Europa como uma grande cultura (Bodroza-Solarov et al., 2009; Gawlik-Dziki et al., 2012; Sobczyk et al., 2017).

Outros trabalhos citam o trigo espelta como uma das variedades mais antigas cultivadas na Europa, sendo seu cultivo realizado por séculos em diversos países da Europa central, no Canadá e Estados Unidos da América (Bodroza-Solarov et al., 2009; Bonafaccia et al., 2000; Kohajdová & Karovicova, 2008; Sobczyk et al., 2017).

De acordo com Lacko-Bartošová et al. (2010), diversos fatores podem influenciar no sucesso de uma cultura, podemos tomar como exemplos o tipo de sistema produtivo, a fertilidade do solo e o clima da região. A variedade espelta possui ampla capacidade de adaptabilidade a situações ambientais adversas, alta taxa de sobrevivência a doenças e ao ataque de pragas; por exemplo, o trigo espelta consegue crescer em áreas montanhosas, em solos fracos ou até empobrecidos em nutrientes. Essa cultura também não necessita de utilização de fertilizantes e/ou fitofarmacêuticos para sua proteção, diferentemente do trigo comum (Biel et al., 2016; Bodroza-Solarov et al., 2009; Sobczyk et al., 2017).

A casca do grão de trigo espelta é o responsável em grande parte por fornecer uma proteção natural a grande parte desses agentes externos, entretanto devido a essa maior proteção, o grão de espelta possui um rendimento muito menor se comparado ao trigo comum (Bodroza-Solarov et al., 2009; Frakolaki et al., 2018; Knapowski et al., 2016).

Devido a algumas dificuldades relacionadas à colheita do grão, e ao baixo rendimento obtido no processo de moagem, seu cultivo foi posteriormente abandonado por muitos anos, mas o surgimento do interesse nas suas propriedades benéficas a saúde, além da utilização em alimentos cultivados ecologicamente, proporcionou o renascimento do interesse no cultivo desse cereal (Biel et al., 2016; Bodroza-Solarov et al., 2009; Bojnanska & Francakova, 2002; Kohajdova & Karovicova, 2007; 2008; Marconi et al., 2002; Marques et al., 2007).

Nos dias atuais o maior acesso à informação por parte da população ocasionou um maior conhecimento da importância de se agregar produtos à base de cereais na alimentação. O aumento da informação impactou na percepção das pessoas sobre a importância do consumo desses alimentos, proporcionando uma maior busca por alimentos funcionais, ou seja, que tragam algum benefício a saúde (Karelakis et al., 2019; Patimah et al., 2019; Świeca et al., 2014).

O trigo espelta adquiriu uma grande valorização quando analisado na perspectiva de seus aspectos nutricionais e atributos capazes de promover saúde (Biel et al., 2016). O valor nutritivo do trigo espelta é alto, esse contém os componentes básicos que são necessários para a alimentação humana, por exemplo, açúcares, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais (Bojnanska & Francakova, 2002; Kohajdova & Karovicova, 2007; Muñoz-Insa et al., 2013).

Alguns autores citam que a variedade de trigo espelta é dotada de um maior teor de vitaminas em comparação ao trigo convencional, descoberta que acaba por aumentar a demanda por produtos elaborados com essa variedade (Bonafaccia et al., 2000; Gawlik-Dziki et al., 2012).

Devido a essas propriedades foi proposta a inclusão do trigo espelta na dieta de pacientes que estejam em tratamento de várias doenças, por exemplo, pacientes com a taxa de colesterol elevada, doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e síndrome metabólicas (Kohajdová & Karovicova, 2008; Świeca et al., 2014).

O teor de gordura diferenciado presente no grão o torna único devido a sua composição de ácidos graxos insaturados, sobre os quais é conhecido o efeito benéfico no coração e articulações (Escarnot et al., 2012). Podemos ainda mencionar como aspecto nutricional importante que o trigo espelta apresenta quantidades maiores das vitaminas B1, B2, B3, A, E e D (Biel et al., 2016).

Comparando o perfil dos ácidos fenólicos e potencial antioxidante de seis variedades de espelta, Gawlik-Dziki et al. (2012) encontraram que este cereal possui um elevado potencial antioxidante, além das propriedades sensoriais que possuem equivalência com os produtos à base de trigo e os aspectos ligados a agricultura biológica.

Em relação às proteínas formadoras do glúten, foram encontrados valores maiores para o conteúdo total de gliadina em comparação com os valores encontrados para o conteúdo total de gluteninas no trigo espelta. Esse fator impacta diretamente no valor do ratio, que é a relação gliadina/glutenina, acarretando um aumento significativo do valor quando confrontado com o número de ratio obtido para os trigos comuns (Escarnot et al., 2012).

Segundo Pruska-Kedzior et al. (2008), as proteínas presentes no trigo espelta, que são responsáveis por formar o glúten, possuem como características uma maior extensibilidade, propriedade ligada ao monômero de gliadina, e uma menor elasticidade, propriedade ligada ao monômero de glutenina, quando é comparado ao trigo convencional. Essas características

forneem a massa elaborada com o trigo espelta uma baixa estabilidade, devido a sua menor elasticidade e alta extensibilidade.

O trigo espelta após a etapa de mistura apresenta uma massa dotada de maior maciez e pegajosidade, que são características que tornam a massa obtida mais difícil de manusear. As características da massa após a etapa de amassamento também serão responsáveis por causar um pão de menor volume quando comparado aos valores encontrados em massas compostas apenas por farinhas obtidas de cultivos mais modernos de trigo (Pruska-Kedzior et al., 2008).

2.2.3 Água

A água é um ingrediente fundamental na produção de pães, pois sua função é hidratar a farinha, os grânulos de amido e as proteínas. Uma vez que as proteínas da farinha são hidratadas, ocorre a formação da rede proteica, denominada glúten, que é responsável por ser o agente ligante que garante o aprisionamento dos grânulos de amido, dessa maneira formando uma massa concisa e coesa (Calvel et al., 2001).

A absorção de água é um parâmetro que expressa com base no peso da farinha a quantidade de água necessária para formar uma massa de consistência adequada. A capacidade de absorção de água das farinhas é uma característica essencial para os produtos de panificação, uma vez que, todas as etapas do processo de fabricação desse produto são afetadas pela água (Wrigley et al., 2017). O nível ideal de absorção de água das farinhas é geralmente avaliado através de testes reológicos como a farinografia e por meio das etapas de mistura e manipulação da massa (Wrigley et al., 2017).

O desenvolvimento da etapa de fermentação e a atividade enzimática também depende da presença de água, dado que essa proporciona um ambiente adequado a atuação das leveduras e enzimas (Calvel et al., 2001). O conteúdo de água e a sua distribuição na massa também são determinantes para as características de textura do miolo, crocância da crosta e vida de prateleira dos pães. Algumas alterações bioquímicas acontecem em decorrência da presença de água, como exemplo, a gelatinização do amido durante a fabricação do pão (Wagner et al., 2007).

De acordo com Cauvain & Young (2008), os principais fatores que afetam a capacidade de absorção de água das farinhas são:

- Teor de umidade: O conteúdo de umidade das farinhas influencia diretamente na sua capacidade de absorção, possuindo uma relação inversamente proporcional, ou seja, o teor de umidade mais alto diminui a capacidade de absorção de água.
- Conteúdo de proteínas: A quantidade de proteínas presentes na farinha possui uma relação proporcional a capacidade de absorção de água, ou seja, quanto uma aumenta a outra também irá aumentar
- Conteúdo de pentosanas: Os polímeros de pentose que constituem as paredes celulares dos grãos de trigo são chamados pentosanas (Santos, 2005). A presença de uma maior quantidade desses polímeros aumenta a capacidade de absorção de água das farinhas, visto que esses polímeros absorvem perto de sete vezes o seu próprio peso em água, entretanto as pentosanas encontram-se normalmente em valores ínfimos na composição das farinhas, cerca de apenas 2% do peso das farinhas.
- Farelo de trigo: A presença desse constituinte aumenta a capacidade de absorção de água das farinhas.

2.2.4 Fermento Biológico

O processo de fabricação através da utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae* ou fermento para panificação, nome atribuído habitualmente, foi um dos primeiros processos a utilizar um agente fermentador (Horstmann et al., 2019). O agente fermentador possui uma atribuição fundamental na produção do pão, pois é responsável pela fermentação da massa. Esta levedura é capaz de degradar os açúcares presentes na massa (Cauvain & Young, 2007; Clément et al., 2018), e de acordo com Avramenko et al. (2018), a levedura tem influência na reologia, devido ao fato de atuar sobre o relaxamento da rede do glúten.

Observando a reação química ilustrada abaixo podemos visualizar a reação que exemplifica o modo de atuação das leveduras (Cauvain & Young, 2007):

Glicose → Etanol + Dióxido de Carbono + Energia



Na etapa de fermentação, as leveduras utilizam os hidratos de carbono em condições de anaerobiose para produzir etanol, energia e CO₂ como produtos. Dentro dessa reação temos algumas fases intermediárias, onde enzimas atuam para hidrolisar os hidratos de carbono em

moléculas menores. O processo de fermentação também é importante na geração de substâncias de sabor na massa (Rathnayake et al., 2018).

Nesse processo, o CO₂ é responsável por conferir a massa e ao pão a estrutura porosa responsável pela leveza e volume. Podem ser utilizados três tipos de fermentos, sendo eles: Fermento biológico fresco, fermento biológico seco ou fermento biológico seco instantâneo (Cauvain & Young, 2006; 2007).

2.2.5 Sal

Amplamente utilizado na indústria da panificação, o sal, contribui nas características tecnológicas e no sabor final dos pães (Ignácio et al., 2013). O sal mais utilizado para produtos de panificação é o cloreto de sódio (NaCl). Segundo alguns autores, esse elemento é capaz de fortalecer a rede de glúten, e dessa maneira aumentar a estabilidade da massa, o tempo de mistura e as interações proteína-proteína, controlar a velocidade do processo fermentativo, uma vez que possui ação antifúngica sobre a levedura (Avramenko et al., 2018; Ignácio et al., 2013; Miller & Hosene, 2008).

2.2.6 Melhoradores

Os melhoradores são formados por um conjunto de enzimas, emulsificantes, agentes redutores e outros ingredientes funcionais, que geralmente são combinados em uma formulação para proporcionar uma melhoria da qualidade de massas elaboradas para panificação (Tebben et al., 2018).

Diversos estudos abordam o impacto que a utilização desses compostos pode ter sobre a qualidade final do pão. Para Garzón et al. (2018), cujo trabalho era entender a influência dos emulsificantes sobre a incorporação de ar no processo de panificação, os emulsificantes aumentaram tanto o número de alvéolos de ar incorporadas na etapa de mistura quanto o volume final do pão.

Sahnoun et al. (2016), o objetivo do estudo era melhorar a características de um pão elaborado com uma substituição parcial de farinha de trigo francesa (70%) por farinha de trigo de origem ucraniana (30%). Para isso utilizou-se um desenho experimental de mistura, onde diferentes quantidades de α -amilase, ácido ascórbico e glicose oxidase eram adicionadas as massas de pão. Observaram que as formulações contendo 21,8% α -amilase, 41,2% ácido ascórbico, e 37%

glicose oxidase e 2,3% α -amilase, 66% ácido ascórbico, e 31,7% de glicose oxidase, respectivamente colaboraram aperfeiçoar a qualidade dos pães.

De acordo com Altinel & Ünal (2017a), que estudaram o efeito das enzimas hemicelulase, amiloglucosidade e glicose oxidase nas características reológicas e qualitativas de pães elaborados com farinha de trigo, as enzimas, tiveram impacto positivo nos valores de resistência a extensão, extensibilidade e no ratio entre os valores de resistência a extensão e extensibilidade.

2.2.6.1 Ácido Ascórbico

Os agentes oxidantes têm efeito principalmente sobre as proteínas formadoras da rede de glúten. Esses agentes atuam sobre as proteínas através do aumento da formação de ligações de disulfeto, sendo esse aumento do número de ligações responsável pelo fortalecimento da rede de glúten (Cauvain & Young, 2006; Leyn, 2006).

Diversos trabalhos utilizam o ácido ascórbico combinado com outros emulsificantes, enzimas e ingredientes funcionais para melhorar características de pães que possuem em sua formulação substituição parcial da farinha de trigo por farinha de outro cereal, ou para pães sem glúten (Steffolani et al., 2012; Ohimain, 2015).

Kamoto et al. (2018) utilizaram uma combinação de α -amilase fúngica com o ácido ascórbico para otimizar o pão elaborado com substituição parcial de farinha de trigo por grãos de amaranto. Verificou-se que o ácido ascórbico, α -amilase e a combinação desses melhoradores, contribuiu para aumentar o volume dos pães parcialmente substituídos com farinha de amaranto até os níveis 5, 10 e 15%, entretanto para os níveis de 20 e 25% o aumento não foi significativo.

De acordo com Filipčev et al. (2014), uma combinação da enzima xilanase, ácido ascórbico e ácido cítrico foi efetiva para melhoria da qualidade de pães elaborados com cultivos orgânicos de trigo espelta, que atualmente possui grande importância nos mercados de produtos compostos por cereais advindos da agricultura biológica.

Segundo Baratto et al. (2015), a ação combinada entre amostras comerciais de enzimas e o ácido ascórbico apresentou efeito sobre as características reológicas de massas produzidas para panificação, fazendo com que essas combinações pudessem ser utilizadas para produzir um pão de boa qualidade com características bem diferenciadas.

2.2.6.2 Enzimas

As enzimas são um complexo grupo de proteínas de papel fundamental em diversos processos biológicos. Essas moléculas orgânicas são responsáveis por catalisar reações e converter substratos específicos em produtos. Esses catalizadores biológicos possuem alta seletividade para os substratos aos quais são capazes de hidrolisar (Sundarram & Murthy, 2014).

Nos dias atuais, as enzimas são um importante ingrediente na indústria da panificação devido ao aumento da restrição na utilização de aditivos químicos. As enzimas podem estar presentes nas farinhas de duas formas: endógenas (que fazem parte da composição) ou exógenas (que são adicionadas intencionalmente) (Parkin, 2007; Miguel et al., 2013). As enzimas que estão presentes naturalmente nas farinhas, em sua maioria não causam problemas tecnológicos nos produtos (Atwell & Finnie, 2016).

2.2.6.3 Enzimas Amilolíticas

De maneira geral, existem duas categorias de amilases presentes nos cereais que são responsáveis por hidrolisar as ligações glicosídicas α -(1,4) e/ou α -(1,6) presentes na molécula de amido (Belderok et al., 2000; Harris & Ramalingam, 2010; Park et al., 2018; Sundarram & Murthy, 2014). Essas enzimas são classificadas de acordo com o substrato ao qual elas hidrolisam. A α -amilase (enzima dextrinizante) hidrolisa o amido de maneira randômica fornecendo como produto dextrinas. A β -amilase (enzima sacarificante) atua quebrando o amido em moléculas de maltose. Na representação esquemática ilustrada na Figura 2.3, temos os locais de atuação das enzimas beta-amilase e alfa-amilase. Nessa ilustração podemos ver que a β -amilase atua em ligações β -(1,4) localizadas nas extremidades da molécula de amido, em contrapartida a α -amilase hidrolisa qualquer ligação α -(1,4) da molécula de amido (Gava, 2009).

2.2.6.4 Glicose Oxidase

Segundo Dagdelen & Gocmen (2007), que estudaram os efeitos da combinação de glicose oxidase em diferentes concentrações (2, 4, 6 mg.kg⁻¹) com ácido ascórbico (30 mg.kg⁻¹) e hemicelulase (50 mg.kg⁻¹) nas características da massa e qualidade final do pão, a glicose oxidase é responsável por catalisar a reação de oxidação β -D-glucose em ácido glucônico e peróxido de hidrogênio, este último pode ser responsável por formar ligações de dissulfeto entre

as proteínas. Observou-se que utilização apenas da glicose oxidase causou efeito negativo na reologia da massa, gerando um massa com maior rigidez e menor extensibilidade, a combinação entre glicose oxidase e ácido ascórbico causou uma maior estabilidade da massa e aumento da absorção de água e por fim a combinação entre glicose oxidase e hemicelulase não afetou a estabilidade da massa, entretanto ocasionou um aumento da absorção de água.

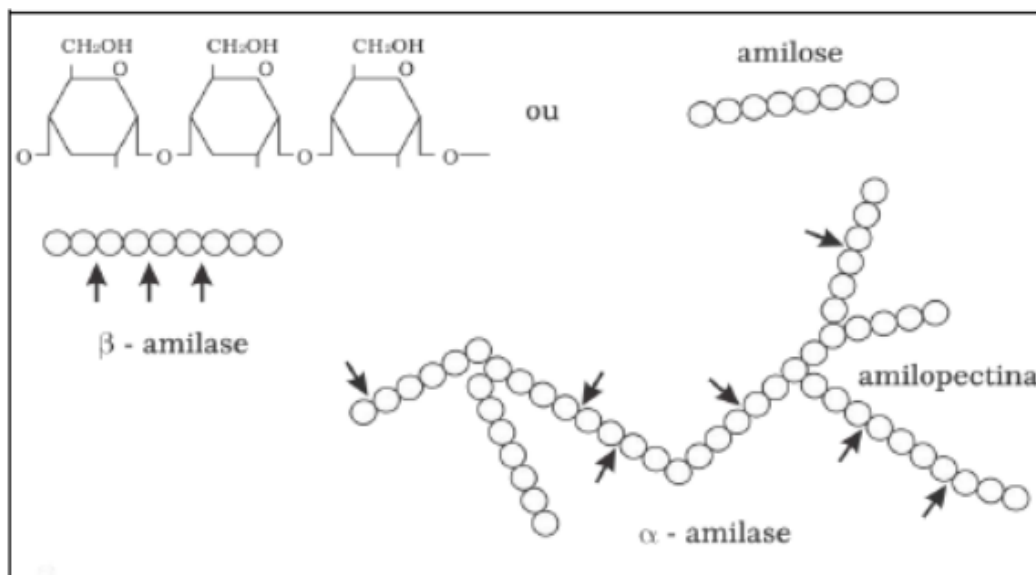


Figura 2.3. Forma de atuação das enzimas β e α amilases nas moléculas de amido (Gava, 2009)

De acordo com Vukić et al. (2013), que estudou os efeitos da adição de glicose oxidase nas massas de pães elaborados com trigo, a adição dessa enzima causou um aumento da tenacidade da massa aliada a uma redução da extensibilidade para todas as amostras testadas em comparação ao ácido L-ascórbico.

2.2.6.5 Fosfolipase

As fosfolipases são enzimas muito utilizadas na indústria alimentar, pois possuem aplicação em diversos produtos, como exemplo, na produção de óleos, produtos lácteos e de panificação. Diante disso essas enzimas são agregadas frequentemente aos processos de fabricação desses produtos. Em panificação, as fosfolipases atuam como corretor, uma vez que auxiliam na

diminuição da quantidade de compostos emulsionantes que devem ser utilizados nas formulações dos pães (Casado et al., 2012).

2.3 Análises Reológicas

A Reologia refere-se à ciência que estuda o comportamento de deformação e fluxo da matéria em resposta a forças de tensão e/ou deformação aplicadas (Bourne, 2002). Baseado no comportamento do material, estes são classificados em newtonianos ou não newtonianos, em geral os alimentos dispõem de sistemas viscoelásticos não newtonianos (Hadnađev et al., 2011).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas para compreender a reologia de variados alimentos, além disso, atualmente muitos processos na área de alimentos buscam aplicar os conhecimentos adquiridos com essa ciência para realizar contribuições nas áreas de processamento, aceitabilidade e manuseamento dos produtos dessa indústria (Zaidel et al., 2010). As técnicas obtidas através do estudo da reologia possuem papel importante na interpretação da influência que as alterações de constituintes ou adição de aditivos podem ocasionar, por exemplo, no comportamento das massas elaboradas para a fabricação de pão. Atualmente existem diversas metodologias para mensurar as propriedades reológicas (Hadnađev et al., 2011).

A indústria de panificação sempre procurou entender o comportamento reológico dos pães, massas alimentícias e biscoitos por ela elaborados, com a finalidade de melhorar e standardizar a qualidade final dos produtos. Esse fato acarretou que muitos dispositivos fossem elaborados para essa finalidade (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

Para obtenção de informações sobre as propriedades de mistura das farinhas são utilizados o farinógrafo ou mixógrafo normalmente. Para mensurar as propriedades de extensibilidade e resistência do glúten, temos metodologias tradicionais como extensografia e alveografia, e mais recentemente novas tecnologias como Kieffer. Esses testes fornecem informações acerca das propriedades reológicas das massas durante o processo de moldagem (Hadnađev et al., 2011). Na Tabela 2.1 são apresentadas diversas metodologias existentes para medir parâmetros reológicos em farinhas de cereais.

Tabela 2.1. Análises reológicas empíricas e fundamentais aplicadas a alimentos (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003)

Métodos	Produtos	Propriedade avaliada
Métodos Empíricos		
Misturadores:		
Farinografia, Mixógrafo, Reomixer	Massa	Tempo de Mistura, Torque, Viscosidade aparente
Extensiografia	Massa	Extensibilidade
TAXT2/equipamento Kieffer	Massa, glúten	Extensibilidade
Alveografia	Massa, glúten	Extensibilidade biaxial
Amilógrafo	Pastas, suspensões	Viscosidade aparente Tempo de gelatinização
Consistômetro Bostwick	Molhos, recheios	Viscosidade aparente
<i>Flow cup</i>	Fluidos, molhos, massas	Viscosidade aparente
<i>Falling ball</i>	Fluidos	Viscosidade aparente
Viscosímetros	Fluidos, pastas	Viscosidade aparente
Fermentômetros	Massas	Altura, volume
Penetrômetro	Alimentos semi-sólidos, géis	Dureza, firmeza
Análise de Perfil de Textura (TPA)	Alimentos sólidos	Textura, dureza
Métodos fundamentais		
Oscilação dinâmica, cilindros concêntricos, placas paralelas	Fluidos, pastas, massas	Módulos viscosos e elásticos
Viscosímetro de tubo: Capilar, pressão, extrusão, fluxo tubular	Fluidos, molhos Pastas, massas	Viscosidade, viscosidade em linha
Escoamento transiente: cilindros concêntricos, placas paralelas	Materiais viscoelásticos, semi-sólidos	Escoamento, relaxação, tempo
Extension: uniaxial, biaxial	Alimentos sólidos, massas	
TAXT2 sistema de inflação da massa, Compressão lubrificada		Dureza por tensão de viscosidade extensível

2.3.1 Alveografia

Um dos instrumentos científicos mais utilizados para determinar as características reológicas específicas de uma massa produzida para panificação é o alveógrafo, pois esse equipamento fornece medidas para quatro parâmetros, que são: Elasticidade (P), extensibilidade (L), equilíbrio entre elasticidade e extensibilidade (P/L) e resistência (W) (Bourne, 2002).

Para Parenti et al. (2019), que investigaram o efeito da adição de farinha gelatinizada na reologia da massa e qualidade do pão feito de farinha de trigo integral, os parâmetros alveográficos foram utilizados para prever o desempenho das etapas de fermentação e cocção, devido ao fato de se aplicar deformações semelhantes às que ocorrem nessas etapas.

2.3.2 Extensógrafo Brabender

As propriedades físicas das massas submetidas a esforços mecânicos e etapas de repouso podem ser mensuradas através da utilização do extensógrafo, pois esse equipamento provê dados sobre a extensibilidade e resistência ao estiramento das massas. Fundamentalmente, o teste consiste em medir a força necessária que um gancho precisa para elevar uma peça de massa cilíndrica até o momento que antecede o ponto de sua ruptura e os dados são então registrados sob a forma de um extensograma (Hadnađev et al., 2011).

De acordo com Stampfli et al. (1996), que trabalharam estudando o efeito dos emulsificantes nas propriedades reológicas das massas através de análises de farinografia e extensiografia. As características reológicas de resistência a extensão e extensibilidade foram alteradas pela adição de emulsificantes nas massas.

Diversos trabalhos têm utilizado esse equipamento para avaliar a influência de diferentes compostos adicionados à farinha de trigo sobre a qualidade de massas elaboradas com esse cereal (Bojňanská et al., 2019; Jukić et al., 2019; Skendi et al., 2019).

2.3.3 Kieffer

A metodologia desenvolvida por Kieffer para avaliar a extensibilidade e resistência da massa pode ser comparada a análise efetuada no extensógrafo de Brabender, inclusive essa metodologia é frequentemente chamada de microextensograma (Dunnewind, Sliwinski, Grolle & Van Vliet, 2003). O equipamento funciona com o mesmo princípio do extensógrafo de Brabender, exceto

pelo fato que a amostra sofre o estiramento para cima. Essa metodologia possui duas vantagens, que são: a medição da extensibilidade da massa e do glúten e a outra se refere a utilização de pequenas frações de amostra para realização dos testes (Hadnađev et al., 2011). O teste extensiográfico de Kieffer produz dois parâmetros importantes: resistência a extensão e extensibilidade (Figura 2.4).

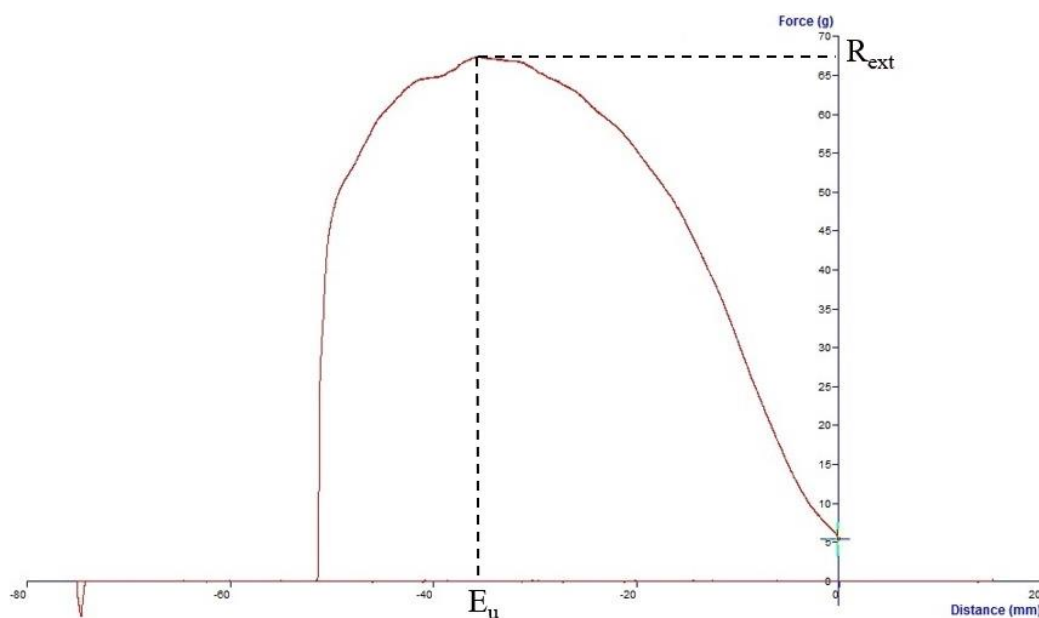


Figura 2.4. Gráfico obtido por intermedio da medição da extensibilidade do glúten e da massa em texturômetro.

A metodologia desenvolvida por Kieffer avalia a extensibilidade e resistência das massas que são submetidas ao teste (Figura 2.4).

- Resistência a extensão (R_{ext}): A força máxima é obtida no ponto mais alto da curva registrada pelo equipamento.
- Extensibilidade (E_u): Essa propriedade reológica é oriunda da distância percorrida pelo puxador até o momento em que a força máxima é obtida.

Caffe-Treml et al. (2011) escolheram a metodologia de Kieffer para estudar o efeito do genótipo do grão de trigo e do ambiente de cultivo nas características de extensibilidade da massa e sua utilização na indústria da panificação. No estudo em questão, os parâmetros obtidos através do teste de Kieffer sofreram alterações significativas tanto do ambiente quanto do

genótipo, apesar do ambiente ter sido responsável por causar maior fonte de variação nas variáveis analisadas.

No estudo de Hackenberg et al. (2018), a utilização do método de Kieffer para medir a extensibilidade da massa e glúten se fazia correto, pois o objetivo era entender o efeito que a modificação da farinha de trigo teria sobre a altura máxima da massa durante o processo de fermentação, juntamente com a influência do nível de MSN (modificações mecânicas do amido) no desenvolvimento da rede de proteínas associado às propriedades reológicas da massa após a etapa de amassamento.

2.3.4 Farinografia

Existem dois fatores críticos na etapa de mistura que são responsáveis por ocasionar alterações na reologia de uma massa, sendo eles: a qualidade do trigo e o nível de adição de água. Posteriormente, na etapa de desenvolvimento da massa, temos a magnitude do trabalho realizado como responsável por acarretar essas alterações. Um dos equipamentos mais utilizados pela indústria da panificação para determinar essas alterações é o farinógrafo (Faridi & Faubion, 1990).

Kohajdova & Karovicova (2007) usaram o farinógrafo de Brabender para determinar o nível de absorção de água e as propriedades reológicas da massa com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de espelta. Em um estudo elaborado por Mashayekh et al. (2008), cujo objetivo era entender o efeito que a fortificação com soja causaria sobre as características reológicas e sensoriais dos pães, as técnicas de farinografia e extensógrafia foram as escolhidas para a investigação das propriedades reológicas das massas resultantes do processo de fortificação.

2.3.5 Análise do perfil de textura (TPA)

A textura pode ser classificada como um dos quatro fatores responsáveis por determinar a qualidade dos alimentos, essa afirmação vem do fato desse atributo sensorial estar diretamente relacionado ao sentido do tato (Bourne, 2002).

O parâmetro de textura nos pães vem sendo estudados ao longo dos anos tanto por métodos empíricos quanto por métodos fundamentais, e a análise de perfil de textura (Texture profile

analysis – TPA) é uma das metodologias empíricas mais conhecidas no mundo, pois possui ampla aplicação ao longo da história da indústria alimentar. Para essa metodologia de análise, temos a possibilidade de monitorar e registrar as propriedades de textura da amostra com auxílio de curvas específicas geradas pelo texturômetro (Chen & Opara, 2013).

O princípio do teste é ilustrado na Figura 2.5, onde temos uma dupla compressão da amostra com a finalidade de reproduzir o processo de mastigação; esse teste é eficiente na medida que os parâmetros de dureza, coesividade, adesividade e mastigabilidade fornecem resultados bem próximos aos obtidos através de análise sensorial. Apesar de fornecer informações de grande valor à capacidade de previsão das características de textura e processos de produção dos pães, a análise de TPA não é indicada para estabelecer relação entre propriedades e estrutura em decorrência da ausência de parâmetros físicos bem definidos, para esse tipo de finalidade devemos utilizar métodos fundamentais como os apresentados na Tabela 2.1 (Gao et al., 2018).

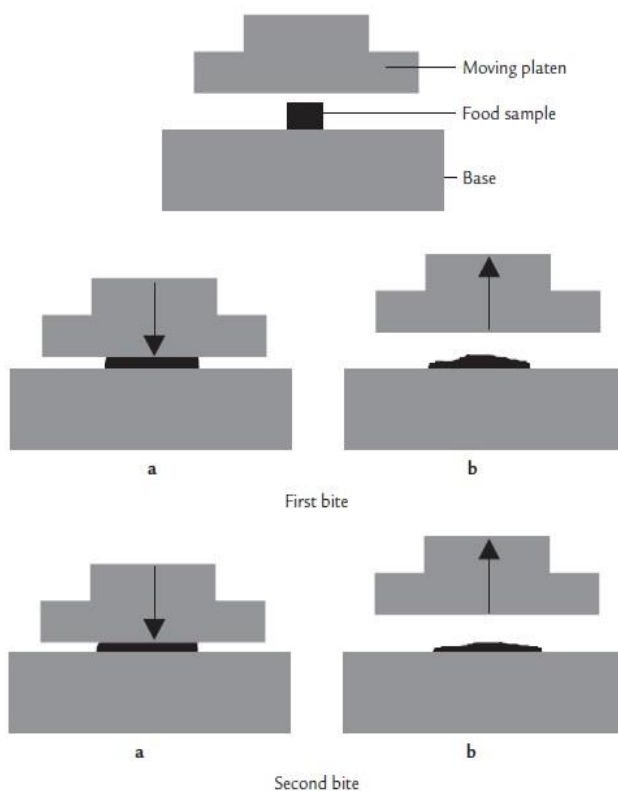


Figura 2.5. Diagrama ilustrativo do mecanismo de dupla compressão da análise do perfil de textura (TPA) (Bourne, 2002).

A Figura 2.6 apresenta um perfil de textura para pão de farinha de trigo substituído com 30 % de farinha espelta, analisado 24 horas após cozedura.

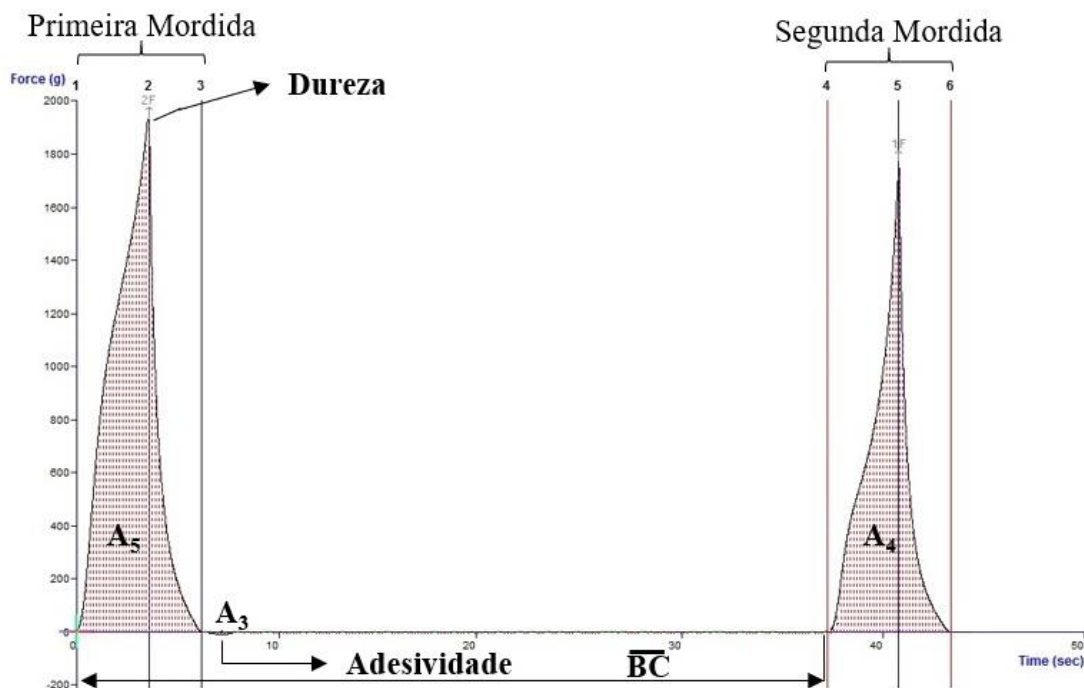


Figura 2.6. Gráfico obtido através da análise do perfil de textura de uma amostra de pão com substituição parcial de farinha de trigo espelta.

Os parâmetros comumente avaliados na análise de TPA para pães são: dureza, fraturabilidade, elasticidade, coesividade, adesividade, gomosidade e mastigabilidade (Chen & Opara, 2013; Roudot, 2004) (Figura 2.6).

- Dureza: Esse parâmetro é responsável por fornecer a força máxima realizada após a primeira compressão. O valor que representa a dureza é obtido no primeiro pico do gráfico.
- Adesividade: Essa variável é calculada mensurando a área da curva gerada abaixo do eixo x, aliado ao trabalho necessário para que o produto desapegue da placa de compressão (A₃).

- Coesividade: Essa variável mensura as forças de ligação internas do produto, e é calculada através do quociente entre as áreas geradas durante as duas etapas de compressão (A_4/A_5).
- Elasticidade: É o valor obtido do segmento de reta BC, onde B está localizado no momento inicial do contato da primeira compressão e C está localizado no mesmo ponto só que para a segunda compressão.
- Mastigabilidade: Esse parâmetro é obtido através do produto entre a dureza, coesividade e elasticidade.
- Gomosidade: É o resultado do produto entre dureza e a coesividade.

Segundo Roudot (2004), inicialmente essas definições não aparentavam relação com a experiência sensorial que a mastigação proporciona, mas após experimentos de correlações entre os resultados obtidos sensorialmente e pela análise de perfil de textura foi comprovada a eficácia desses parâmetros.

Eriksson et al. (2014), procuraram determinar o nível máximo de substituição da farinha de trigo por fécula de mandioca que não acarretaria prejuízo tecnológico e/ou organoléptico para a produção de pães. Para a análise de TPA, eles observaram um aumento da dureza proporcional ao aumento do nível de substituição por fécula de mandioca em comparação a amostra controle, e verificaram que os pães com maior teor de fécula de mandioca eram menos aderentes e mais difíceis de mastigar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matérias-Primas

Todos os experimentos realizados nesta investigação ocorreram nas dependências do Centro de Investigação de Montanha (CIMO) do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Portugal. Os experimentos foram levados a cabo em três fases, e descrevem-se detalhadamente nas Seções 3.2, 3.3, e 3.4. Nestas três fases, utilizaram-se três tipos de farinha de trigo comerciais, classificadas como tipo 55, 65 e 150, e uma farinha de trigo integral da variedade espelta certificada como proveniente de agricultura biológica. Todas as farinhas de trigo foram adquiridas na Moagem Loreto (Bragança), e os demais ingredientes utilizados na preparação dos pães, como sal, fermento fresco foram juntamente com farinha de trigo espelta obtidos em um comércio local da mesma região.

Para a terceira fase do experimento, utilizaram-se também os aditivos: glúten de trigo vital BeneoPro VWG 75 Food (conteúdo proteico de 79.5% bh), melhorador comercial MasPan X7 (melhorador em pó, mistura de regulador de acidez E170, emulsionante E472e, ácido ascórbico E300 e enzimas amilolíticas em proporções desconhecidas), ácido ascórbico (VC Regular), as enzimas glicose oxidase (BakeZyme Go Classic 10.000 BG) e fosfolipase (Panamore Golden). Todos os aditivos foram fornecidos pela empresa TecPan Bakery Ingredients (Mirandela, Portugal).

3.2 Primeira Fase: estudo da reologia da massa de pão com substituição parcial da farinha de trigo de três diferentes tipos (T65, T55 e T150) por farinha de trigo espelta

Na primeira fase deste estudo, massas com substituição parcial de farinha de trigo (FT) por farinha de trigo espelta (FE) foram elaboradas nos níveis de 0%, 5%, 10% e 15% e com quatro níveis de adição de água (55,0%, 57,5%, 60,0% e 62,5%) para cada um dos tipos de farinha de

trigo (T65, T55 e T150) num desenho factorial completo. Assim, um total de $4 \times 4 \times 3 (=48)$ formulações foi investigado.

O cálculo da formulação base para o experimento baseou-se na metodologia de Baker's (%), onde cada um dos ingredientes é calculado em função da proporção da farinha utilizada na elaboração da massa (Cauvain & Young, 2006). Para as porcentagens de água presentes nas formulações foram utilizados outros trabalhos como base para determinação dos melhores valores a serem utilizadas (Cauvain & Young, 2006; Frakolaki et al., 2018; Kohajdova & Karovicova, 2007). Os valores utilizados para todas as formulações testadas são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Formulações das massas com substituição parcial de farinha de trigo (T65, T55 e T150) por farinha de trigo espelta e as respectivas quantidades de água adicionada

	Farinha de Trigo (%)	Tipo de Farinha	Farinha de Espelta (%)	Água (%)
Formulação 1	100	T65	0	62,5
Formulação 2	95	T65	5	62,5
Formulação 3	90	T65	10	62,5
Formulação 4	85	T65	15	62,5
Formulação 5	100	T65	0	60,0
Formulação 6	95	T65	5	60,0
Formulação 7	90	T65	10	60,0
Formulação 8	85	T65	15	60,0
Formulação 9	100	T65	0	57,5
Formulação 10	95	T65	5	57,5
Formulação 11	90	T65	10	57,5
Formulação 12	85	T65	15	55,0
Formulação 13	100	T65	0	55,0
Formulação 14	95	T65	5	55,0
Formulação 15	90	T65	10	55,0
Formulação 16	85	T65	15	55,0
Formulação 17	100	T55	0	62,5
Formulação 18	95	T55	5	62,5
Formulação 19	90	T55	10	62,5
Formulação 20	85	T55	15	62,5
Formulação 21	100	T55	0	60,0
Formulação 22	95	T55	5	60,0
Formulação 23	90	T55	10	60,0
Formulação 24	85	T55	15	60,0
Formulação 25	100	T55	0	57,5

Formulação 26	95	T55	5	57,5
Formulação 27	90	T55	10	57,5
Formulação 28	85	T55	15	55,0
Formulação 29	100	T55	0	55,0
Formulação 30	95	T55	5	55,0
Formulação 31	90	T55	10	55,0
Formulação 32	85	T55	15	55,0
Formulação 33	100	T150	0	62,5
Formulação 34	95	T150	5	62,5
Formulação 35	90	T150	10	62,5
Formulação 36	85	T150	15	62,5
Formulação 37	100	T150	0	60,0
Formulação 38	95	T150	5	60,0
Formulação 39	90	T150	10	60,0
Formulação 40	85	T150	15	60,0
Formulação 41	100	T150	0	57,5
Formulação 42	95	T150	5	57,5
Formulação 43	90	T150	10	57,5
Formulação 44	85	T150	15	55,0
Formulação 45	100	T150	0	55,0
Formulação 46	95	T150	5	55,0
Formulação 47	90	T150	10	55,0
Formulação 48	85	T150	15	55,0

A elaboração da massa resumiu-se na mistura dos ingredientes com o auxílio de uma batedeira (KitchenAid Artesan 5KSM45, UK) por 2 minutos em velocidade 2 utilizando o acessório misturador, e 7 minutos em velocidade 4 utilizando o acessório de gancho. O tempo total de mistura era contado a partir do momento em que a água era adicionada aos ingredientes secos. Esse procedimento foi seguido para todas as formulações apresentada na Tabela 3.1. A etapa posterior consistiu na realização de dois testes reológicos, a saber: (i) adesividade da massa, e (ii) extensão uniaxial em texturômetro com o acessório Kieffer para medição da extensibilidade de massa e glúten. Embora estas massas não foram levedadas; toda a análise reológica se realizou dentro dos primeiros 30 minutos após terminado o amassado.

Essas análises foram efetuadas utilizando o equipamento Texture Analyser TA-XT plus com Exponent software version 6.1.11.0 (Stable Micro Systems Ltd., UK). Em função dos resultados obtidos, procedeu-se a continuidade do experimento.

3.2.1 Adesividade da Massa

Retirou-se uma amostra de 5 g da massa original; essa amostragem foi feita no centro da amostra original, uma vez que, o centro é o local mais úmido. Então esses 5 gramas foram transferidas para uma célula de adesividade SMS/Chen-Hoseney (A/DSC) que é parafusada a uma sonda de adesividade SMS/Chen-Hoseney (Devi et al., 2016). Extrusou-se aproximadamente 1 mm de massa da amostra para realização do teste. A análise foi realizada com o auxílio de uma sonda cilíndrica (P/25P) e os parâmetros utilizados no teste foram ajustados em: velocidade pré-teste 0,5 mm/s, velocidade do teste 0,5 mm/s, velocidade pós-teste 10 mm/s, força de disparo 5 g, força aplicada 40 g, tempo de contato 0,1 s, e distância de retorno 4 mm. Para cada uma das massas, realizaram-se cinco medições e os parâmetros de adesividade obtidos foram três: viscosidade da massa (g), trabalho de adesão (g.s) e resistência coesiva da massa (mm) (Encina-Zelada et al, 2018; 2019).

3.2.2 Extensibilidade da massa e do glúten com o acessório Kieffer

Como mencionado anteriormente, a análise de extensibilidade da massa e do glúten foi realizada por meio do mesmo texturômetro com o acessório Kieffer (Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig, A/KIE, Stable Micro Systems, UK). Para a realização do teste, eram utilizados aproximadamente 150 g de massa que era amassada cuidadosamente até uma altura final de 5 mm. Com o auxílio de um bisturi, a massa era cortada em um retângulo de dimensões 15 × 5,1 cm, e colocada sobre a parte inferior de um conjunto formado por placas de teflon previamente lubrificadas com óleo de girassol. A próxima etapa consistia em utilizar a placa superior do conjunto para pressionar a massa contra a parte inferior por meio de uma prensa, pois dessa forma a massa é cortada, e após a compressão um intervalo de tempo de 20 minutos era respeitado para que as tensões do procedimento fossem aliviadas. A placa superior era removida obtendo-se tiras de 5 cm de comprimento com uma seção transversal semelhante a um trapézio. Devido a não uniformidade da compressão realizada pela prensa, as três primeiras e as duas últimas tiras eram descartadas. Subsequentemente, uma a uma, as tiras eram retiradas da placa inferior e colocadas na plataforma base do equipamento. Um puxador de 1,20 mm era responsável por estirar a massa. Para essa análise, os parâmetros da prova foram fixados em velocidade de elevação 3,30 mm/s, distância 75 mm, sendo os resultados obtidos para as

variáveis de extensibilidade (mm) e resistência à extensão (g) (Dunnewind et al., 2003; Silow et al., 2018). Realizaram-se 10 repetições para cada uma das massas.

3.3 Segunda Fase: Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de trigo espelta na qualidade tecnológica do pão e seu tempo de vida

3.3.1 Elaboração dos pães

Após os testes de massa realizados durante a primeira fase de experiências, a farinha de trigo tipo 55 foi escolhida para a sequência da segunda fase de experiências. Foram elaborados pães com duas formulações controle (0% e 100% de farinha de trigo espelta) e com três níveis de substituição de farinha espelta (10%, 20% e 30%). O nível de adição de água das formulações foi calculado através de balanço de massa entre as porcentagens de absorção de água para ambas farinhas analisadas. Os valores para as absorções de água foram obtidos em análises farinográficas de outros artigos científicos (Bonafaccia et al., 2000; Cauvain & Young, 2006; Frakolaki et al., 2018; Kohajdova & Karovicova, 2007; Sobczyk et al., 2017).

Segue abaixo o cálculo do nível de absorção de água para a proporção da mistura entre a farinha de trigo (70%) e a farinha de trigo espelta (30%). A partir das quantidades de farinha de trigo (F_A) e farinha de espelta (F_E), porcentagens de absorção de água para farinha de trigo (X_A) e farinha de espelta (X_E), foi calculado o índice de absorção de água para a mistura de ambas farinhas (X_T), através da Equação 4. Esse mesmo procedimento de cálculo foi realizado para obter o índice de absorção de água da mistura de farinhas (X_T), para os níveis 10% e 20% de substituição. As demais proporções dos ingredientes empregados na formulação básica de massa de pão deste trabalho são apresentadas na Tabela 3.2.

$$F = 0,7F_A + 0,3F_E \quad (1)$$

$$FX_T = 0,7F_A X_A + 0,3F_E X_E \quad (2)$$

$$(0,7F_A + 0,3F_E)X_T = 0,7F_A X_A + 0,3F_E X_E \quad (3)$$

$$X_T = \frac{0,7F_A X_A + 0,3F_E X_E}{(0,7F_A + 0,3F_E)} \quad (4)$$

Tabela 3.2. Ingredientes utilizados na formulação (F) dos pães com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de trigo espelta

Ingredientes	F1 (100:0)	F2 (90:10)	F3 (80:20)	F4 (70:30)	F5 (0:100)
Farinha de Trigo	100%	90%	80%	70%	0%
Farinha de Espelta	0%	10%	20%	30%	100%
Água	60%	59,89%	59,78%	59,67%	58,90%
Sal	1,80%	1,80%	1,80%	1,80%	1,80%
Levedura	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%

O método direto foi o escolhido para produção dos pães, os ingredientes foram adicionados com base no cálculo de Bakers%, em acordo com a formulação apresentada na Tabela 3.2. A mistura dos ingredientes foi realizada em uma batedeira (KitchenAid Artesan 5KSM45, EUA) equipada com um misturador e um gancho. Os tempos de mistura foram dois minutos em velocidade 2 e sete minutos em velocidade 4. A massa foi deixada a descansar por dez minutos a temperatura ambiente (20°C), e depois foi dividida em pedaços de 220 ± 5 g, modelada a mão e colocada em formas de alumínio untadas com óleo. A massa foi colocada para fermentar durante 45 minutos a 38°C com 75% de umidade relativa em estufa (Climacell 222, Germany), e cozida em forno pre-aquecido (Princess, 2000W, The Netherlands) por 45 minutos a 180°C. Após um período de 24 horas, os pães eram submetidos a análises de atividade de água (a_w), perfil de textura (TPA), volume específico, perdas por cozimento e análise de imagens. Pode-se dizer então que estas análises foram levadas a cabo no Dia 1 (sendo o Dia 0, o dia de cozedura do pão). Também se realizou um estudo de vida de prateleira, para o qual os pães foram armazenados por um total de cinco dias, e submetidos a análises de TPA e a_w nos Dias 3 e 5 (Figure 3.1).

3.3.2 Análise dos Pães

3.3.2.1 Volume específico

O volume de cada pão (mL) foi determinado através do uso de uma versão modificada do método padrão de deslocamento de sementes (AACCC, 2000). Para a análise foram utilizadas sementes de quinoa ao invés de sementes de colza. A análise consistiu em pesar um recipiente plástico de dimensões 10,4 cm x 7,5 cm x 7,5 cm (largura x comprimento x altura) preenchido

com as sementes de quinoa, e depois esse mesmo recipiente foi preenchido com o pão juntamente com as sementes.

O volume do pão foi estimado com a Equação 5,

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \frac{m}{\rho_{\text{aparente}}} \quad (5)$$

onde ρ_{aparente} , a densidade aparente das sementes de quinoa, é de 0,7247 g/mL, e m é o peso das sementes deslocadas em g. O volume específico (ml/g) dos pães foi então calculado dividindo o valor obtido para o volume pelo peso do pão após 24 horas da etapa de cocção (Frakolaki et al., 2018; Sobczyk et al., 2017). Para cada formulação, determinou-se o volume específico de três pães, e o volume de cada pão foi avaliado em triplicata.

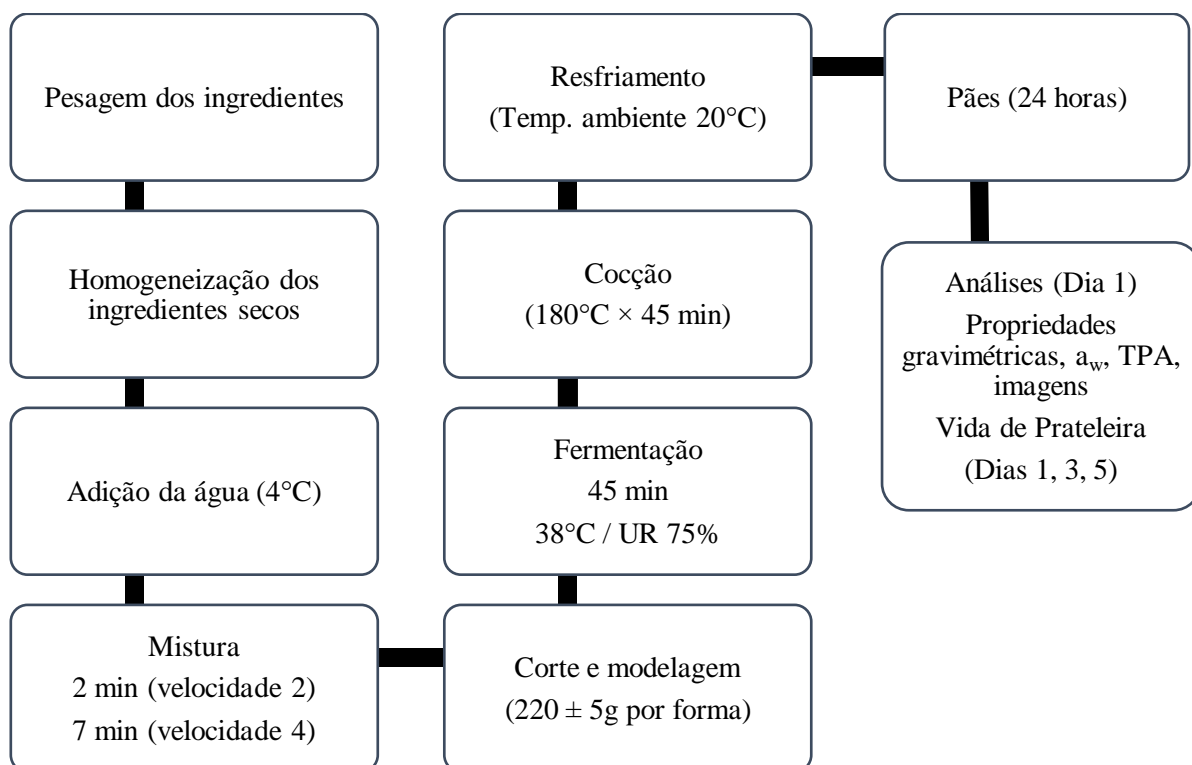


Figura 3.1. Fluxograma para a elaboração e análises dos pães

3.3.2.2 Perdas por cocção

Para determinar as perdas ocasionadas pela etapa de cocção foram realizadas as pesagens dos pães 24 horas após a etapa. Os valores da perda por cocção (PPC) foram determinados através da Equação 6.

$$PPC = \left[\frac{w_0 - w_1}{w_0} \right] \times 100\% \quad (6)$$

onde w_0 é a massa do pão antes da cocção, e w_1 é a massa do pão 24 hora após cocção. Para cada formulação, calcularam-se as PPC de três pães.

3.3.2.3 Análise de perfil de textura

A análise escolhida para realização da caracterização das propriedades de textura do miolo foi a análise de perfil de textura (TPA) utilizando o texturómetro antes descrito. Uma sonda de alumínio de 36 mm de diâmetro (modelo P/36R) foi usada na condução do teste. O pão foi fatiado com o auxílio de uma serra elétrica (Bosch MAS4000W, Alemanha) em fatias com 15 mm de espessura, sendo as primeiras duas fatias retiradas e descartadas, e as fatias posteriores foram cortadas em seu centro com a ajuda de um cortador de 30 mm de diâmetro para efetuação do teste. Os critérios definidos para o teste foram: velocidade pré-teste 1 mm/s, velocidade de teste 2 mm/s, velocidade post-teste 2 mm/s, força de disparo ajustada 5 g, taxa de deformação da amostra 50% e dupla compressão (com um intervalo de 30 s entre os ciclos). Registaram-se os seguintes parâmetros: dureza ([g]), coesividade ([adimensional]), mastigabilidade ([g]), resiliência ([adimensional]) e elasticidade ([adimensional]) (Martínez & Gómez, 2017). Para cada formulação da segunda experiência foram analisadas três fatias e dois pães 2×3 (= 6) e para o terceiro experimento um total de três fatias e três pães 4×3 (= 12) foi analisado.

3.3.2.4 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por meio de leitura direta em medidor de atividade de água Aqualab (4TE Decagon, EUA). Para realização da medição os pães eram cortados em fatias de 1,0 cm ($\pm 0,05$) de espessura e a temperatura da leitura era verificada (Alencar et al., 2015). Para cada formulação, determinou-se a a_w em triplicata, a partir de três fatias centrais de um pão.

3.3.2.5 Análise de imagem da distribuição alveolar do miolo

Para a análise de imagem do miolo, o pão foi fatiado em fatias com 15 mm de espessura, com o auxílio de uma serra elétrica para pão (Bosch MAS4000W, Alemanha). As fatias foram então digitalizadas em ambos os lados (Cannon Pixma MG-2550, Vietnã) usando o software IJ Scan Utility (versão 2.0.12, Canon, Japão). Os parâmetros estabelecidos foram: Nível de cinza -10% brilho, contraste +15% e resolução 350 dpi. O Software ImageJ (versão 1.51j8, Wayne Rasband, National Institute of Health, USA) foi utilizado para cortar o centro da imagem na proporção de 3,8 cm × 3,8 cm (resolução espacial 1 cm = 138 pixels) e as imagens foram salvas em formato TIFF para posterior análise. Para o experimento 2, cada uma das formulações gerou 12 imagens (2 pães × 3 fatias × 2 lados de cada fatia). No experimento 3, para cada uma das formulações foram salvas 18 imagens (3 pães × 3 fatias × 2 lados de cada fatia). Para analisar as características do miolo central dos pães foi utilizado o algoritmo idealizado por Gonzales-Barron & Butler (2006; 2008). O processo de segmentação binária fundamentado em um algoritmo de agrupamento médias k que foi codificado no software Matlab (ver. R2015a, The Mathworks, USA). Os parâmetros obtidos para os dois experimentos foram:

- *Área alveolar média*, definida como a média do tamanho (área) de todos os alvéolos presentes na imagem do pão (mm²).
- *Densidade alveolar*, definida como o número de alvéolos contados por mm² de área.
- *Uniformidade alveolar*, definida como a fração de número de alvéolos <5 mm² / número de alvéolos >5 mm² (adimensional). A menor valor de uniformidade, maior é a heterogeneidade da fatia em tamanho alveolar.
- *Circularidade média alveolar*, definida como a média da fração da área de um alvéolo à área de uma circunferência do mesmo perímetro (adimensional). Quanto mais perto de 1, mais circulares ou compactos são os alvéolos na média.
- *Quociente axial médio alveolar*, definido como a média da fração do eixo maior ao eixo menor de um alvéolo (adimensional). Alvéolos mais alongados terão valores mais afastados de 1.
- *Número de alvéolos grandes*, definido como o número de alvéolos de tamanho >15 mm² contados na imagem do miolo (adimensional).

3.3.2.6 Análise de vida de prateleira

Alguns dos fenômenos importantes de perda de qualidade do pão durante armazenagem são a retrogradação do amido e a desidratação. Assim, a perda de qualidade do pão durante armazenagem foi avaliada mediante (i) análise de perfil de textura do miolo (ver Secção 3.3.2.3, onde só os parâmetros de dureza e resiliência foram registados) e (ii) atividade de água (ver Secção 3.3.2.4) nos dias 1, 3 e 5 após cozedura. Os pães formulados com os níveis de substituição de 0%, 10%, 20% e 30% eram armazenados no laboratório em sacos de polietileno que estavam expostos ao ambiente, a uma temperatura de 20 ± 1 °C.

3.4 Terceira Fase: Efeito dos melhoradores na qualidade tecnológica do pão de trigo T55 substituído com 30% de farinha de trigo espelta

Na terceira etapa, os experimentos foram continuados fixando agora o nível de substituição da farinha de trigo T55 por farinha de trigo espelta a 30%, tratamento escolhido como produto da análise da segunda fase de experimentos. Como o objectivo dos experimentos da terceira fase foi aperfeiçoar esta formulação base com o uso de aditivos ou melhoradores, em primeiro lugar, procedeu-se à padronização desta mistura de farinhas para alcançar um teor de glúten de 9% em farinha total (i.e., mistura de 70% farinha de trigo T55 e 30% farinha de trigo espelta). Sobre esta mistura padronizada de farinhas, testaram-se os efeitos de três melhoradores: ácido ascórbico, fosfolipase e glucose oxidase, mantendo também um “controlo negativo” (i.e., ausência de melhoradores na mistura padronizada de farinhas; isto é, o controlo negativo só possuía o glúten). Adicionalmente, o desempenho destes três melhoradores foi contrastado com um melhorador comercial usado amplamente nas padarias da região (MasPan X7), cujo tratamento foi chamado de “controlo positivo”.

3.4.1 Padronização do teor de gluten da mistura de farinhas a 9,0%

As proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina) são conhecidas por sua insolubilidade em água e capacidade de formar uma massa plástica. Esses fatores citados permitiram a quantificação do teor de glúten presentes nas farinhas de trigo e trigo espelta (Goesaert et al.,

2005). O conteúdo de glúten de ambas farinhas foi determinado com a finalidade de padronizar o conteúdo de glúten da mistura de farinhas a 9%.

Para realizar a quantificação do teor de glúten, uma amostra de 200 g de uma massa foi elaborada conforme a metodologia descrita na Seção 3.2. A amostra foi fracionada em três porções de 50 g de massa que foram submetidas a sucessivas lavagens em água corrente. A massa foi lavada até a obtenção de uma “massa pegajosa” com aspecto brilhante e heterogêneo. Para verificação da eficácia do procedimento, a água de lavagem dessas amostras era testada com iodo. Quando não houvesse mudança de coloração da água de lavagem para roxo devido a reação com o amido, era o momento de parar com as lavagens (Figura 3.2).

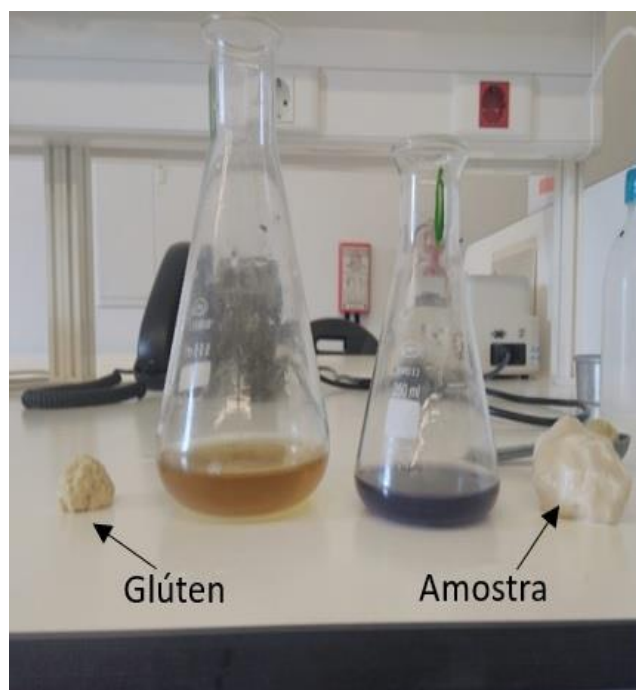


Figura 3.2. Teste de mudança de coloração da água de lavagem.

Analisando os resultados obtidos para os dois tipos de farinhas, verificar-se que a farinha de trigo apresentou maiores teores de glúten úmido e glúten seco em comparação com os valores obtidos para a farinha espelta (Tabela 3.2). O valor para o teor de glúten seco obtido neste trabalho foi inferior aos relatados por Frakolaki et al. (2018), que caracterizaram quimicamente as duas farinhas.

Fillipcev et al. (2014) encontraram um valor médio de 41,67% de glúten úmido para duas variedades de trigo espelta. Esse valor encontra-se bem próximo ao valor de 41,87% determinado neste trabalho (Tabela 3.3). Bojnanska & Francakova (2002), encontraram um teor de glúten úmido variando de 30,6% até 51,8% para as espécies de trigo espelta estudadas, essa variação foi atrelada às condições climáticas diversas encontradas ao longo dos anos estudados, que inteferiram na composição final dos grão de trigo espelta.

Tabela 3.3. Teores de glúten seco e umido das amostras de farinha de trigo 55 e espelta

Atributos	Farinha de Trigo	Farinha de Espelta
Glúten Seco (%)	7,932 ± 0,27 ^a	4,971 ± 0,25 ^b
Glúten Umido (%)	54,02 ± 1,12 ^a	41,87 ± 2,43 ^b

Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma fila indicam que houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05).

Segue abaixo o cálculo da percentagem de glúten em base seca (G_T) presente na mistura entre a farinhas de trigo (70%) e a farinha de trigo espelta (30%). A partir dos teores de glúten em base seca encontrados na farinha de trigo (G_A) e farinha de espelta (G_E), foi possível calcular o teor de glúten presente na mistura (70% trigo/30% espelta) (Equação 7). O próximo passo foi padronizar o valor de gluten na mistura a 9% tendo em consideração o grau de pureza do glúten vital utilizado neste trabalho que era de 80%. Na equação (8) são apresentados os valores de G_{PA} que é referente a padronização em 9%. G_T que é referente ao teor de glúten presente na mistura das duas farinhas e por fim temos G_{P80} que leva em consideração a pureza de 80% do glúten vital. Substituindo os valores na equação (8), e considerando uma porção de mistura de farinhas (F) de 500 g, obteve-se que o valor de 12,25 gramas deveria ser adicionado a mistura (70% trigo/30% espelta) para realizar a padronização do teor de glúten em 9% para todas as formulações apresentadas na Tabela 3.4. Esse procedimento foi realizado para evitar a interferência dessa variável nos resultados.

$$F = 0,7F_A + 0,3F_E \quad (5)$$

$$G_T = (G_A F_A + G_E F_E) \quad (6)$$

$$G_T = 7,04\% \quad (7)$$

$$G_{adicionar} = Fx \left(\frac{G_{PA} - G_T}{G_{P80}} \right) \quad (8)$$

Tabela 3.4. Porcentagem adicionada dos três melhoradores em cada uma das cinco formulações testadas

Teste	Fosfolipase	Glucose Oxidase	Ácido Ascórbico
Controle negativo	0,0%	0,00%	0,0%
F1	0,1%	0,06%	0,5%
F2	0,3%	0,02%	0,5%
F3	0,5%	0,06%	0,5%
F4	0,3%	0,10%	0,5%
F5	0,3%	0,06%	0,5%

3.4.2 Definição de tratamentos com melhoradores.

Utilizando a mistura de farinhas (70% trigo/30% espelta) padronizada a 9,0% de glúten, foram avaliados os efeitos de duas enzimas, a fosfolipase e a glucose oxidase, mantendo o ácido ascórbico a 0,5% em todas as formulações, o qual foi fixado de acordo a provas preliminares. Na Tabela 3.4 estão representadas as proporções de melhoradores utilizados nas diferentes formulações, calculados conforme um desenho de Box-Benkhen para as variáveis “conteúdo de glucose oxidase” e “conteúdo de ácido ascórbico”. Na Tabela 3.4, inclui-se também um controle negativo (sem melhoradores, mas com teor de gluten padronizado a 9%). Todas as formulações foram contrastadas com um controle positivo, que foi de igual composição ao controle negativo, porém adicionando 1% de melhorador comercial MasPan X7. Os pães foram elaborados de acordo com a metodologia descrita na Secção 3.1.1.

3.4.3 Análise dos Pães

Foram realizados testes de extensão uniaxial nas massas produzidas em texturômetro com o acessório Kieffer para medição da extensibilidade de massa e glúten conforme a metodologia descrita no Secção 3.2.2. Depois de um período de 24 horas, os pães foram submetidos as análises de atividade de água (Secção 3.3.2.4), perfil de textura (Secção 3.3.2.3), volume específico (Secção 3.3.2.1), perdas por cocção (Secção 3.3.2.2) e análise de imagens (Secção 3.3.2.5), seguindo as metodologias já apresentadas.

3.5 Análise Estatística

3.5.1 Primeira Fase: Estudo da reologia da massa de pão com substituição parcial da farinha de trigo de três diferentes tipos por farinha de trigo espelta

Para determinar os efeitos do nível de farinha espelta, do nível de água e da sua interação, efetuou-se uma análise de variância (ANOVA) para cada uma das propriedades de massa e dos tipos de farinha de trigo. Contrastaram-se as médias dos tratamentos usando a prova de Tukey de comparação de médias a um nível de significância de 5%.

3.5.2 Segunda Fase: Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de trigo espelta na qualidade tecnológica do pão e seu tempo de vida

O efeito do nível de substituição para cada atributo de qualidade tecnológica do pão foi avaliado mediante uma ANOVA e uma prova de comparação de Tukey ($\alpha=0.05$). Os dados de tempo de vida do pão foram analisados mediante um ANOVA com os factores nível de farinha espelta, dia e interação. As médias para nível de farinha espelta e dia foram contrastadas mediante a prova de Tukey ($\alpha=0.05$).

3.5.3 Terceira Fase: Efeito dos melhoradores na qualidade tecnológica do pão de trigo T55 substituído com 30% de farinha de trigo espelta

Para cada atributo medido, efetuou-se uma comparação de médias entre o controle negativo e o controle positivo mediante a prova de Tukey ($\alpha=0.05$). Para avaliar os efeitos da glicose oxidase e a fosfolipase em cada um dos atributos de qualidade tecnológica das massas e do pão ajustou-se um ANOVA tendo como factores os níveis destas enzimas, seguido de um teste de comparação de médias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Toda a análise estatística foi realizada usando os pacotes “plyr”, “emmeans”, “ggplot”, “gridExtra”, “lme4” e “lmerTest” implementados no software R versão 3.6.1 (R Core Team, 2017).

4 REOLOGIA DA MASSA DE PÃO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA FARINHA DE TRIGO T55/T65/T150 POR FARINHA DE TRIGO ESPELTA

4.1 Extensibilidade e Resistência do Glúten

De acordo com Collar & Bollaín (2005), avaliar parâmetros como extensibilidade, resistência a extensão proporciona como resposta o entendimento sobre as forças de deformação ocorridas nas massas alimentícias. Dessa maneira fornecem uma ideia realista do impacto que a adição de substituintes, por exemplo, o uso de farinhas alternativas, aditivos e auxiliares tecnológicos, causam na qualidade desses tipos de produtos (Heitmann et al., 2015).

Para avaliar o efeito do tipo de farinha e da capacidade de absorção das mesmas, foram avaliadas 48 formulações que sofriam alterações com relação ao tipo de farinha de trigo utilizada (T55, T65 e T150) e ao nível de água (55,0%, 57,5%, 60,0% e 62,5%) adicionada a mistura. Os resultados mostraram que a um nível de $\alpha=0,05$, a combinação entre o tipo de farinha e a porcentagem de água adicionada tiveram impacto sobre as características reológicas avaliadas.

Em geral, as substituições de farinha espelta feitas em farinha T55 apresentaram maior resistência e extensibilidade que as substituições feitas em farinhas T65 e T150 (Tabela 4.1). Além do mais, observou-se que o nível de substituição por farinha de trigo espelta afetou as propriedades de resistência máxima (R_{max}) e elasticidade (E_{xt}), significativamente independentemente do tipo de farinha (T65, T55, T150). Verificou-se também para todos os tipos de farinhas analisadas (T65, T55 e T150), que o aumento do nível de substituição gerou uma diminuição na resistência a extensão das massas elaborada. Essa diminuição também foi apontada em outros trabalhos que avaliaram as características reológicas de massas elaboradas com substituição da farinha de trigo por diversas farinhas alternativas (Abdelghafor et al., 2013; Ammar et al., 2009; Ma et al., 2019; Mohammed et al., 2012).

Para a farinha de trigo T55, os níveis de 5% e 10% não tiveram diferença mínima significativa entre os tratamentos (Tabela 4.1). Esse resultado foi diferente para as farinhas T65 e T150 que tiveram redução estatisticamente significativa da resistência à extensão entre todos os níveis de substituição (5%, 10%, 15%) em comparação com a amostra controle. De acordo com Rieder et al. (2012), que estudaram o efeito da substituição parcial de farinha de trigo por farinhas de cevada ou aveia na qualidade do pão de trigo composto, a adição dessas farinhas alternativas nas formulações dos pães causou uma diminuição significativa nos parâmetros de R_{max} e E_{xt} para todas as massas elaboradas. Esse resultado foi similar aos obtidos para o parâmetro de resistência à extensão; contudo foram contrários aos resultados verificados para o parâmetro de extensibilidade, uma vez que houve um decréscimo estatisticamente significativo da extensibilidade das massas nos níveis de 5% e 10%, exceto no nível de 15% de substituição em comparação a amostra controle.

Segundo Schmiele et al. (2012), que estudaram o efeito da substituição parcial de farinha de trigo por farelo de trigo e farinha integral sobre as características reológicas das massas e qualidade final dos pães, a adição de farelo de trigo ou farinha de trigo integral elevou a resistência à extensão das massas e diminuiu a extensibilidade. Esses resultados foram parcialmente iguais aos obtidos neste trabalho, pois a adição da farinha de trigo espelta gerou um decréscimo tanto da extensibilidade quanto da resistência a extensão das massas. Esse decréscimo das propriedades reológicas pode ser proveniente da diluição do glúten pelo aumento da quantidade de fibras ou na alteração das proporções de gliadina e glutenina presentes nas formulações com substituição parcial de farinha espelta. Dessa forma a rede proteica formada sofre uma redução da capacidade de resistência e extensibilidade.

Através de uma ampla observação notamos que as amostras apresentaram comportamentos diferentes com relação ao nível de água adicionado, pois as formulações com maior resistência tiveram nível de adição de água menor enquanto as formulações com incorporação de maiores porcentagens de água em geral se mostraram mais extensíveis. À medida que se incrementa a substituição por farinha de espelta nas farinhas de trigo T55 ou T65, as massas produzidas têm menos extensibilidade. No entanto, maiores níveis de farinha espelta na farinha T150 têm uma tendência oposta: a farinha espelta confere à massa mista uma maior extensibilidade, o qual se pode encontrar explicação no menor nível de gluten da farinha T150.

De acordo com Pruska-Kedzior et al. (2008), que compararam as propriedades viscoelásticas do glúten obtido das farinhas de trigo mole e trigo espelta, essa última apresentou uma capacidade de absorção de água menor comparada ao trigo comum. Outros autores referem a capacidade de absorção de água da farinha espelta variando de 53% a 63%, dependendo da variedade (Bonafaccia et al., 2000; Frakolaki et al., 2018; Sobczyk et al., 2017).

Neste estudo, ocorreram interações significativas ($p < 0,001$) entre os fatores quantidade de água adicionada e percentagens de substituição de trigo espelta para os parâmetros de extensibilidade e resistência à extensão (Tabela 4.1). Essas interações podem ser apreciadas na Figura 4.1. Observando-se as tendências, foi visível a diferença no comportamento das massas elaboradas com as diferentes farinhas T65, T55 e T150. Para a farinha T150, a tendência para o parâmetro R_{max} é completamente diferente dos observados para as farinhas T65 e T55. Essa mudança de comportamento pode ser explicada pelo fato da farinha T150 ser uma farinha integral, portanto proveniente da moagem do grão íntegro. Com isso, essa farinha apresenta outros componentes além do endosperma, como fibras. Alguns autores sugerem que as fibras interferem na interação entre as proteínas do glúten, diluem a quantidade dessas proteínas devido à presença do farelo e competem pela água presente nas formulações (Tebben et al., 2018). Neste estudo, observou-se que a adição de 5% e 10% de trigo espelta contribuiu para aumentar significativamente a R_{max} das massas elaboradas, entretanto com a adição de 15% de farinha espelta ocorreu uma diminuição significativa deste parâmetro novamente.

O parâmetro E_{xt} também demonstrou uma interação significativa (i.e., tendências diferentes entre as farinhas). A Figura 4.1 apresenta um comportamento contraditório na tendência de E_{xt} para as farinhas T55 e T65 em comparação com a farinha T150. Além disso, a porcentagem de trigo espelta substituída foi suficiente para elevar a E_{xt} nas massas a um nível de $\alpha = 5\%$ para o teste de Tukey. Para as farinhas T55 e T65 o aumento da substituição causou interação contrária, pois a incorporação do trigo espelta diminuiu a E_{xt} das massas.

4.2 Pegajosidade, Área de Adesão e Coesividade

De acordo com Yildiz et al. (2012), comparando a pegajosidade das massas obtidas a partir de diferentes farinhas, aquelas com maior capacidade de absorção de água eram responsáveis por gerar massas com maior viscosidade. Também observaram que os maiores valores para a

capacidade de absorção de água, conteúdo de proteínas e tempo de descanso foram os fatores responsáveis pelo aumentar da pegajosidade das massas.

Os resultados do ensaio de adesividade SMS/Chen-Honseney (A/DSC) para os diferentes níveis de substituição, adição de água e tipo de farinha são apresentados na Tabela 4.2. Em geral, as substituições de farinha espelta feitas em farinha T65 apresentaram maior pegajosidade de massa que as substituições feitas em farinha T55; enquanto as propriedades de adesividade e coesividade de massa foram maiores nas substituições em farinha T55 do que na farinha T65. As massas feitas de farinha T150 e níveis variáveis de farinha espelta apresentaram sempre os valores mais baixos de pegajosidade, adesividade e coesividade.

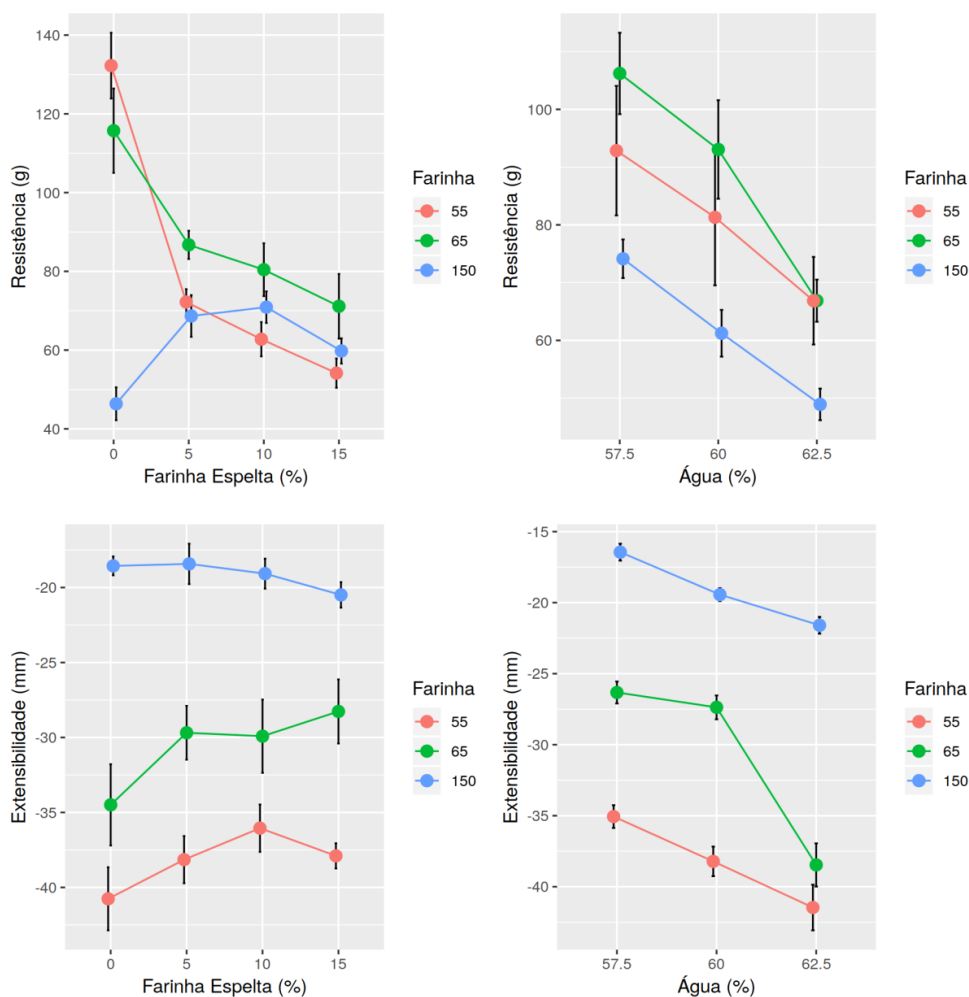


Figura 4.1. Efeito do nível de substituição por farinha de trigo espelta (esquerda) e do nível de adição de água (direita) na resistência à extensão (acima) e na extensibilidade (abaixo) da massa do pão. Dados para o nível de adição de água de 55.0% foram removidos.

Independentemente do tipo de farinha (T55, T65 ou T150), maiores níveis de adição de água renderam massas de maior pegajosidade, adesividade e coesividade. Os valores da pegajosidade das massas preparadas com os diferentes níveis de adição de água variaram entre 65,4 a 24,7 g para os diferentes tipos de farinhas. Estatisticamente ($p < 0,05$), as maiores médias para pegajosidade, área de adesão ou adesividade e coesividade foram encontrados no nível de 62,5% de água em relação aos demais níveis avaliados. Com relação as substituições parciais de farinha de trigo por farinha de trigo espelta, observou-se uma tendência de diminuição da pegajosidade, área de adesão e coesividade com o aumento do nível de substituição para as farinhas T55 e T65, para a farinha T150 notou-se o comportamento inverso aos observados nas outras farinhas testadas. Essa diferença pode basear-se no fato da farinha T150 ser integral, com isso ocorrem alterações na quantidade de glúten e níveis de absorção de água das farinhas, que irão posteriormente influenciar nas propriedades reológicas avaliadas.

Para a farinha T55, a substituição parcial por farinha de trigo espelta nos níveis de 15% e 10% não diferiu estatisticamente da amostra controle com relação a adesividade. Esse comportamento não foi o mesmo da farinha de trigo T65, na qual houve diferenças significativas entre todos os tratamentos avaliados em comparação ao controle. Para a farinha T150 o nível de substituição não interferiu estatisticamente ($p < 0,05$) na pegajosidade da massa.

A adesividade é o resultado da combinação entre forças adesivas que representam a interação entre as massas e as superfícies de mistura, juntamente com as forças coesivas que representam as interações dentro das massas. Alguns parâmetros são responsáveis por gerar massas adesivas, por exemplo, o nível de hidratação, parâmetros utilizados na etapa de amassamento e a formulação (Avramenko et al., 2018).

À medida que a substituição por farinha espelta foi maior, as massas geradas tiveram menor pegajosidade, adesividade e coesividade quando formuladas com farinhas de trigo T55 e T65. Dessa forma, a incorporação da farinha espelta à formulação dos pães causou uma diminuição significativa ($p < 0,05$) das três propriedades de pegajosidade das massas. Cabe ressaltar que a farinha T150 sofreu um efeito contrário com relação à adição de farinha de trigo espelta, pois a adesividade e coesividade das massas tiveram uma tendência a aumentar com maiores níveis de substituição de farinha espelta. Isto coincide com a propriedade de extensibilidade anteriormente discutida, e deve-se ao menor conteúdo de gluten da farinha de trigo 150.

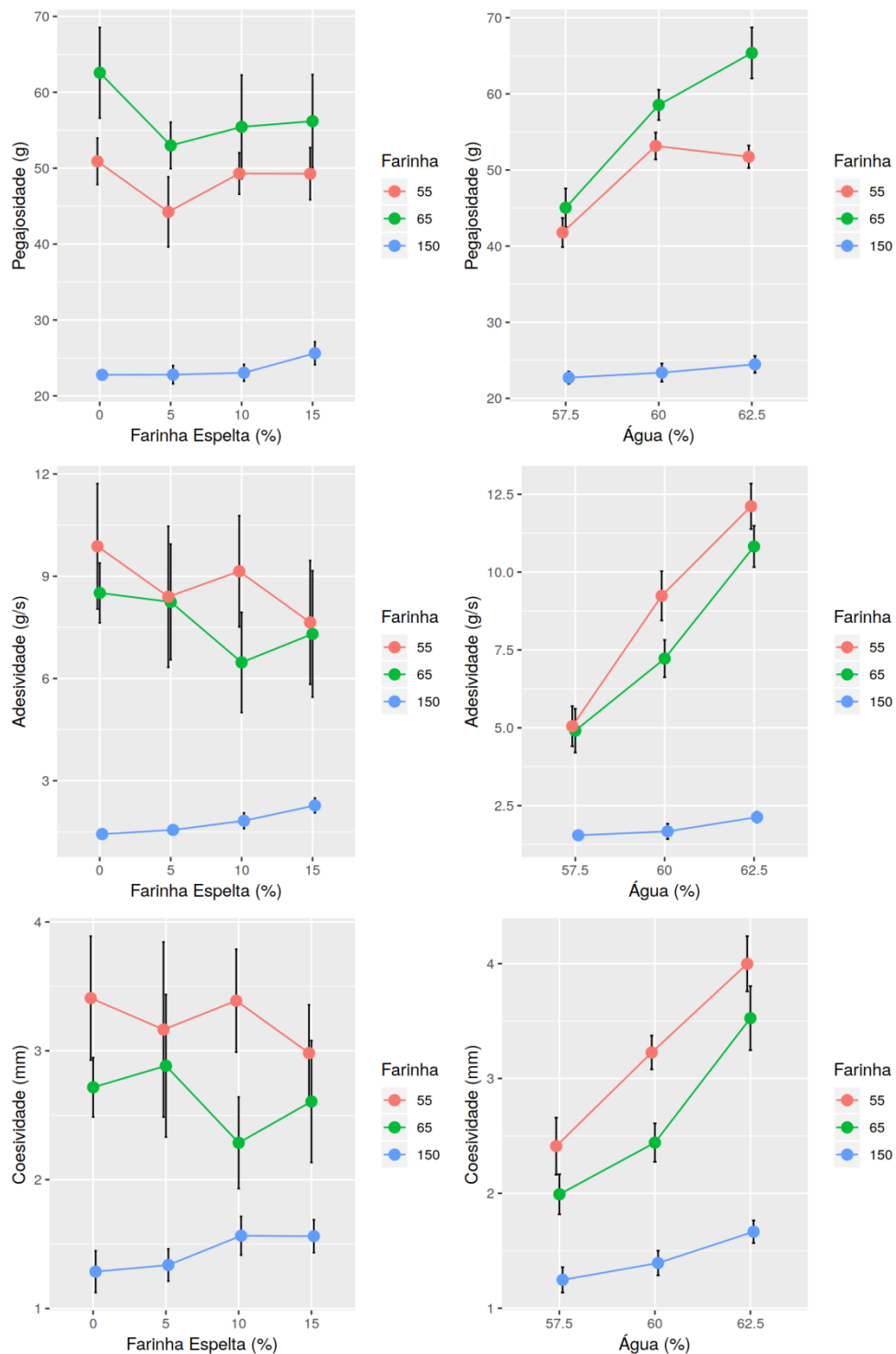


Figura 4.2. Efeito do nível de substituição por farinha de trigo espelta (esquerda) e do nível de adição de água (direita) na pegajosidade (acima), na adesividade (meio) e na coesividade (abaixo) da massa do pão. Dados para o nível de adição de água de 55.0% foram removidos.

Em todos os parâmetros testados ocorreram interações significativas ($p < 0,001$) entre as variáveis avaliadas. Na Figura 4.2, observa-se que as tendências foram opostas para as farinhas T55 e T65 em comparação com a farinha T150. Notou-se que a adição de maiores níveis de farinha espelta aumentou significativamente os valores da área de adesão e coesividade das amostras, entretanto o parâmetro de pegajosidade não foi significativamente afetado pela incorporação da farinha espelta.

Com base em análises preliminares, verificou-se que as massas elaboradas com os níveis de 55% de água apresentaram-se muito secas e pouco extensíveis, com isso os resultados obtidos foram retirados por não serem significativos.

De acordo com Yildiz et al. (2012), a capacidade de absorção de água das farinhas foi responsável por alterar os parâmetros obtidos na análise de adesividade SMS/Chen-Honseney (A/DSC), pois uma relação positiva foi encontrada entre a capacidade de absorção de água das farinhas e os valores obtidos na análise, ou seja, a medida que a capacidade de absorção de água aumentava, ocorria o aumento dos valores da adesividade SMS/Chen-Honseney (A/DSC). Para a farinha T150, a capacidade de absorção de água possui comportamento diferente devido a presença de outros componentes do grão, além do endosperma. A adição da farinha de espelta pode ter alterado a capacidade de absorção de água, essa mudança causou alteração dos parâmetros obtidos.

Para as características reológicas, nota-se que a adição de diferentes níveis de farinha espelta contribuiu para uma tendência de diminuição da extensibilidade e resistência a extensão das massas em relação a amostra controle. Para os três tipos de farinhas analisados T65, T55 e T150, observou-se que a farinha de trigo T55 apresentou os maiores valores de extensibilidade e resistência a extensão dentre os tipos testados. Com relação aos níveis de adição de água, os maiores níveis foram responsáveis por gerar as massas mais extensíveis e menos resistentes. Com base nos resultados obtidos para a análises reológicas, o tipo de farinha 55 foi escolhido como sendo mais adequado para prosseguimento da pesquisa.

Tabela 4.1. Efeito combinado da substituição de farinha de espelta e conteúdo de água adicionada nas propriedades de resistência à extensão e extensibilidade da massa

Tipo de Farinha	Variáveis	Resistência a Extensão (g)			Extensibilidade (mm)		
		Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
T55	Espelta (%)			<.0001			<.0003
	0	157.0 ^a	[153.7 – 161.4]		-37.60 ^a	[(-38.50) – (-36.70)]	
	5	112.0 ^b	[107.7 – 115.9]		-35.80 ^b	[(-36.10) – (-34.30)]	
	10	105.0 ^b	[100.2 – 108.8]		-35.10 ^b	[(-36.50) – (-33.20)]	
	15	80.0 ^c	[75.9 – 84.1]		-36.50 ^{ab}	[(-37.40) – (-35.60)]	
	Água (%)			<.0001			<.0003
	55.0	212.8 ^a	[208.7 – 216.9]		-29.60 ^c	[(-30.50) – (-28.70)]	
	57.5	92.8 ^b	[88.7 – 97.0]		-35.20 ^b	[(-36.10) – (-34.30)]	
	60.0	81.3 ^c	[77.2 – 85.4]		-38.10 ^b	[(-39.0) – (-37.10)]	
	62.5	66.9 ^d	[62.7 – 71.0]		-41.20 ^a	[(-42.10) – (-40.30)]	
	Interação			<.0001			<.0003
	T65	Espelta (%)			<.0001		
0		122.3 ^a	[120.2 – 124.3]		-31.60 ^a	[(-32.30) – (-31.00)]	
5		105.3 ^b	[103.3 – 107.3]		-29.70 ^b	[(-30.40) – (-29.10)]	
10		93.1 ^c	[91.1 – 95.0]		-29.20 ^b	[(-29.80) – (-28.60)]	
15		66.9 ^d	[64.9 – 68.8]		-27.10 ^c	[(-27.70) – (-26.50)]	
Água (%)				<.0001			<.0001
55.0		113.0 ^a	[110.7 – 115.3]		-25.20 ^c	[(-25.80) – (-24.60)]	
57.5		105.3 ^b	[103.2 – 107.3]		-26.30 ^{bc}	[(-26.90) – (-25.60)]	
60.0		93.1 ^c	[91.0 – 95.1]		-27.40 ^b	[(-28.00) – (-26.70)]	
62.5		66.9 ^d	[64.8 – 68.9]		-38.80 ^a	[(-39.50) – (-38.20)]	
Interação				<.0001			<.0001
T150		Espelta (%)			<.0001		
	0	62.3 ^c	[61.0 – 63.5]		-17.50 ^a	[(-17.90) – (-17.10)]	
	5	72.9 ^a	[71.6 – 74.2]		-16.90 ^a	[(-17.30) – (-16.50)]	
	10	67.7 ^b	[66.5 – 69.0]		-19.50 ^b	[(-19.90) – (-19.10)]	
	15	57.2 ^d	[55.9 – 58.4]		-21.30 ^c	[(-21.70) – (-21.0)]	
	Água (%)			<.0001			<.0001
	55.0	75.8 ^a	[74.6 – 77.1]		-17.70 ^a	[(-18.10) – (-17.30)]	
	57.5	74.1 ^a	[72.9 – 75.4]		-16.40 ^b	[(-16.80) – (-16.0)]	
	60.0	61.2 ^b	[60.0 – 62.5]		-19.50 ^c	[(-19.90) – (-19.10)]	
	62.5	48.9 ^c	[47.7 – 50.2]		-21.70 ^d	[(-22.10) – (-21.30)]	
	Interação			<.0001			<.0001

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 4.2. Efeito combinado da substituição de farinha de espelta e conteúdo de água adicionada nas propriedades de adesividade (g), área de adesão (g.s) e coesividade (mm) da massa

Tipo de Farinha	Variáveis	Pegajosidade (g)			Adesividade (g.s)			Coesividade (mm)			
		Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)	
T55	Espelta (%)			<.001			<.0001			>.01	
	0	49.7 ^a	[48.4 – 50.9]		8.79 ^a	[8.36 – 9.22]		3.23 ^a	[3.07 – 3.39]		
	5	44.2 ^b	[43.0 – 45.5]		7.45 ^b	[7.02 – 7.88]		2.94 ^a	[2.77 – 3.12]		
	10	46.9 ^{ab}	[45.6 – 48.1]		7.68 ^b	[7.24 – 8.12]		2.96 ^a	[2.79 – 3.13]		
	15	47.1 ^a	[45.9 – 48.3]		6.78 ^c	[6.33 – 7.23]		2.60 ^b	[2.43 – 2.76]		
	Água (%)			<.0001			<.0003			<.0001	
	55.0	41.0 ^b	[39.8 – 42.2]		4.32 ^c	[3.89 – 4.75]		1.93 ^d	[1.77 – 2.09]		
	57.5	41.8 ^b	[40.5 – 43.0]		5.13 ^c	[4.69 – 5.57]		2.51 ^c	[2.34 – 2.68]		
	60.0	53.1 ^a	[51.9 – 54.4]		9.21 ^b	[8.77 – 9.65]		3.27 ^b	[3.11 – 3.43]		
	62.5	52.0 ^a	[50.7 – 53.2]		12.04 ^a	[11.59 – 12.48]		4.01 ^a	[3.84 – 4.19]		
	Interação			<.008			<.03			.0001	
	T65	Espelta (%)			<.0001			<.0001			<.0001
		0	57.7 ^a	[56.4 – 59.0]		7.12 ^a	[6.89 – 7.35]		2.34 ^a	[2.25 – 2.44]	
5		51.7 ^b	[50.4 – 53.0]		7.00 ^a	[4.78 – 7.23]		2.48 ^a	[2.39 – 2.58]		
10		51.4 ^b	[50.1 – 52.7]		5.68 ^b	[5.45 – 5.91]		2.09 ^b	[2.00 – 2.19]		
15		49.7 ^b	[48.3 – 51.0]		6.34 ^c	[6.12 – 6.57]		2.43 ^a	[2.34 – 2.53]		
Água (%)				<.0001			<.0001			<.0001	
55.0		42.3 ^c	[41.0 – 43.6]		3.12 ^d	[2.89 – 3.35]		1.42 ^d	[1.32 – 1.51]		
57.5		44.1 ^c	[42.8 – 45.4]		4.91 ^c	[4.68 – 5.13]		1.98 ^c	[1.88 – 2.07]		
60.0		58.7 ^b	[57.4 – 60.0]		7.31 ^b	[7.09 – 7.54]		2.44 ^b	[2.35 – 2.54]		
62.5		65.4 ^a	[64.1 – 66.7]		10.18 ^a	[10.58 – 11.04]		3.52 ^a	[3.42 – 3.61]		
Interação				<.0001			<.0001			<.0001	
T150		Espelta (%)			<.0001			<.0001			<.0001
		0	22.6 ^a	[21.7 – 23.4]		1.25 ^c	[1.18 – 1.32]		1.15 ^b	[1.09 – 1.21]	
	5	21.4 ^a	[20.5 – 22.2]		1.30 ^{bc}	[1.24 – 1.37]		1.11 ^b	[1.06 – 1.17]		
	10	21.6 ^a	[20.7 – 22.4]		1.47 ^b	[1.40 – 1.54]		1.32 ^a	[1.26 – 1.38]		
	15	23.8 ^a	[23.0 – 24.7]		1.82 ^a	[1.75 – 1.89]		1.33 ^a	[1.28 – 1.39]		
	Água (%)			.0003			<.0001			.0001	
	55.0	18.5 ^c	[17.7 – 19.3]		0.51 ^d	[0.44 – 0.58]		0.54 ^d	[0.48 – 0.60]		
	57.5	22.7 ^b	[21.9 – 23.6]		1.52 ^c	[1.45 – 1.59]		1.27 ^c	[1.21 – 1.33]		
	60.0	23.5 ^{ab}	[22.6 – 24.3]		1.70 ^b	[1.63 – 1.77]		1.43 ^b	[1.37 – 1.48]		
	62.5	24.7 ^a	[23.8 – 25.5]		2.11 ^a	[2.04 – 1.18]		1.68 ^a	[1.62 – 1.74]		
	Interação			.002			<.0001			<.0001	

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05)

5 EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO POR FARINHA DE TRIGO ESPELTA (0, 10, 20, 30, 100%) NOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE TECNOLÓGICA E TEMPO DE VIDA DO PÃO

5.1 Avaliação das propriedades físico-químicas dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta

De acordo com Korczyk-Szabó & Lacko-Bartosová (2012), a avaliação da qualidade final dos pães possibilita através de dados objetivos e concretos o entendimento dos efeitos que a qualidade do trigo, demais ingredientes e parâmetros de processamento tem sobre o produto. Devido aos resultados obtidos pelas análises reológicas efetuadas na primeira etapa do trabalho (Secção 4), onde a substituição com farinha espelta diminuiu a extensibilidade e resistência das massas produzidas em relação a amostra controle, o resultado esperado para a segunda etapa era que a substituição com maiores proporções de farinha espelta alterasse o volume (Figura 5.1) bem como o perfil de textura e distribuição alveolar dos pães elaborados.

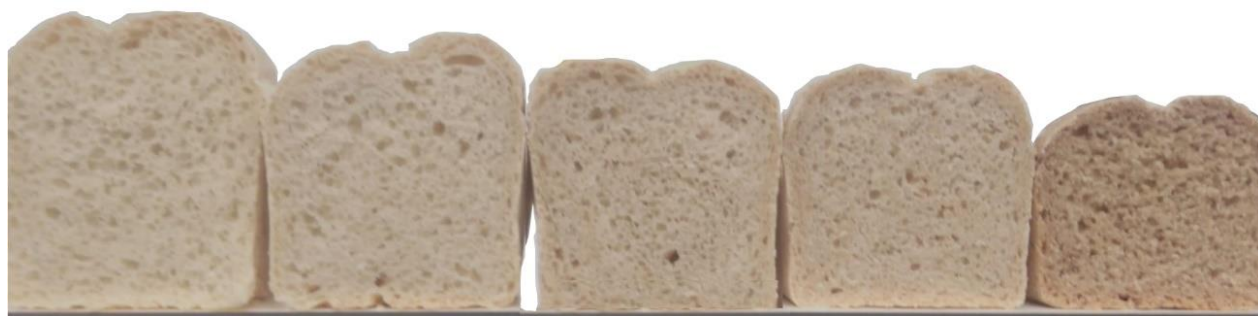


Figura 5.1. Corte transversal dos pães compostos por farinha de trigo e diferentes níveis de farinha de trigo Espelta (0%, 10%, 20%, 30% e 100%) respectivamente.

Os resultados referentes às características gravimétricas, de atividade de água, de textura do miolo e de distribuição alveolar por análise de imagens dos pães compostos por 0%, 10%, 20%, 30% e 100% de farinha de trigo espelta são compilados nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

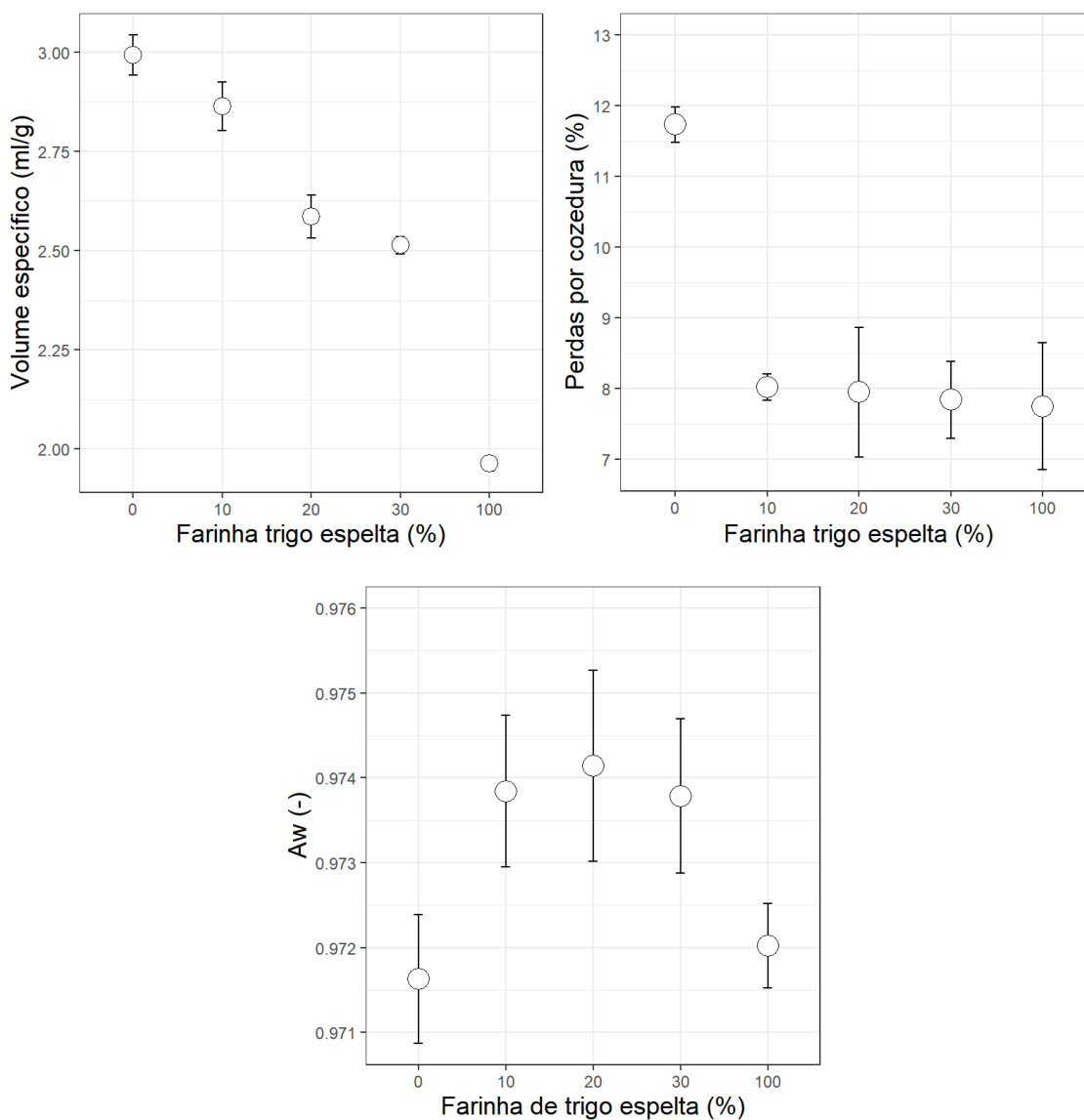


Figura 5.2. Propriedades físico-químicas dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta

Uma das características mais importantes para a aceitabilidade do pão por parte do consumidor é o volume específico (Stojceska & Butler, 2012), por esta razão essa análise está presente em estudos que avaliam produtos de panificação. A substituição parcial da farinha de

trigo espelta nos pães reduziu significativamente ($p < 0,05$) o volume específico dos pães em comparação com a amostra controle. No gráfico apresentado na Figura 5.2, observa-se a tendência de decaimento do volume específico a medida em que se aumenta o nível de farinha espelta na formulação.

Kohajdova & Karovicova (2007), avaliando o efeito da incorporação de farinha espelta nas propriedades da massa e na qualidade do pão de trigo composto, encontraram uma redução significativa do volume específico gerada pelo aumento da proporção de farinha espelta na mistura das duas farinhas. O pão com 50% de farinha de espelta obteve as menores médias de volume específico (Kohajdova & Karovicova, 2007). Esse resultado foi validado devido ao fato da formulação com 100% de farinha de espelta ter obtido a pior média (1,960 ml/g) desse parâmetro (Tabela 5.1). Esse resultado demonstra que existe uma tendência de decrescimento do volume específico com o aumento do nível de substituição de farinha de espelta na formulação dos pães.

De acordo com Bojňanská et al. (2016), o valor do volume específico do pão elaborado com a farinha T650 foi de 2,267 ml/g para o pão com 30% de farinha espelta. Esse valor é inferior ao obtido neste experimento, no qual o volume específico encontrado foi de 2,51 ml/g para os pães elaborados com 30% de farinha de espelta e 70% de farinha de trigo T55. No entanto, os nossos resultados para o volume específico estão de acordo com os encontrados por Frakolaki et al. (2018), que registaram valores de 1,86 ml/g e 2,99 ml/g para o pão elaborado apenas com farinha espelta e com farinha de trigo, respectivamente. Esses valores são ligeiramente inferiores aos referidos na Tabela 5.1.

Kurek et al. (2017) estimaram uma redução em 66,67% do volume específico dos pães produzidos com trigo espelta em comparação com a farinha de trigo comum. Nesse estudo foi encontrada uma percentagem de redução do volume específico de 65,55% do pão produzido somente com trigo espelta em comparação com o pão elaborado apenas com farinha de trigo tipo 55, portanto os valores encontram-se bem próximos.

A justificativa para a diminuição do volume específico das amostras com incorporação da farinha espelta pode residir no fato da menor capacidade de expansão da massa de espelta, como foi exposto no Capítulo 4. A menor capacidade de extensão da massa com farinha espelta está atrelada ao glúten mais fraco em comparação à farinha de trigo convencional, e com isso a estrutura da rede formada é menos elástica e resistente. A fragilidade da estrutura do glúten

resulta em uma menor capacidade de retenção do CO₂ produzido na etapa de fermentação e acarreta um volume final menor. Alguns fatores adicionais também podem causar a diminuição da capacidade de extensão, por exemplo, o maior conteúdo de fibras (Frakolaki et al., 2018).

Noort et al. (2010) evidenciaram que a adição de diferentes níveis de farelo de trigo, que possuem maior quantidade de fibras em sua composição, causou uma diminuição significativa do volume específico das amostras; neste estudo os autores mencionaram que essa redução é causada devido ao efeito adverso das fibras na formação do glúten. Quando as fibras presentes no farelo de trigo são adicionadas ocorrem interações físicas ou químicas com a rede do glúten, o que gera prejuízos a sua formação.

Para Korczyk-Szabó & Lacko-Bartosová (2012), os três parâmetros que influenciam as perdas por cozedura são: a quantidade inicial de massa colocada na forma antes da cozedura, a capacidade de absorção de água e a qualidade reológica das farinhas utilizadas. Na Figura 5.2, pode-se observar como ocorreu o comportamento das perdas por cozedura à medida que ocorria o aumento do nível de substituição por farinha de trigo espelta.

Neste estudo, a amostra controle obteve o maior valor de perda devido ao processo de cozedura (11,73%) e diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) de todos os níveis de substituição (10%, 20%, 30%, 100%) (Tabela 5.1). Contudo, em comparação ao controle com farinha espelta, não houve diferença mínima significativa entre as amostras parcialmente substituídas. A incorporação de farinha de espelta pode ter afetado a capacidade de absorção de água das farinhas, devido ao seu maior conteúdo de fibras, além disso, a forma como amido irá se gelatinizar

Para Frakolaki et al. (2018), que caracterizaram quimicamente a farinha espelta, avaliando a sua utilização como ingrediente na indústria da panificação, observaram que a farinha de trigo obteve um valor de perda por cozimento superior comparado ao trigo espelta, corroborando assim o resultado deste trabalho, cuja farinha de trigo T55 obteve uma perda de 11,73% enquanto a amostra que possuía apenas farinha de espelta obteve o valor de 7,75%.

A atividade de água (a_w) refere-se ao estado de energia da água em um sistema, esse parâmetro é frequentemente associado com água disponível para reações químicas e enzimáticas e crescimento de microrganismos que podem causar alterações indesejadas nos produtos (Cauvain & Young, 2008). A análise da a_w dos pães foi realizada em triplicata com as três fatias centrais dos pães e os resultados foram apresentados na Tabela 5.1. Verificou-se que a

substituição parcial com farinha espelta alterou o comportamento da atividade de água ($p < 0,05$) em comparação com os pães considerados controles (0% e 100% espelta). Esses resultados demonstram que a adição de farinha espelta alterou a capacidade de absorção de água da mistura entre as duas farinhas nos diferentes níveis testados.

Segundo Sehn (2015), o teor de umidade nas amostras pode ser influenciado por diversos fatores, por exemplo, a percentagem de adição de água na formulação, os binômios de tempo e temperatura utilizados na etapa de cocção, as condições de armazenamento e embalagem dos pães.

Os resultados de a_w para os níveis de 0% e 100% não tiveram diferença mínima significativa entre si (0,9716 versus 0,9720), porém foram significativamente menores que os valores obtidos para os três níveis de substituição (10%, 20% e 30%). Importa salientar que para as formulações 0% e 100% foram utilizados dados de farinografias obtidas de outros trabalhos, enquanto para os diferentes níveis de substituição foi realizado um cálculo de balanço de massa para estimar a quantidade de água a ser adicionada a mistura. Essa estimativa da adição de água pode ter contribuído para a diferença nos valores de atividade de água das formulações com 10%, 20% e 30% de substituição. Frakolaki et al. (2018) verificaram para as duas amostras controle (pães elaborados com farinha de trigo e farinha de trigo espelta) valores de a_w de 0,9539 e 0,9592, sendo que estes valores são similares aos reportados neste estudo.

5.2 Avaliação da textura de miolo dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta

Os valores médios dos parâmetros da análise do perfil de textura do miolo, realizada após 24 horas da etapa de cozedura, mostram-se na Tabela 5.2. Pode-se apreciar que os valores para os parâmetros de dureza, resiliência, elasticidade, coesividade e mastigabilidade foram influenciados significativamente ($p < 0,05$) pela substituição parcial com farinha espelta.

Graficamente, o parâmetro de dureza é definido como sendo o pico ocorrido durante a realização da primeira compressão. Esse parâmetro possui forte relação com a percepção do consumidor sobre o frescor do produto, portanto tem grande importância para a indústria de panificação devido sua influência sobre a escolha dos consumidores (Kurek et al., 2017; Lauková et al., 2017; Yamsaengsung et al., 2010).

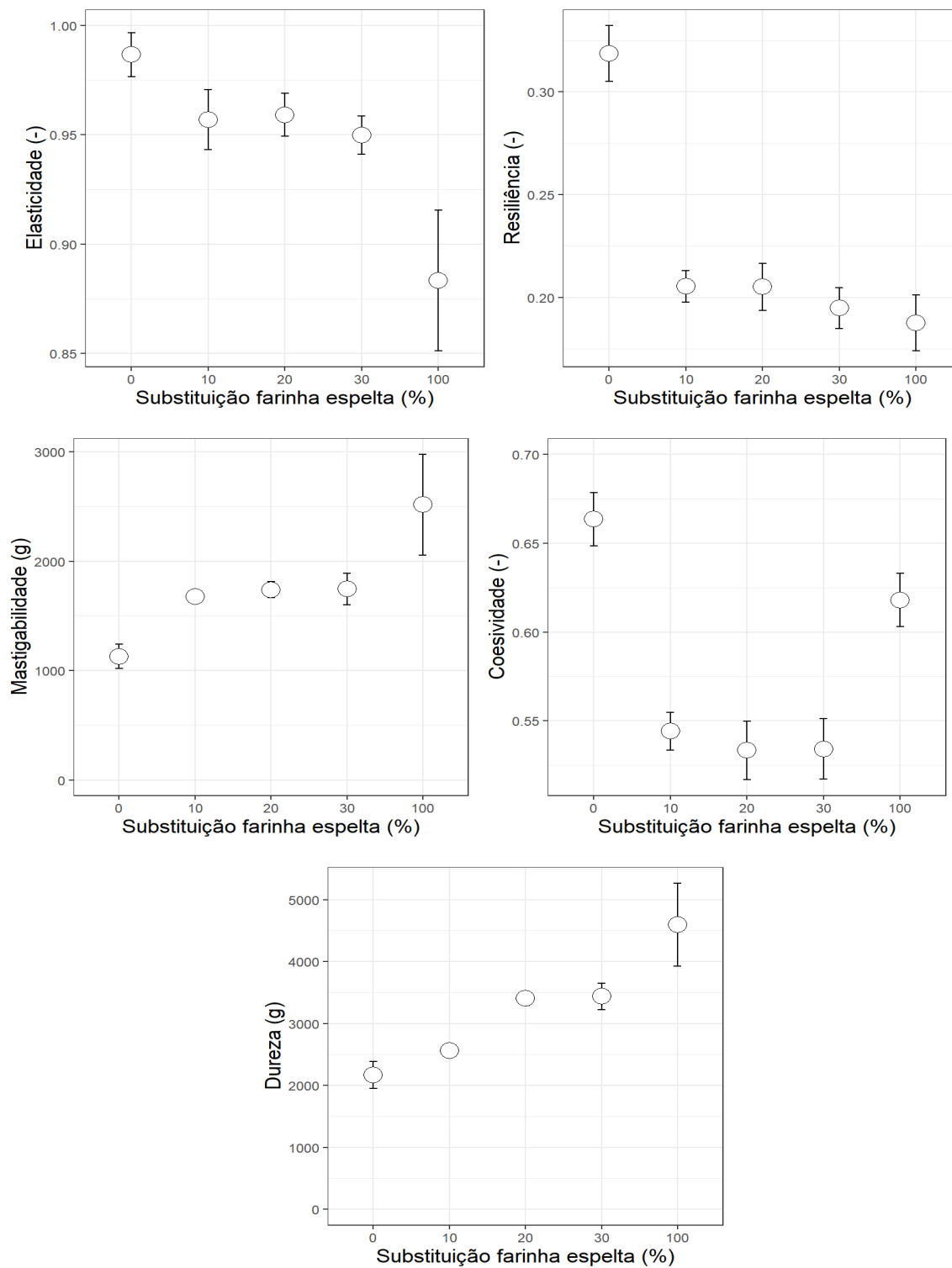


Figura 5.3. Efeito da substituição parcial de farinha de espelta nas propriedades da análise do perfil de textura (TPA).

Frakolaki et al. (2018), caracterizaram as farinhas de trigo e espelta e compararam seus potenciais para panificação. Nos pães elaborados com trigo espelta, eles verificaram um aumento significativo do parâmetro de dureza em comparação ao trigo comum.

O aumento da dureza atribui-se à maior concentração de fibras e ao glúten mais fraco presentes na farinha espelta. Como era esperado, a adição de farinha de espelta aumentou gradativamente a força necessária para realizar a compressão de 50% do miolo do pão (Figura 5.3). O pão elaborado com 100% de farinha espelta gerou um pão com maior dureza (4593 g) em relação as amostras com substituição parcial e a amostra controle. Somente a formulação com 10% de substituição parcial (2169 g) não apresentou um aumento significativo da dureza em comparação com a amostra controle (2563 g) (Tabela 5.2). Os pães com 20 e 30% de substituição apresentaram maiores níveis de dureza (3404 e 3437 g, respectivamente), embora não atingiram diferença estatística entre eles.

Para avaliar o miolo do pão foam utilizados dois parâmetros similares, que são: a elasticidade e a resiliência. Ambas medidas são responsáveis por avaliar as forças envolvidas na recuperação do produto após sofrer uma deformação. Uma diminuição desses dois parâmetros significa uma redução da elasticidade do pão (Carocho et al., 2020; Onyango et al., 2011).

Essas medidas possibilitam a avaliação da capacidade de recuperação do miolo após a compressão (Boz & Karaoğlu, 2013; Carson & Sun, 2001). A menor concentração de glúten na farinha espelta é o motivo da diminuição da elasticidade e resiliência nas amostras (Figura 5.3), pois segundo Feili et al. (2013), a menor concentração dessas proteínas impacta na capacidade de retenção dos gases da fermentação e com isso gera um pão com menor elasticidade.

Analisando os dados da Tabela 5.2, verificou-se que o pão controle com farinha de trigo obteve as melhores médias para resiliência (0,319) e elasticidade (0,986) entre todos os pães testados (0,188 – 0,205 e 0,885 a 0,958, respectivamente). A resiliência e elasticidade foram significativamente reduzidas pela adição da farinha espelta ($p < 0,05$), portanto os pães elaborados com esta farinha podem ser considerados menos elásticos em comparação aos pães de trigo comum. Cabe ressaltar que, mais uma vez, os níveis de substituição de 10%, 20% e 30% não apresentaram diferenças significativas em resiliência nem em elasticidade de miolo pão. Os pães de 100% farinha espelta tiveram a menor resiliência (0,885) e elasticidade (0,188) de miolo, porém somente para o parâmetro de resiliência, o controle espelta diferiu significativamente ($p < 0,05$) das substituições parciais (10, 20 e 30%).

A coesividade é uma das características associada a mastigação, que é responsável por avaliar a resistência (forças internas) do miolo do pão. A coesão compara os dois comportamentos (deformação) de resistência da amostra durante as etapas de compressão (Boz & Karaoğlu, 2013). Assim como com as propriedades de elasticidade e resiliência, a coesividade das amostras (70:30; 80:20; 90:10) decresceu significativamente com a substituição por farinha espelta, embora os pães parcialmente substituídos (10, 20, 30%) não apresentaram diferenças em coesividade ($p > 0,05$). O tratamento com 100% farinha de trigo espelta produziu miolo de pão de maior coesividade (0,618) em comparação aos tratamentos parcialmente substituídos (0,533-0,544).

De acordo com Ouazib et al. (2016), que trabalharam com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de grão-de-bico, todos os parâmetros de reologia de miolo foram afetados pelo aumento da incorporação da farinha de grão-de-bico nos pães. A dureza e mastigabilidade aumentaram com o nível de substituição enquanto a elasticidade e resiliência diminuíram. Esse último resultado implica que é preciso um maior tempo para que o pão se recupere após a compressão.

Para alimentos sólidos, como o pão, uma das medidas normalmente reportada é a mastigabilidade. Essa propriedade refere-se à medida de energia necessária para mastigar os alimentos. Dentre todos os parâmetros analisados, a mastigabilidade é uma das propriedades que possui maior dificuldade de análise instrumental com precisão. Essa ação envolve diversos processos, como: compressão, cisalhamento, perfuração, moagem, ruptura e corte (Chandra & Shamasundar, 2015). Os resultados apontaram que o pão elaborado apenas com trigo espelta obteve a maior média ($p < 0,05$) dentre todos os pães testados (2332 na Tabela 5.2), portanto, são mais difíceis de mastigar. No entanto, as amostras com 10%, 20% e 30% de substituição não diferiram estatisticamente entre si em termos de mastigabilidade (1541 – 1678 g), mas estiveram significativamente por cima das amostras sem farinha espelta (930 g) (Figura 5.3).

5.3 Avaliação da estrutura alveolar do miolo dos pães parcialmente substituídos com farinha de trigo espelta

De acordo com Farrera-Rebollo et al. (2012) e Rathnayake et al. (2018), a análise de imagens de fatias de pão tem sido uma ferramenta amplamente utilizada para uma avaliação quantitativa

das características de miolo dos pães. A análise de imagem possibilita a quantificação de diversos parâmetros, como exemplo, área média dos alvéolos, a uniformidade alveolar, circularidade, o número de alvéolos, entre outros (Figura 5.4).

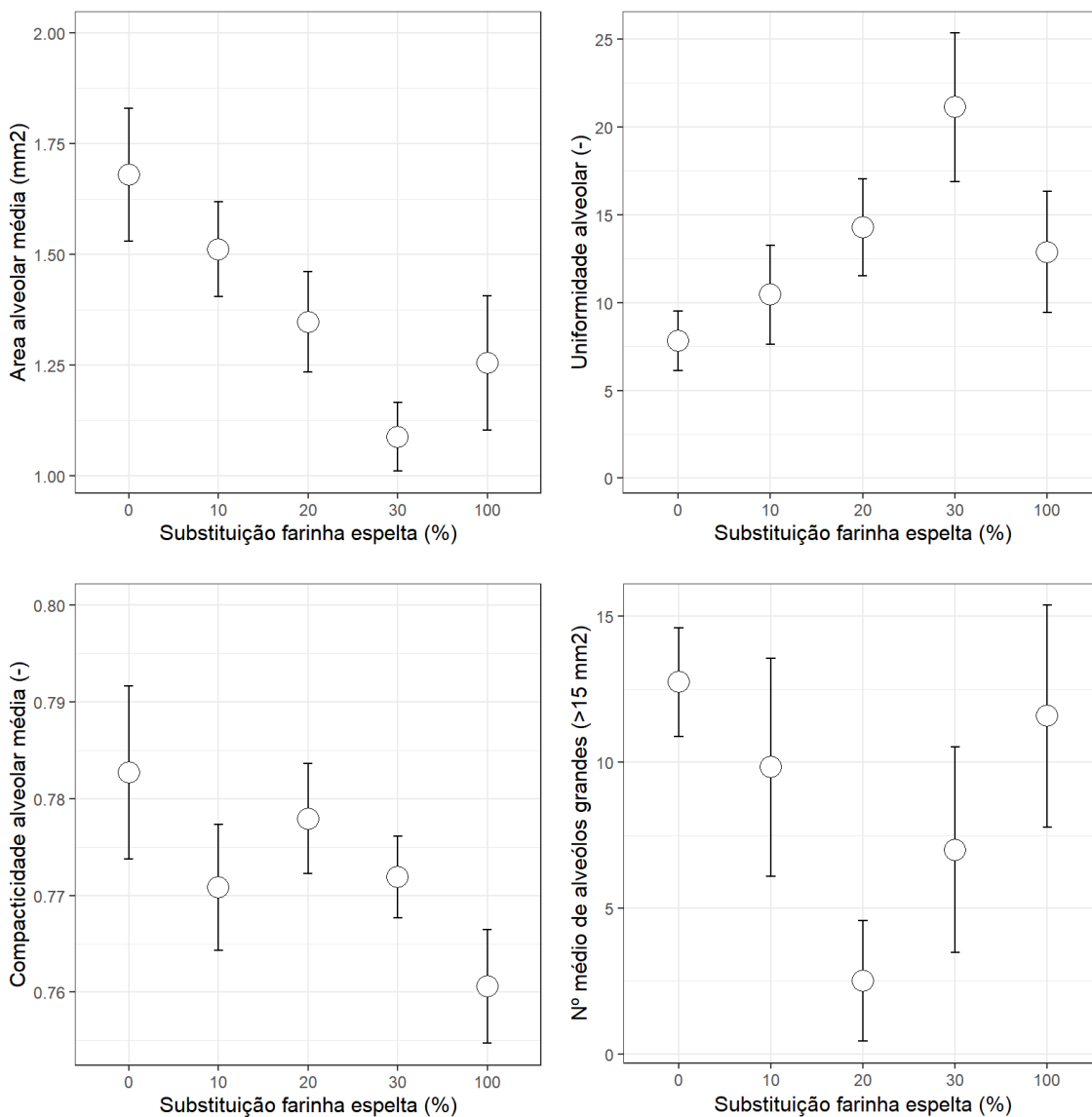


Figura 5.4. Efeito da adição de farinha de espelta nos parâmetros de avaliação da estrutura alveolar do miolo dos pães: Área alveolar média (canto superior esquerdo), uniformidade alveolar (canto superior direito), circularidade alveolar média (canto inferior esquerdo) e número médio de alvéolos grandes por 15 cm² (canto inferior direito).

Os valores para a área média dos alvéolos, uniformidade média dos alvéolos, circularidade média e número de alvéolos grandes por 15 cm² para pães em diferentes níveis de substituição de farinha espelta são mostrados na Tabela 5.3, enquanto os gráficos da Figura 5.4 têm a finalidade de evidenciar as tendências para os descritores estudados. Todos os atributos da estrutura alveolar do miolo foram influenciados significativamente, ao nível de 5% de significância, pelo nível de substituição da farinha de trigo por farinha de trigo espelta.

A Figura 5.5 mostra imagens digitais da estrutura alveolar de miolo dos pães com substituição parcial por farinha de espelta. Algumas diferenças e semelhanças na textural visual das estruturas de miolo das cinco formulações podem ser encontradas. Por exemplo, em relação à circularidade alveolar, para as formulações com 10%, 20% e 30% é possível notar que existe semelhança no formato dos alvéolos (Figura 5.5, sendo essa característica comprovada através da análise estatística ($p > 0,05$) com médias de 0,771, 0,778 e 0,772, respectivamente.

A formulação elaborada apenas com farinha de trigo (0%) produziu alvéolos de um formato mais próximo de um círculo (média 0,783 – mais próximo de 1), enquanto a formulação elaborada apenas com farinha espelta (100%) possuiu alvéolos mais alongados (média 0,761). Ao fazer uma observação visual da Figura 5.5, é possível verificar esse resultado obtido na análise estatística. A incorporação de farinha espelta diminuiu, ao nível de 5% de significância, a circularidade dos alvéolos em relação a amostra controle.

Bigne et al. (2018), ao estudarem a aplicação de farinha de alfarroba na produção de um pão do “tipo panetone”, indicaram que a menor capacidade de expansão na etapa de fermentação das massas elaboradas com farinha de alfarroba foi um dos fatores responsáveis por ocasionar a deformação dos alvéolos. Nesse estudo, os maiores níveis de substituição da farinha de trigo por farinha de espelta foram responsáveis por diminuir a circularidade dos alvéolos bem como a área média alveolar.

A adição de diferentes concentrações de farinha espelta também afetou significativamente a uniformidade alveolar das amostras. A formulação com 100% de farinha de espelta gerou pães com maior ($p < 0,05$) uniformidade alveolar (12,87) em relação ao pão elaborado apenas com farinha de trigo (7,82). Maiores níveis de substituição por farinha espelta melhoraram a uniformidade dos alvéolos (desde 10,45 para 10% espelta até 21,26 para 30% espelta).

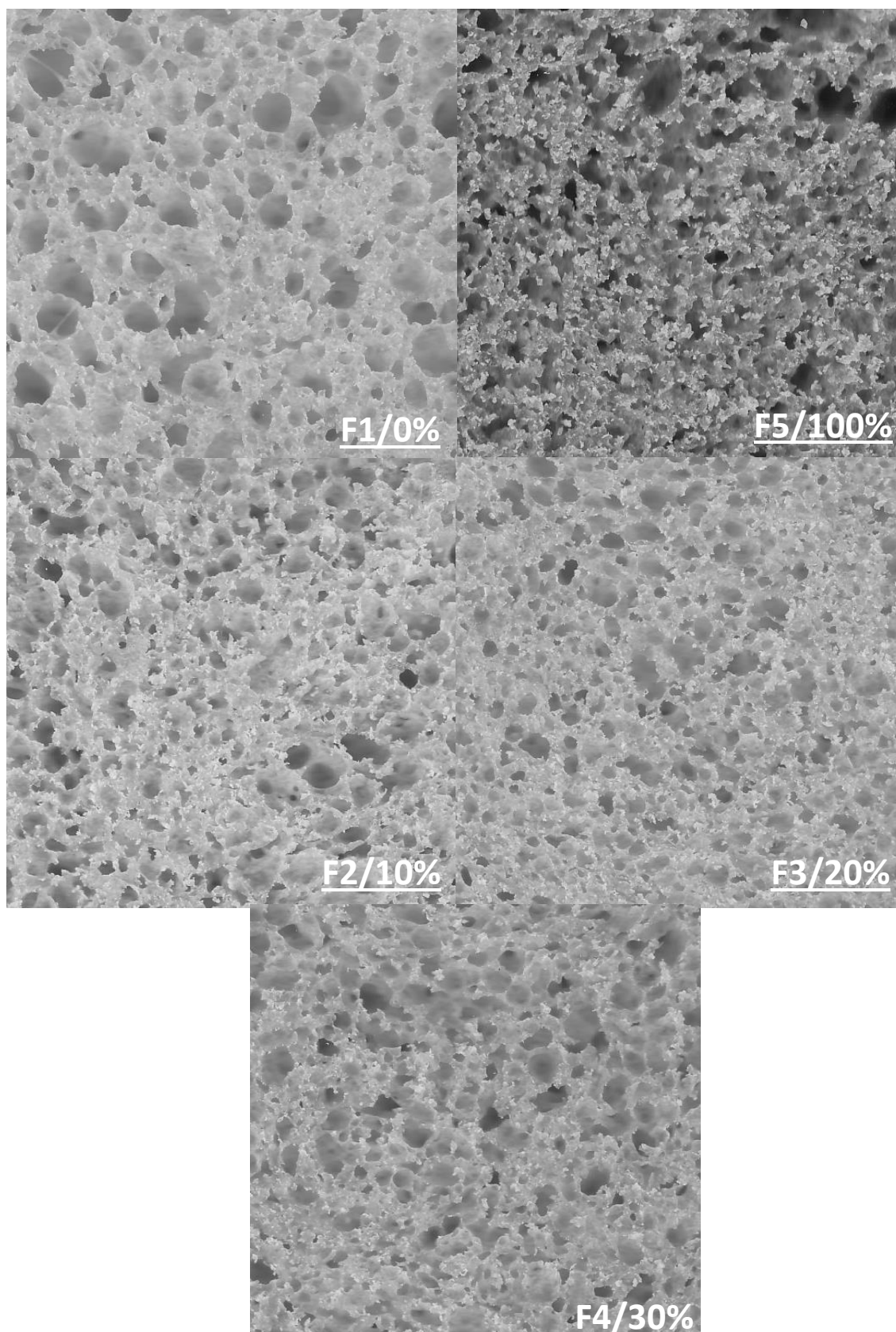


Figura 5.5. Estrutura alveolar de miolo de pães produzidos com substituição parcial de farinha Espelta em diferentes níveis. Figuras em escala 3,8 cm x 3,8 cm

Entretanto, é possível que maiores concentrações possam tender a diminuir essa uniformidade, uma vez que para a formulação com 100% de farinha espelta a uniformidade média diminuiu em relação a formulação com 30% (Figura 5.4). Isto sugere que a substituição com farinha de trigo espelta, pelo menos até um nível de 30%, pode produzir miolos de tamanho alveolar mais homogêneo que os pães formulados somente com farinha de trigo tipo 55.

A maior área alveolar foi obtida na amostra controle (1,680 mm²), no entanto é importante salientar que as substituições com 10% (1,510 mm²) e 20% (1,350 mm²) não diferiram estaticamente ao nível de 5% de significância da amostra controle (Tabela 5.3). Os pães formulados com 30% de farinha de trigo espelta apresentaram o menor tamanho alveolar (1,090 mm²), o qual coincide com a maior uniformidade ou homogeneidade de tamanho alveolar que esta formulação também apresentou, como já foi antes referido.

Estas diferenças em uniformidade alveolar ocorreram devido ao fato de o aumento do nível de substituição interferir na capacidade de expansão das massas. Foi observado também que à medida que área média alveolar diminuiu com a maior substituição parcial com farinha espelta, a uniformidade média aumentou (Figura 5.4).

Com relação ao número de alvéolos grandes (Figura 5.5), podemos observar que no nível de substituição de 20%, não surgiram tantos alvéolos grandes (2,50) em comparação com as demais formulações 10% e 30% (7,00 – 12,75) respectivamente (Tabela 5.3). De fato, a única formulação que diferiu significativamente das outras nesta característica de miolo foi o nível de substituição de 20% (Figura 5.4). Esse resultado por ser explorado na otimização da formulação, tendo como base informação sobre a preferência dos consumidores: pães com alvéolos maiores e de menor uniformidade versus outros com alvéolos menores e de maior uniformidade Gonzales-Barron & Butler (2008).

5.4 Tempo de vida de prateleira dos pães substituídos com farinha espelta

Durante o processo de estocagem, os pães sofrem um processo denominado envelhecimento. O pão permanece “fresco” apenas por algumas horas após a etapa de cozedura, pois uma série de mudanças químicas e/ou físicas gradativas são responsáveis por conduzir uma progressiva perda de umidade, suavidade e elasticidade do miolo. Essas mudanças na etapa de armazenamento levam a perda de características sensoriais essenciais ao “frescor do pão” (Filipčev et al., 2017),

e por essa razão analisou-se o efeito da substituição com farinha de trigo espelta nas propriedades de dureza, resiliência, coesividade e atividade de água da migalha do pão de mistura durante estocagem.

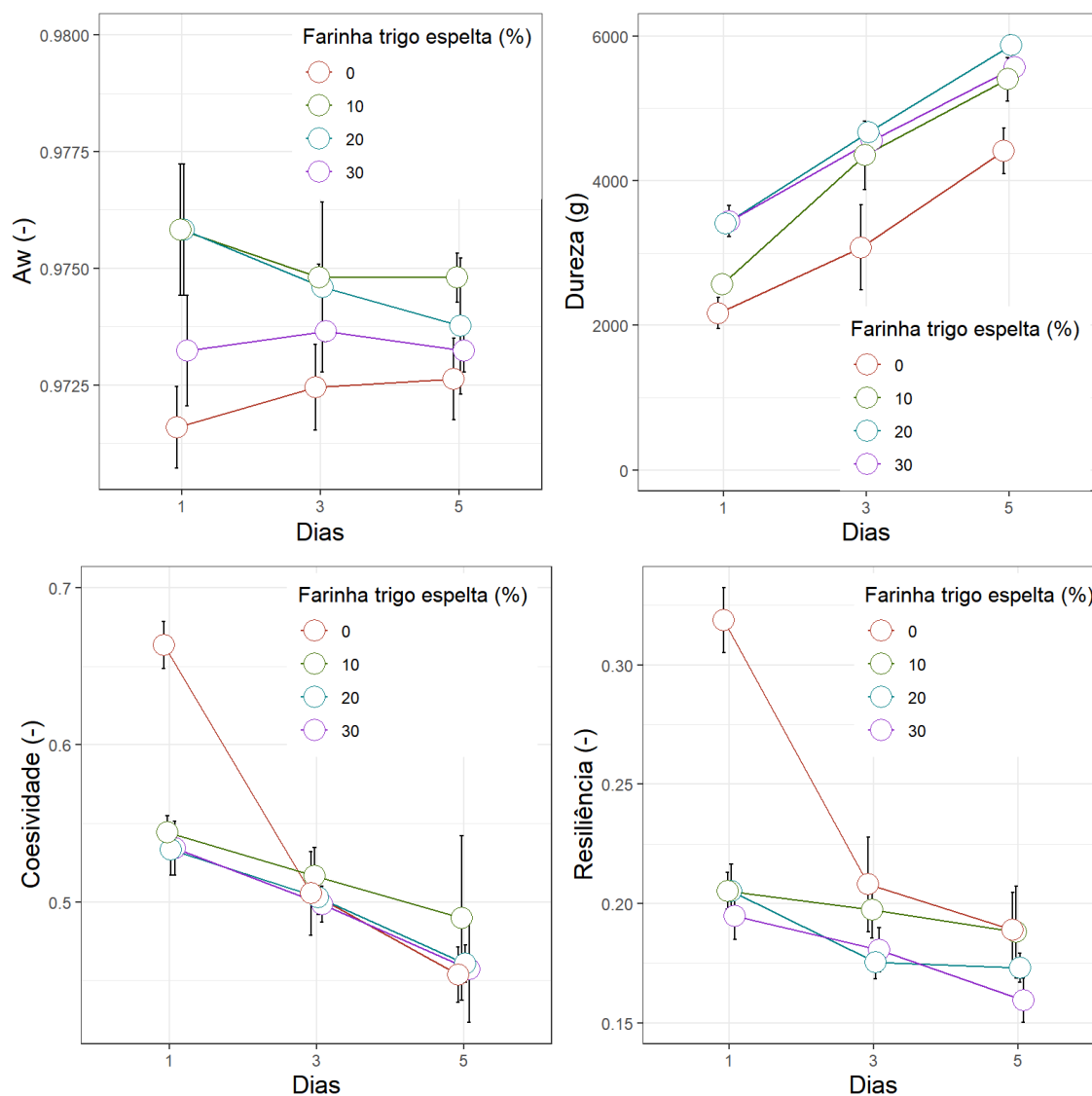


Figura 5.6. Atividade de água (adimensional), dureza (g), coesividade (adimensional) e resiliência (adimensional) do miolo dos pães substituídos com farinha espelta (10%, 20% e 30%) e pão branco controle (0%)

Durante o período de 5 dias de armazenamento, todos os tratamentos com substituição por farinha espelta diferiram estatisticamente ($p < .001$) da amostra controle (Tabela 5.4). Embora a Figura 5.6 mostre certa tendência da a_w no tempo, estatisticamente o tempo não alterou

($p=0,448$) a a_w do miolo dos pães analisados. Na Figura 5.6, pode-se perceber que a adição de farinha espelta incrementou os valores de atividade de água em todos os dias de armazenamento para todos os níveis de substituição avaliados em comparação com a amostra controle.

No entanto, o aumento da porcentagem de substituição – 10, 20 e 30%, ocasionou um comportamento de diminuição dos valores médios de atividade de água (0,9751, 0,9747 e 0,9734, respectivamente) (Tabela 5.4). O maior conteúdo de fibra devido à adição de farinha de espelta favorece uma melhor retenção de água. Assim, os níveis mais baixos de atividade de água obtidos com as maiores porcentagens de substituição por farinha espelta seria um efeito da maior capacidade de retenção de água da fibra, e possivelmente hidrocolóides, presentes nas misturas de farinhas com maior proporção de farinha espelta. Esta maior atividade de água dos pães de farinhas compostas pode conferir um retardamento do processo de desidratação do miolo.

No que diz respeito à dureza do miolo, esta aumentou durante o período de armazenamento em cada um dos tratamentos com substituição por farinha espelta ($p<0,001$), sendo que em cada um dos tempos mensurados, a dureza dos pães do controle foi significativamente menor. As amostras com as maiores médias para o parâmetro de dureza foram as formulações com 20% e 30% de substituição, e não diferiram entre si (Tabela 5.4). De acordo com Kurek et al. (2017), durante o período de armazenamento das amostras, foi verificada uma elevação da dureza dos pães elaborados com farinhas de trigo integrais. Entretanto, para a farinha de trigo espelta não foi observada uma elevação significativa ao longo de três dias de armazenagem. Esse resultado é diferente do obtido nesta pesquisa, mas essa diferença pode ser explicada pela utilização de farinha de espelta integral neste estudo.

A perda de coesividade e resiliência do miolo seguiram padrões muito similares durante o tempo de vida do pão (Figura 5.6). Em primeiro lugar, foi evidente que a substituição de farinha de trigo por farinha espelta diminuiu significativamente ambas propriedades ($p<0,001$), e mais ainda, durante o armazenamento, os maiores níveis de substituição produziram miolos progressivamente menos coesivos e resiliêntes. Em segundo lugar, as velocidades de perda de coesividade e resiliência foram diferentes entre os níveis de substituição por farinha espelta, tal como o sugere a interação significativa Espelta*Dia ($p<0,001$; Tabela 5.4). Na Figura 5.6, pode-se apreciar que as velocidades de perda de coesividade e resiliência se incrementam à medida que o nível de substituição é mais alto. Em termos gerais, não houve diferenças significativas em

coesividade e resiliência de miolo entre os níveis de 20% e 30% de substituição (0,499 e 0,496, e 0,184 e 0,178, respectivamente).

A formulação com 30% de substituição de farinha espelta foi a escolhida para a próxima etapa deste estudo, com base nos resultados apresentados no Capítulo 5, que demonstraram não haver praticamente diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre as formulações elaboradas com 20% e 30% de substituição para as propriedades da análise do perfil de textura, estrutura alveolar de miolo, e análise de vida de prateleira dos pães avaliados. Assim, o presente Capítulo expõe os resultados do uso de melhoradores para otimizar as características reológicas dos pães com 30% de farinha espelta.

Tabela 5.1. Propriedades gravimétricas e atividade de água do pão com substituição de farinha de trigo espelta.

Variáveis	Volume específico (ml/g)			Perdas por Cozedura (%)			Aw		
	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
Espelta (%)			<.001			<.0001			<.0001
0	2,990 ^a	[2,95 – 3,03]		11,730 ^a	[10,9 – 12,5]		0,9716 ^b	[0,9710 – 0,9722]	
10	2,860 ^b	[2,82 – 2,91]		8,020 ^b	[7,21 – 8,84]		0,9738 ^a	[0,9733 – 0,9744]	
20	2,590 ^c	[2,54 – 2,63]		7,950 ^b	[7,13 – 8,77]		0,9741 ^a	[0,9735 – 0,9748]	
30	2,510 ^c	[2,47 – 2,55]		7,840 ^b	[7,02 – 8,66]		0,9738 ^a	[0,9732 – 0,9744]	
100	1,960 ^d	[1,92 – 2,01]		7,750 ^b	[6,93 – 8,57]		0,9720 ^b	[0,9714 – 0,9726]	

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 5.2. Propriedades da análise do perfil de textura – dureza (g), coesividade (n.d), mastigabilidade (g), elasticidade (n.d) e resiliência (n.d) – do pão de farinha de trigo substituído com farinha de trigo espelta.

Variáveis	Dureza (g)			Resiliência			Elasticidade		
	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
Espelta (%)			<.0001			<.0001			<.0001
0	2169 ^c	[1872 – 2465]		0,319 ^a	[0,305 – 0,334]		0,986 ^a	[0,968 – 1,005]	
10	2563 ^c	[2266 – 2859]		0,205 ^b	[0,190 – 0,220]		0,958 ^b	[0,942 – 0,977]	
20	3404 ^b	[3107 – 3700]		0,205 ^b	[0,190 – 0,220]		0,959 ^b	[0,940 – 0,977]	
30	3437 ^b	[3140 – 3733]		0,195 ^b	[0,181 – 0,210]		0,949 ^b	[0,931 – 0,968]	
100	4593 ^a	[4318 – 4867]		0,188 ^b	[0,173 – 0,203]		0,885 ^c	[0,867 – 0,903]	

Variáveis	Coesividade			Mastigabilidade (g)		
	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
Espelta (%)			<.0001			<.0001
0	0,663 ^a	[0,651 – 0,676]		930 ^c	[930 – 1329]	
10	0,544 ^c	[0,532 – 0,557]		1678 ^b	[1478 – 1877]	
20	0,533 ^c	[0,521 – 0,546]		1541 ^b	[1541 – 1940]	
30	0,534 ^c	[0,522 – 0,547]		1546 ^b	[1546 – 1945]	
100	0,618 ^b	[0,606 – 0,630]		2332 ^a	[2332 – 2702]	

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 5.3. Características do miolo dos pães substituídos com farinha de trigo espelta.

Variável	Área Média dos Alvéolos (mm ²)			Uniformidade Alveolar (adimensional)		
	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
Espelta (%)			<.0001			<.0001
0	1,680 ^a	[1,497 – 1,860]		7,820 ^c	[3,320 – 12,30]	
10	1,510 ^a	[1,330 – 1,690]		10,45 ^b	[5,950 – 14,90]	
20	1,350 ^{ab}	[1,165 – 1,530]		14,27 ^{ab}	[9,770 – 17,80]	
30	1,090 ^b	[0,909 – 1,270]		21,26 ^a	[16,77 – 25,80]	
100	1,250 ^b	[1,072 – 1,440]		12,87 ^{ab}	[8,370 – 17,40]	
Variável	Nº Alvéolos Grandes (>15 mm ²)			Circularidade Alveolar (adimensional)		
	Média	95% CI	Pr(>F)	Média	95% CI	Pr(>F)
Espelta (%)			<.0001			<.0001
0	12,750 ^a	[9,524 – 15,98]		0,783 ^a	[0,779 – 0,787]	
10	9,830 ^a	[6,607 – 13,06]		0,771 ^b	[0,767 – 0,775]	
20	2,500 ^b	[0,726 – 5,730]		0,778 ^b	[0,774 – 0,780]	
30	7,000 ^a	[3,774 – 10,23]		0,772 ^b	[0,768 – 0,776]	
100	11,580 ^a	[8,357 – 14,81]		0,761 ^c	[0,757 – 0,764]	

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey (p>0,05).

Tabela 5.4. Médias dos mínimos quadrados para a atividade da água (a_w) e a análise de perfil de textura (Dureza (g), Coesividade (nd), Resiliência (nd) do pão de farinha de trigo substituído com trigo espelta durante o seu tempo de vida útil, junto com os resultados da atividade de água

Variáveis	Dureza (g)		Coesividade (nd)		Resiliência (nd)		a_w (nd)	
	Média	IC 95%	Média	IC 95%	Média	IC 95%	Média	IC 95%
Espelta								
0%	3220 ^c	[3075 – 3364]	0,541 ^a	[0,529 – 0,553]	0,239 ^a	[0,231 – 0,246]	0,9722 ^b	[0,9714 – 0,9731]
10%	4104 ^b	[3960 – 4249]	0,517 ^{ab}	[0,505 – 0,529]	0,197 ^b	[0,190 – 0,204]	0,9751 ^a	[0,9743 – 0,9760]
20%	4651 ^a	[4506 – 4796]	0,499 ^b	[0,497 – 0,522]	0,184 ^{bc}	[0,177 – 0,192]	0,9747 ^{ac}	[0,9739 – 0,9755]
30%	4519 ^a	[4374 – 4664]	0,496 ^b	[0,484 – 0,509]	0,178 ^c	[0,170 – 0,186]	0,9734 ^{bc}	[0,9725 – 0,9742]
Dia								
1	2827 ^c	[2740 – 2914]	0,588 ^a	[0,567 – 0,586]	0,249 ^a	[0,244 – 0,253]	0,9737 ^a	[0,9731 – 0,9743]
3	4894 ^b	[4771 – 5017]	0,511 ^b	[0,509 – 0,527]	0,185 ^b	[0,179 – 0,191]	0,9739 ^a	[0,9732 – 0,9746]
5	6215 ^a	[6092 – 6337]	0,465 ^c	[0,445 – 0,464]	0,173 ^c	[0,166 – 0,179]	0,9733 ^a	[0,9727 – 0,9740]
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Dia	216,02	<.0001	39,281	<.0001	89,782	<.0001	0,829	0,448
Espelta	1117,39	<.0001	213,496	<.0001	261,964	<.0001	9,905	<.001
Espelta*Dia	108,92	<.0001	18,996	<.0001	46,487	<.0001	1,540	0,192

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

6 EFEITO DOS MELHORADORES NA QUALIDADE TECNOLÓGICA DO PÃO DE TRIGO SUBSTITUÍDO COM 30% FARINHA DE TRIGO ESPELTA

6.1 Efeito da suplementação com glúten 9% e uso de melhorador comercial nos atributos de qualidade da massa e do pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta

A Tabela 6.1 apresenta os efeitos da utilização de um melhorador comercial sobre as características das massas e pães produzidos utilizando a mistura de farinhas (70% trigo/30% espelta) padronizada a 9,0% de glúten. Verificou-se que a adição do melhorador comercial aumentou significativamente a extensibilidade (-28,70 mm) e reduziu a resistência a extensão das massas (58,30 g) comparado a amostra controle (-23,20 mm e 110,0 g), na qual o pão foi elaborado com 70% de farinha T55, 30% de farinha espelta e sem a utilização de melhoradores. De acordo com Tebben et al. (2018), o glúten vital é um ingrediente utilizado para pães elaborados e/ou adicionados com farinhas integrais. A incorporação de glúten vital nas formulações promove maior força e elasticidade as massas, anula os efeitos adversos do farelo e gérmen no volume dos pães por meio da contribuição na melhora da retenção dos gases gerados na fermentação.

Todas as propriedades físico-químicas do pão substituído parcialmente com farinha espelta (30%) foram significativamente alteradas pelo melhorador ($p < 0,05$). As perdas por cocção foram significativamente aumentadas com a adição do melhorador, bem como o volume específico dos pães que aumentou desde 2,55 ml/g até 3,97 ml/g. Assim, o volume específico dos pães com melhorador comercial sofreu um aumento significativo de 33.33% comparado as amostras controle.

Tabela 6.1. Efeito do melhorador comercial nas características das massas e pães de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta

Atributos	Controle negativo (30% de trigo espelta sem melhorador e com glúten 9%)		Controle positivo (30% de trigo espelta com 1% melhorador e 9% glúten)	
	Média	[IC 95%]	Média	[IC 95%]
Resistência a Extensão	110,0 ^a	[106,5 - 113,5]	58,300 ^b	[54,400 – 62,300]
Extensibilidade (mm)	-23,200 ^b	[(-24,10) – (-22,20)]	-28,700 ^a	[(-29,60) – (-27,90)]
a _w	0,974 ^a	[0,973 – 0,975]	0,971 ^b	[0,970 – 0,972]
Volume específico (ml/g)	2,550 ^b	[2,53 – 2,58]	3,970 ^a	[3,94 – 3,99]
Perdas por cozedura (%)	13,10 ^b	[12,00 – 14,10]	16,50 ^a	[15,50 – 17,60]
Dureza (g)	2455 ^a	[2325 – 2585]	605 ^b	[475 – 735]
Elasticidade (-)	0,976 ^a	[0,970 – 0,982]	0,976 ^a	[0,970 – 0,982]
Coabilidade (-)	0,637 ^b	[0,629 – 0,645]	0,727 ^a	[0,719 – 0,735]
Gomosidade (-)	1566 ^a	[1478 – 1654]	440 ^b	[352 – 527]
Mastigabilidade (-)	1528 ^a	[1439 – 1617]	429 ^b	[340 – 518]
Resiliência (-)	0,262 ^b	[0,256 – 0,268]	0,271 ^a	[0,265 – 0,277]
Densidade alveolar (#/mm ²)	0,263 ^a	[0,235 – 0,291]	0,268 ^a	[0,240 – 0,296]
Área alveolar (mm ²)	1,500 ^a	[1,360 – 1,630]	1,460 ^a	[1,320 – 1,600]
Nº alvéolos grandes	10,40 ^a	[8,61 – 12,20]	11,20 ^a	[9,39 – 12,90]
Uniformidade alveolar (-)	9,66 ^a	[7,890 – 11,400]	10,15 ^a	[8,31 – 12,00]
Circularidade alveolar (-)	0,772 ^a	[0,769 – 0,774]	0,770 ^a	[0,767 – 0,772]
Quociente axial alveolar (-)	1,610 ^a	[1,600 – 1,620]	1,610 ^a	[1,600 – 1,620]

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma fila indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05)

Com a adição do melhorador foram também notadas alterações significativas (p<0,05) em quase todas as propriedades texturais dos pães, exceto para a elasticidade (Tabela 6.1). A adição do melhorador diminuiu significativamente a dureza, mastigabilidade e gomosidade; enquanto as propriedades de coabilidade e resiliência sofreram um aumento significativo (p<0,05).

No que diz respeito aos parâmetros de estrutura alveolar do miolo obtidos por meio da análise de imagens, a adição de melhoradores não provocou uma diferença mínima significativa ao nível de 5% de significância para todos os parâmetros estudados. Por exemplo, esperava-se que a adição de melhoradores comprometesse o formato circular dos alvéolos, entretanto os controles negativo e positivo obtiveram valores de 0,772 e 0,770 respectivamente; esse resultado demonstrou que a adição de melhoradores não contribuiu para diminuir a circularidade das amostras, ou seja, podemos então afirmar que o formato dos alvéolos nos pães que foram incorporados de melhoradores não foram significativamente mais alongados em comparação com os encontrados na amostra controle.

6.2 Efeito de melhoradores nos atributos de qualidade da massa e do pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta

Nos últimos anos tem aumentado a demanda dos consumidores por produtos com ingredientes mais naturais. Em decorrência desse fato, as enzimas tem sido amplamente utilizadas em diversos produtos. Para os produtos de panificação, as enzimas possuem a capacidade de melhorar as características da massa e do pão. Outro fator que envolve a adição de enzimas é a substituição dos agentes químicos de melhorias, especificamente alguns hidrocoloides e emulsificantes que estão sendo desaprovados pelos consumidores em geral (Tebben et al., 2018).

Nesse estudo foram avaliados os efeitos de diferentes concentrações de glicose oxidase (0,01%, 0,06% e 0,10%) e fosfolipase (0,10%, 0,30% e 0,50%), mantendo o ácido ascórbico a 0,5% em todas as formulações, essa concentração foi determinada através de ensaios laboratoriais preliminares. Alguns autores citam que a utilização de enzimas proporciona aos pães maior volume, melhor textura do miolo e diminuição da taxa de envelhecimento (Tebben et al., 2018).

De acordo com Cauvain et al. (2003) e Rocha (2014), o ácido ascórbico possui ampla aplicação em panificação como agente oxidante. Esse melhorador atua reforçando a rede por meio da atuação sobre as proteínas formadoras do glúten. A atuação sobre essas proteínas é reponsável por alterar as características reológicas das massas, diminuindo a resistência à extensão e aumentando a extensibilidade. As mudanças provocadas por esse melhorador nas características das massas são reponsáveis por aumentar o volume, alterar o perfil de textura e a estrutura alveolar do miolo dos pães.

Segundo Casado et al. (2012), as massas elaboradas com as enzimas fosfolipases são capazes de produzir massas com comportamento reológico similar ao observado em massas elaboradas com emulsificantes químicos. O efeito observado sobre os pães foi um aumento do volume e melhora das propriedades de miolo.

6.2.1 Propriedades reológicas das massas de trigo substituídas com trigo espelta e adicionadas de melhoradores enzimáticos

Os testes de resistência à extensão e extensibilidade avaliaram a resposta das massas substituídas parcialmente com trigo espelta à adição dos melhoradores: ácido ascórbico, glicose oxidase e fosfolipase. Essa avaliação é interessante porque esses melhoradores utilizados na indústria da panificação têm a capacidade de alterar esses parâmetros reológicos. O ácido ascórbico e a glicose oxidase são agentes oxidantes enquanto a fosfolipase atua como agente emulsificante, pois ao hidrolisar compostos lipídicos na massa geram emulsificantes (Bojana et al., 2013; Özer et al., 2010b).

Neste estudo, podemos observar (Figura 6.1) que a adição de maiores doses de glicose oxidase e de fosfolipase às massas compostas não provocou uma tendência linear nas características de resistência à extensão e de extensibilidade; embora a resistência à extensão foi sempre menor nas massas com aditivos enzimáticos (84,9 – 102,9; Tabela 6.2) do que no controle (110 g; Tabela 6.1)

Alguns autores reportam que a adição de glicose oxidase à massa composta de farinha de trigo causa uma diminuição da extensibilidade, entretanto existem divergências com relação ao aumento ou diminuição da resistência das massas (Altinel & Ünal, 2017a, 2017b; Silva et al., 2016; Yang et al., 2014). Néron et al. (2004) relataram que a fosfolipase quando adicionada na elaboração da massa proporciona valores apropriados de elasticidade (resistência à extensão) e extensibilidade.

Altinel e Ünal (2017b), avaliando o comportamento reológico de massas elaboradas com diversas farinhas perante a adição de amiloglucosidase, glicose oxidase e hemicelulase, concluíram que a glicose oxidase diminuiu significativamente a resistência à extensão na farinha de trigo integral analisada. Estes resultados estiveram em concordância com os nossos, tendo em consideração que a farinha de trigo espelta utilizada foi do tipo integral.

Steffolani, Ribotta, Pérez e León (2010) constataram um aumento da resistência à extensão e diminuição da extensibilidade das massas elaboradas com farinha de trigo e adição de glicose oxidase. Neste trabalho, foi verificado que uma concentração (0,10%) de glicose oxidase ocasionou uma diminuição significativa da extensibilidade da massa em relação a amostra controle (Figura 6.1), em contra partida as concentrações de 0,02% e 0,06% proporcionaram uma maior extensibilidade em comparação com as amostras controle (Tabela 6.2).

Tabela 6.2. Médias dos mínimos quadrados para a extensibilidade e a resistência à extensão da massa de pão de farinha de trigo substituída com farinha de trigo espelta com diferentes concentrações de melhoradores enzimáticos

Variável	Extensibilidade (mm)		Resistência à extensão (g)	
	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)				
0.02	-25,554 ^a	0.372	84,895 ^a	0.173
0.06	-24,226 ^b	0.222	87,725 ^a	0.222
0.10	-21,716 ^c	0.302	86,735 ^a	0.238
Fosfolipase (%)				
0.10	-22,025 ^b	1.514	99,811 ^a	2.887
0.30	-24,226 ^a	0.933	87,725 ^b	0.933
0.50	-23,998 ^a	2.334	102,895 ^a	1.580
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Glicose oxidase	34,721	<.0001	37,540	<.0001
Fosfolipase	19,035	<.0001	8,481	<.0001

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Níveis de glicose oxidase entre 0,02% e 0,10% não causaram alterações significativas na resistência a extensão das massas (84,89 – 87,72 g); no entanto a formulação de 0.30% de fosfolipase (102,9 g) originou massas significativamente menos resistentes à extensão (87,7) do que as formulações com 0.10% (99,8 g) ou 0.50% fosfolipase (102,9 g).

6.2.2 Propriedades físico-químicas do pão de trigo substituídas com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos

Verificou-se que em relação ao volume específico e perdas por cocção, as enzimas adicionadas apresentaram efeitos antagônicos nos pães. Para a glicose oxidase observou-se um decréscimo do volume específico e das perdas por cocção com o aumento da concentração adicionada, em contrapartida o aumento da concentração de fosfolipase adicionada nos pães resultou em um aumento do volume específico e das perdas por cocção (Figura 6.2).

Filipcev et al. (2014), avaliando o efeito combinado da enzima xilanase com os ácidos ascórbico e cítrico na regulação da qualidade do pão de trigo espelta proveniente de agricultura biológica, concluíram que a adição desses melhoradores proporciona uma melhora no volume específico e dureza do miolo. A melhora do volume mediante o uso da enzima glicose oxidase foi também observado no nosso estudo, embora seja preciso notar que esta melhora em volume específico tende a diminuir com maiores doses de glicose oxidase (Figura 6.2).

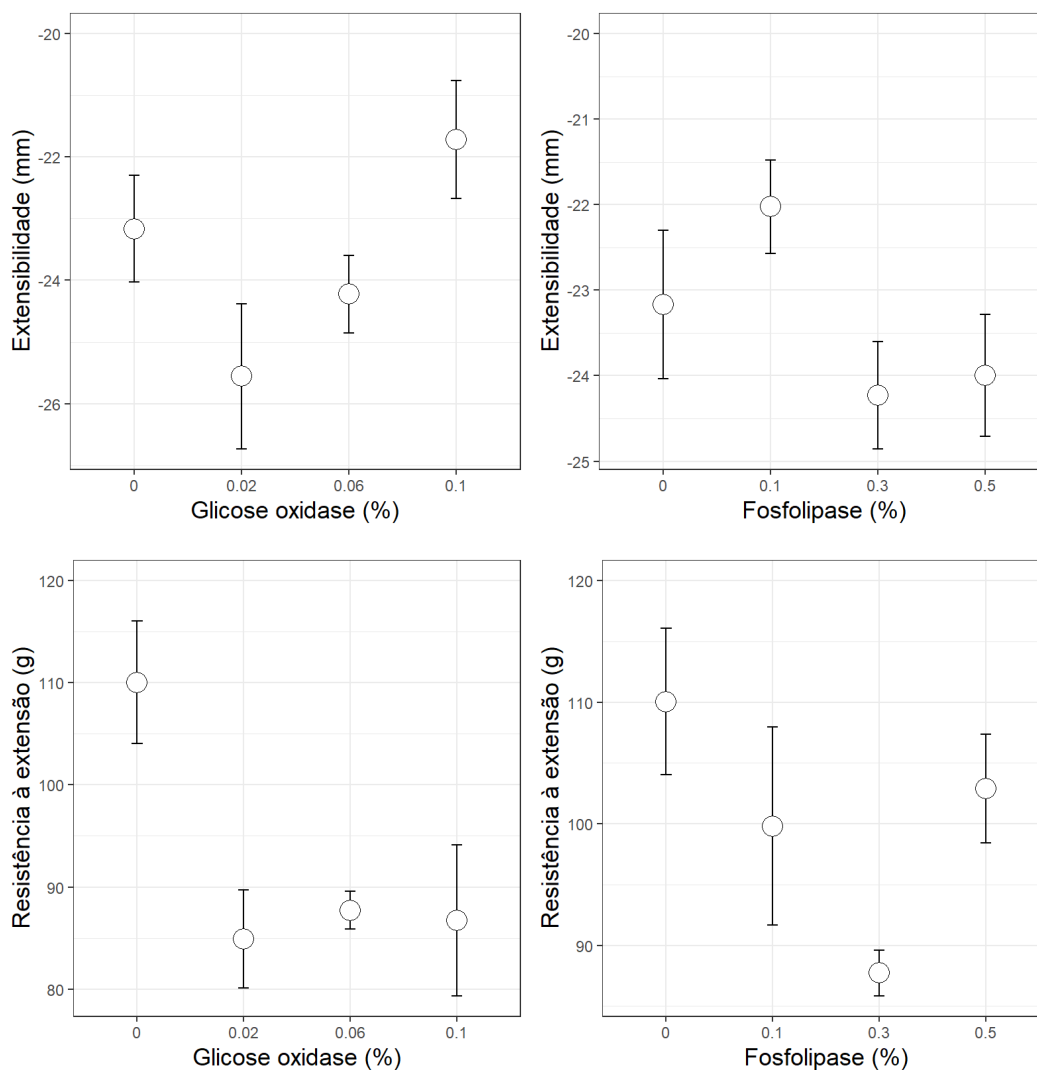


Figura 6.1. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) na extensibilidade (mm) e resistência à extensão da massa do pão de farinha de trigo substituído com farinha espelta 30%.

De acordo com Steffolani et al. (2012), existem estudos controversos sobre o efeito da glicose oxidase no volume específico dos pães. Os estudos reportam que a glicose oxidase não afetou significativamente o volume específico, entretanto outros autores relatam um aumento e/ou diminuição desse parâmetro.

Segundo Kotoki & Deka (2010), quando a massa do pão passa pelo processo de cocção, o fenômeno mais importante é a perda de umidade. Essa perda de umidade natural durante o processo acarreta efeitos adversos sobre o “frescor do pão” e acelera as reações que ocorrem no

processo de envelhecimento. Os autores verificaram que as propriedades físico-químicas dos pães foram afetadas pela incorporação de farinha de batata, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e mel. E a adição desses componentes contribuiu significativamente para a diminuição das perdas por cozedura nos pães.

De acordo com Zeng et al. (2011), que estudaram o efeito promissor para a indústria da panificação das enzimas α -amilase e glicose oxidase. A incorporação de 140U de glicose oxidase/ kg de farinha de trigo elevou o volume específico das amostras; além disso a adição dessas enzimas contribuiu para uma diminuição das perdas por cocção em relação a amostra controle.

No entanto, numa investigação conduzida por Renzetti et al. (2010), utilizando misturas enzimáticas compostas por enzimas oxidantes em duas concentrações (glicose oxidase 0,1% e 0,01%) e proteolíticas (protease 0,01% e 0,1%, lactase 0,01% e 0,1%), reportou-se que a incorporação dessas enzimas não afetou significativamente as perdas por cozedura dos pães elaborados com farinha de aveia.

Néron et al., (2004) associam a capacidade da fosfolipase de proporcionar valores apropriados de elasticidade (resistência à extensão) e extensibilidade ao aumento do volume específico das amostras. Conforme Figura 6.2 e Tabela 6.2, observou-se neste estudo que a adição de fosfolipase aumentou significativamente o volume específico das amostras em relação a amostra controle.

De acordo com o estudo feito por Sirbu & Paslaru (2007), utilizando uma preparação enzimática composta por fosfolipase A2 proveniente de fonte bacteriana, repararam que a adição de fosfolipase na massa proporcionava uma melhoria das propriedades reológicas, bem como um aumento do volume do pão. Este estudo reafirmou a capacidade da fosfolipase em substituir com sucesso a utilização de produtos químicos.

Bojana et al. (2013) avaliaram o desempenho de pães elaborados com diferentes variedades de trigo espelta proveniente de agricultura biológica do norte da Servia produzidos com melhoradores (ácido ascórbico, glicose oxidase e transglutaminase) de massa. No trabalho destes autores, o volume específico demonstrou uma elevação significativa em todas as variedades de trigo espelta testadas com a adição dos melhoradores de massa.

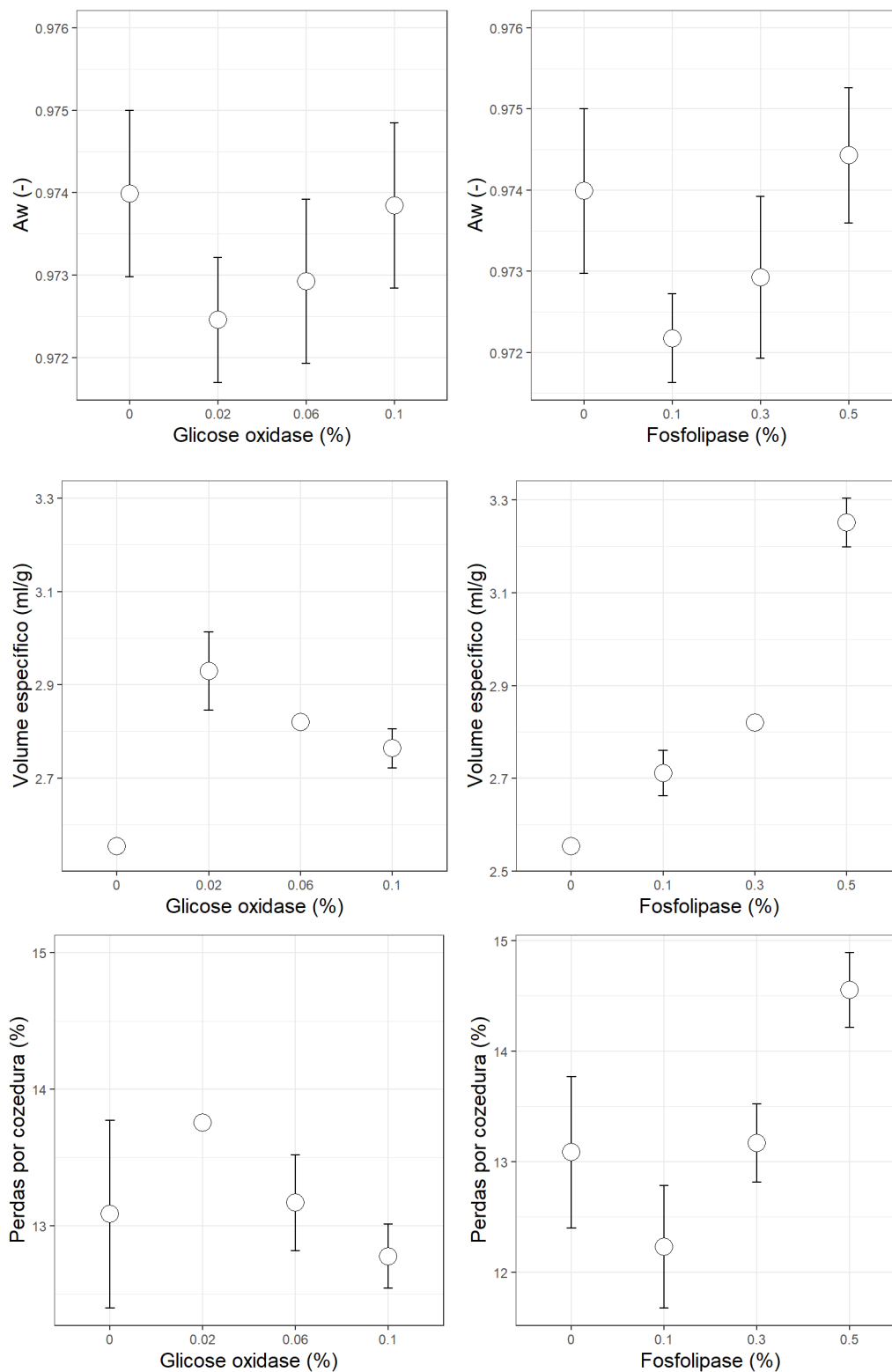


Figura 6.2. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) na atividade de água, volume específico e perdas por cozeduras dos pães de farinha de trigo substituído com farinha espelta 30%

Altinel & Ünal et al. (2017a) investigaram as propriedades físico-químicas de pães produzidos com farinhas de trigo branco e integral, substituídos com 25% e 50% de farinha de centeio, substituídos com 15% e 30% de farelo de trigo e adicionados das enzimas amiloglucosidade, hemicelulase e glicose oxidase, e com avaliação de controle negativo. Eles concluíram que um maior teor de farelo de trigo causou maiores perdas por cozedura nos pães, esse resultado foi atribuído a maior capacidade de absorção de água desse tipo de matéria prima.

Quanto à atividade de água (a_w) das amostras, verificou-se que as duas enzimas apresentaram comportamento similar, visto que a elevação da concentração aumentou a a_w presente no miolo dos pães. Em comparação com a amostra controle, temos que as menores concentrações de ambas enzimas diminuíram a atividade de água do miolo dos pães e a maior concentração aproximou-se dos valores obtidos na amostra controle (Figura 6.2).

Os resultados obtidos neste estudo foram similares com os de Sahnoun et al. (2016), que evidenciaram que a incorporação de ácido ascórbico, α -amilase e glicose oxidase na elaboração de pães contribui para a diminuição da a_w . Uma menor a_w está associada a uma menor probabilidade de contaminação microbiana no produto. Essa enzima é reponsável por produzir peróxido de hidrogênio em sua reação, e esse produto oxida as ligações sulfídricas presentes na estrutura das proteínas formadoras do glúten, além disso, promove uma maior geleificação de pentosanas solúveis em água (Bonet et al., 2006). A diminuição da a_w foi então relacionada ao aumento da habilidade das pentosanas em capturar a água livre após a incorporação de glicose oxidase (Sahnoun et al., 2016).

6.2.3 Textura do miolo do pão de trigo substituído com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos

As formulações produzidas com a adição das três diferentes concentrações de glicose oxidase e fosfolipase, e a suplementação com ácido ascórbico causaram impacto significativo nas propriedades texturais dos miolos dos pães analisados ($p < 0,05$). Os valores obtidos para os parâmetros do perfil de textura são apresentados nas Tabelas 6.4 e 6.1 (controle).

Todos os tratamentos com melhoradores enzimáticos apresentaram menores valores de dureza de miolo que o controle (2455 g). Conforme-se (Tabela 6.4 e Figura 6.1), observou-se que fixando a concentração de glicose oxidase (0,06%), o aumento da concentração de fosfolipase

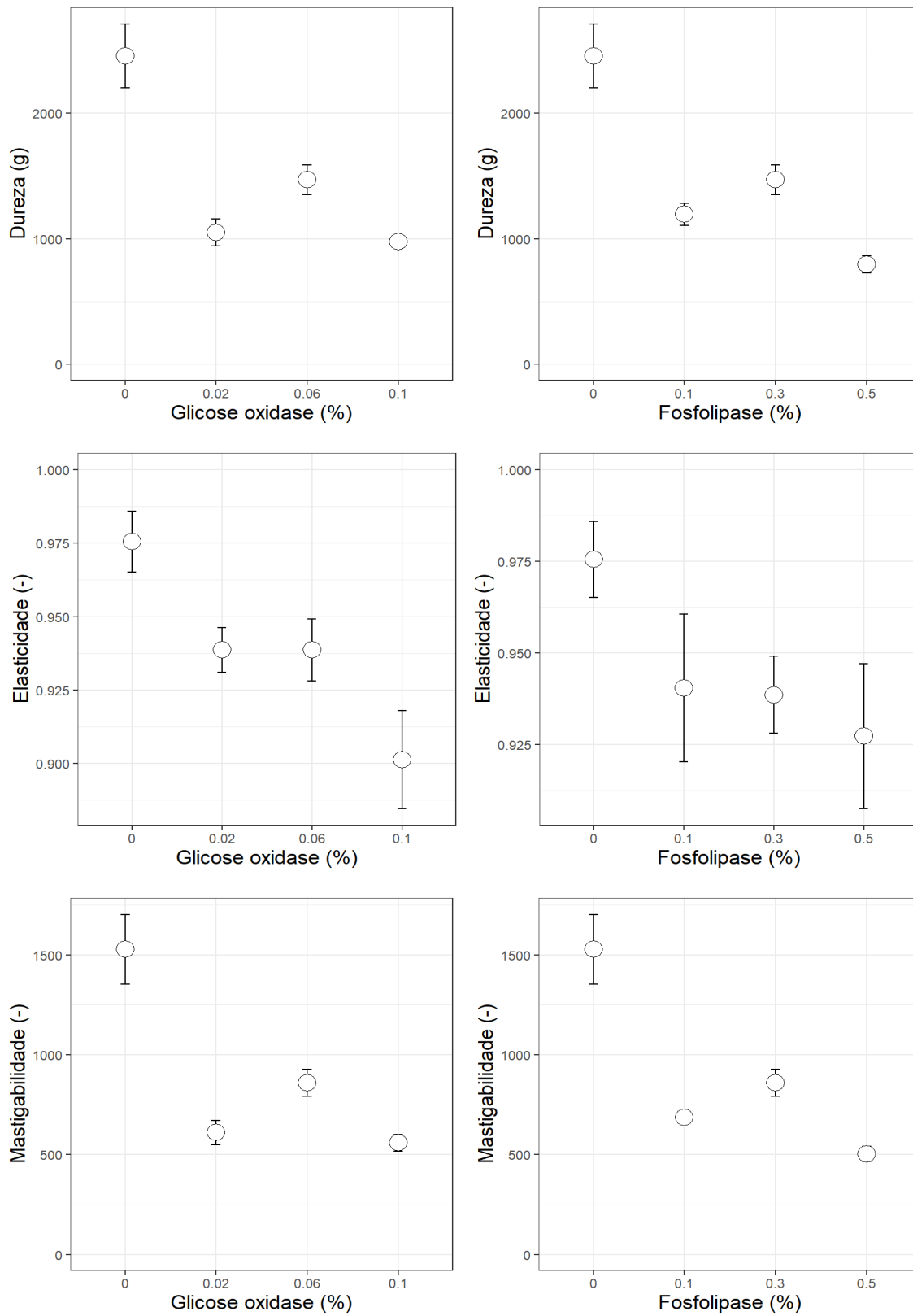
(0,10% - 0,30% - 0,50%) contribuiu para a diminuição da dureza (1193,956 g – 1469,265 g – 795,557 g) e mastigabilidade (685,592 g – 859,022 g – 503,894 g) em qualquer concentração em comparação a amostra controle. Da mesma forma, fixando a concentração de fosfolipase (0,30%), o aumento da concentração (0,02% - 0,06% - 0,10%) contribuiu para a redução da dureza (1049,997 g – 1469,265 g – 974,956 g) e mastigabilidade (610,783 g – 859,022 g – 559,680 g) do miolo em comparação com a amostra controle (2455 g e 1528, respectivamente). Entretanto, as amostras produzidas com concentrações intermediárias de glicose oxidase (0,06%) e fosfolipase (0,30%) apresentaram uma maior interferência na qualidade dos pães, pois nessas concentrações constatou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) da dureza e mastigabilidade comparada as demais concentrações observadas.

Filipčev et al. (2013), ao avaliarem o efeito da utilização de glicose oxidase, ácido ascórbico e transglutaminase sobre pães elaborados com três variedades de trigo espelta, verificaram que as variedades testadas mostraram-se sensíveis à utilização de ácido ascórbico, pois este melhorador proporcionou um miolo mais macio aos pães.

Steffolani et al. (2012) verificaram que a incorporação combinada das enzimas α -amilase, xilanase e glicose oxidase provocou uma melhora nos parâmetros de dureza e mastigabilidade do miolo dos pães em relação a amostra controle, que apresentou uma maior dureza e mastigabilidade. A metodologia de superfície de resposta utilizada por estes autores demonstrou que a adição de glicose oxidase diminuiu o volume específico e aumentou a dureza e mastigabilidade das amostras.

De acordo com Benejam et al. (2009), a adição da enzima fosfolipase diminuiu a dureza do miolo encontrada em panetones, enquanto Zeng et al. (2011) verificaram que a adição combinada de glicose oxidase e α -amilase diminuiu a dureza, gomosidade e mastigabilidade do “pão fresco”.

Verificou-se que para ambas enzimas, o aumento da concentração provocou uma diminuição da elasticidade do miolo em relação a amostra controle (Figura 6.3). Para elasticidade, fixando-se a concentração de fosfolipase, observou-se que a concentração de 0,1% de glicose oxidase causou um decréscimo significativo da elasticidade (0,901) dos pães em comparação com os demais tratamentos (0,927 – 0,939 na Tabela 6.4).



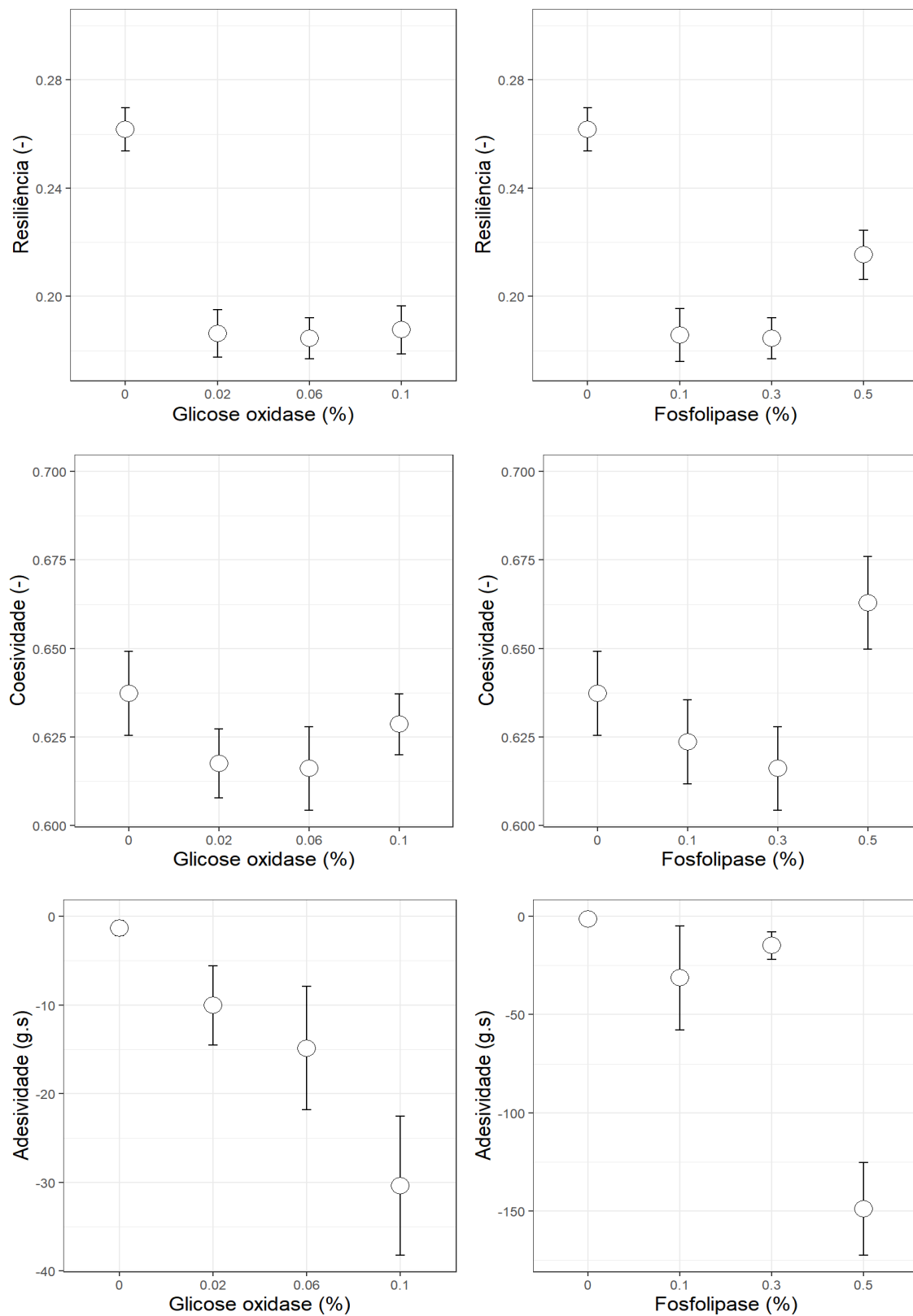


Figura 6.2. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) na análise do perfil de textura do miolo de pães de farinha de trigo espelta a 30%.

No caso da resiliência do miolo, verificou-se que fixando a concentração de glicose oxidase e variando a concentração de fosfolipase nos três níveis estudados, apenas para o nível de 0,50% de fosfolipase ocorreu um aumento significativo ($p < 0,05$) da resiliência (0,210) dos pães, entretanto o valor encontra-se abaixo dos valores obtidos para o melhorador comercial (0,271) e para a amostra controle (0,261).

Para a coesividade, percebeu-se que fixando a concentração de glicose oxidase, uma maior concentração de fosfolipase (0,5%) causou uma elevação significativa ($p < 0,05$) da coesividade em relação aos demais tratamentos utilizados (Tabela 6.4). A comparação entre os tratamentos e a amostra controle revelou que enquanto as concentrações menores e intermédias tendem a diminuir a coesividade do miolo do pão, em contrapartida as concentrações mais altas desses melhoradores tendem a aumentar essa propriedade.

Para a adesividade, observou-se que a incorporação de maiores quantidades de glicose oxidase não influenciou significativamente ($p < 0,05$) no aumento dessa propriedade. Para um nível de fosfolipase de 0,5%, verificou-se um aumento significativo da adesividade (-148,719 g.s) em comparação com as demais concentrações estudadas. Na Figura 6.3, observa-se o comportamento de decaimento da propriedade de adesividade das amostras com o aumento da concentração de fosfolipase e glicose oxidase.

De acordo com Helmerich & Koehler (2003), as fosfolipases são capazes de aumentar a eficácia do processo fermentativo, pois melhoram a capacidade de retenção dos gases na massa. Essa característica proporciona uma melhora das características do miolo, aumenta o volume e retarda o envelhecimento dos pães.

6.2.4 Características de estrutura alveolar do miolo do pão de trigo substituídas com trigo espelta e adicionado de melhoradores enzimáticos

A Tabela 6.5 e Figura 6.4 apresentam os resultados obtidos para as características do miolo central dos pães parcialmente substituídos com trigo espelta e adicionados dos melhoradores (ácido ascórbico, glicose oxidase e fosfolipase). A utilização de melhoradores influenciou todos os atributos da estrutura alveolar do miolo dos pães ao nível de 5% de significância.

A área média dos alvéolos presente nos pães adicionados das concentrações de 0,06% e 0,10% (1,283 mm² e 1,326 mm²) respectivamente foi menor em comparação aos obtidos na

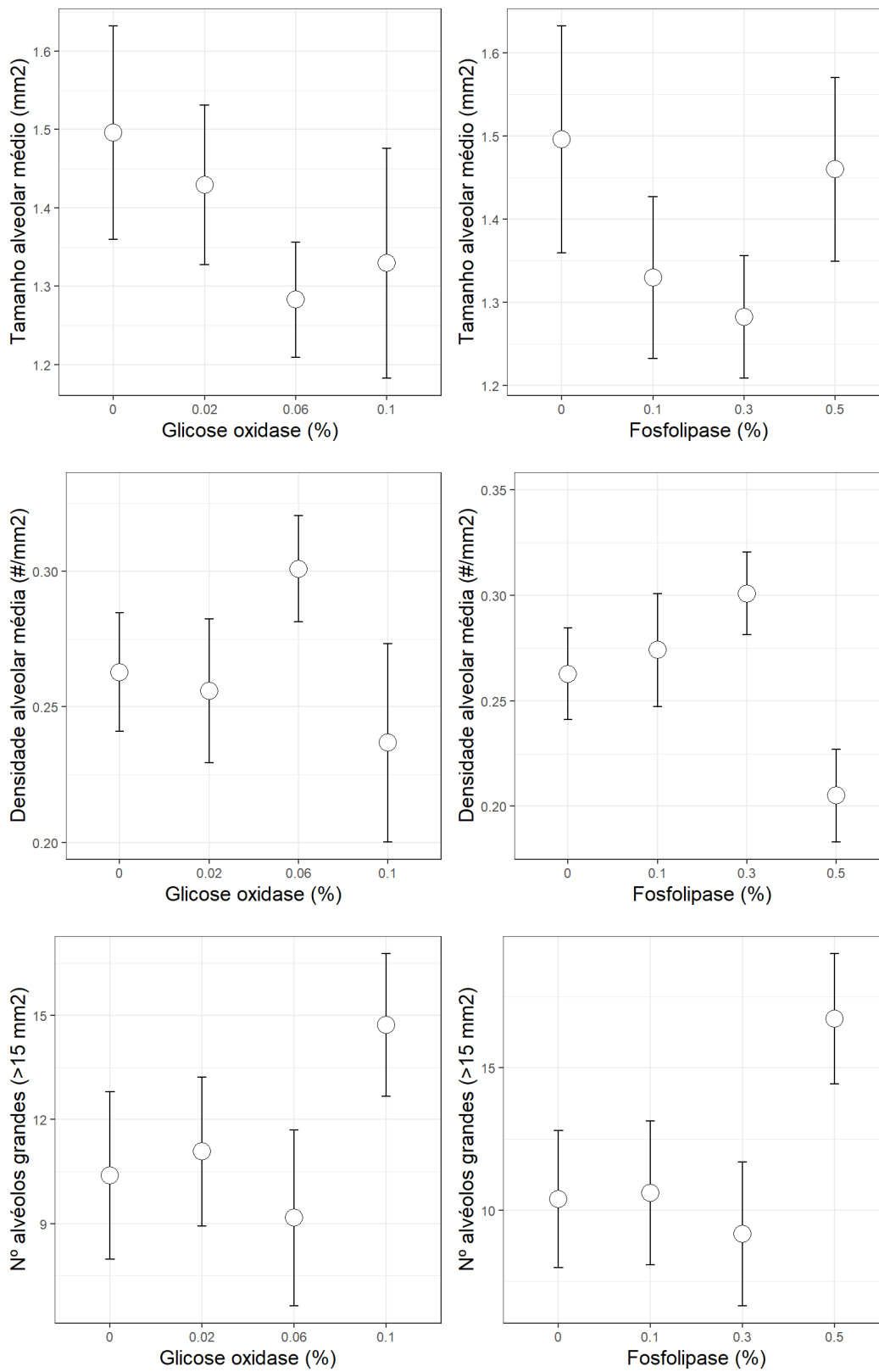
amostra controle (1,50 mm²), entretanto a concentração de 0,02% de glicose oxidase obteve média de (1,429 mm²), que é bem próximo ao valor obtido para o pão controle.

A adição de uma concentração de 0,50% de fosfolipase aumentou significativamente ($p < 0,05$) a área alveolar média do miolo dos pães comparada as concentrações de 0,10% e 0,30%. Os valores obtidos para as três concentrações foram (1,330 mm² - 1,283 mm² - 1,460 mm²), respectivamente; e estão apresentados na Tabela 6.5, entretanto os valores obtidos foram inferiores ao 1,50 mm² da amostra controle. Esse resultado demonstra que a adição de enzimas ocasiona um menor tamanho médio dos alvéolos presentes nos pães, embora maiores concentrações de fosfolipase possuem tendência de aumentar a área alveolar média.

Em relação à uniformidade e densidade alveolar, o efeito ocasionado pela glicose oxidase e fosfolipase foi similar. Para uniformidade alveolar, a combinação de 0,06% glicose oxidase e 0,30% fosfolipase obtiveram um valor de 13,724, que foi significativamente ($p < 0,05$) maior dos que os obtidos para as outras concentrações testadas. A amostra controle com adição de glúten vital obteve um valor de uniformidade alveolar de 9,66; com isso podemos dizer que a utilização dessas enzimas melhorou significativamente a uniformidade alveolar do miolo dos pães.

No que diz respeito ao número de alvéolos grandes (>15 mm² em 16 cm² de área de fatia), os resultados possuem comportamento antagônico em comparação com a uniformidade alveolar e a densidade alveolar. Para essa variável, a combinação de concentrações intermédias de glicose oxidase e fosfolipase produziram alvéolos menores (9,2 alvéolos grandes) em comparação com as demais concentrações testadas (10.6 a 16.7 alvéolos grandes). As concentrações de 0,10% glicose oxidase e 0,50% fosfolipase produziram um maior número de alvéolos grande (14,7 e 16,7) nos pães em comparação com as amostras controle e com melhorador comercial (10,4 e 11,2, respectivamente) (Tabela 6.1).

A adição de glicose oxidase e fosfolipase causou uma tendência de diminuição da circularidade alveolar média para os alvéolos das amostras tratadas em comparação com a amostra controle (Figura 6.4), entretanto apenas para a amostra tratada com 0,30% de fosfolipase foi notada um aumento significativo ($p < 0,05$) da circularidade alveolar (0,765) em comparação com os demais tratamentos (Tabela 6.5). Esse valor é inferior aos valores obtidos para as amostras controle e com melhoradores (0,772 e 0,769) respectivamente.



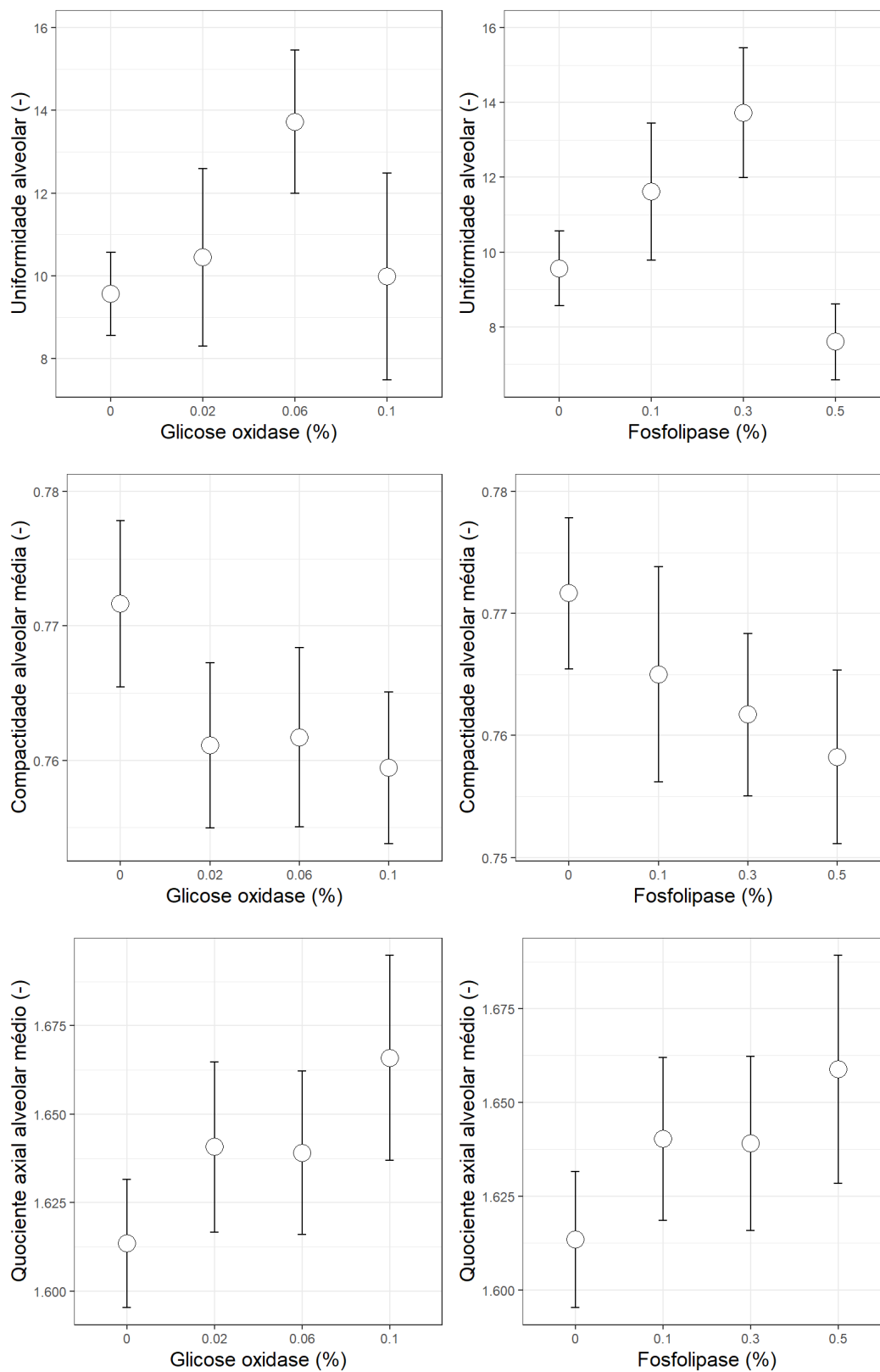


Figura 6.3. Efeito do nível de glicose oxidase (fosfolipase fixa a 0.30%) e do nível de fosfolipase (glicose oxidase fixa a 0.06%) nas características de estrutura alveolar do miolo dos pães de farinha de trigo espelta a 30%

A adição de maiores concentrações de glicose oxidase e fosfolipase resultou em um aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) do quociente alveolar médio. O valor obtido para o quociente alveolar das amostras controle e com adição de melhorador foi o mesmo (1,610), esse valor é inferior aos encontrados em todas as combinações de glicose oxidase (1,641 – 1,639 – 1,666) e fosfolipase (1,640 – 1,639 – 1,658) testadas. Portanto, pode-se afirmar que o formato encontrado na estrutura alveolar dos pães substituídos com farinha de espelta e adicionados com glicose oxidase e fosfolipase será mais alongado.

Tabela 6.3. Atributos de qualidade do pão com substituição parcial de farinha de Espelta.

Variável	Atividade da água		Volume específico (ml/g)		Perdas por cozedura (%)	
	Média	se	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)						
0,02	0,9725 ^b	0,0001	2,930 ^a	0.028	13,754 ^a	0.011
0,06	0,9729 ^{ab}	0,0001	2,820 ^b	0.005	13,168 ^a	0.203
0,10	0,9738 ^a	0,0001	2,764 ^c	0.014	12,777 ^a	0.135
Fosfolipase (%)						
0,10	0,972 ^b	0,0001	2,711 ^c	0.016	12,230 ^b	0.319
0,30	0,972 ^b	0,0001	2,820 ^b	0.005	13,168 ^b	0.203
0,50	0,974 ^a	0,0001	3,252 ^a	0.017	14,552 ^a	0.195
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Glicose oxidase	4,375	0,009	990,50	<.0001	8,056	0,006
Fosfolipase	13,251	<.0001	941,87	<.0001	22,364	<.0001

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 6.4. Análise do perfil de textura -dureza (g), coesividade (n.d), mastigabilidade (g), elasticidade (n.d), resiliência (n.d) e adesividade (g.s) - do pão de farinha de trigo substituído com trigo espelta

Variável	Dureza (g)		Elasticidade (nd)		Resiliência (nd)	
	Média	se	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)						
0.02	1049,997 ^b	36.133	0,939 ^a	0.003	0.191 ^a	0.002
0.06	1469,265 ^a	39.859	0,939 ^a	0.004	0.193 ^a	0.003
0.10	974,956 ^b	17.866	0,901 ^b	0.006	0.193 ^a	0.005
Fosfolipase (%)						
0.10	1193,956 ^b	29.095	0,941 ^a	0.007	0.190 ^b	0.002
0.30	1469,265 ^a	39.859	0,939 ^a	0.004	0.193 ^b	0.003
0.50	795,557 ^c	22.837	0,927 ^a	0.008	0.210 ^a	0.005
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Glicose oxidase (%)	130,928	< 0.001	34,805	< 0.001	0,031	0,970
Fosfolipase (%)	29,663	< 0.001	1,571	0,2204	65,824	< 0.001
Variável	Mastigabilidade (nd)		Coesividade (nd)		Adesividade (g.s)	
	Média	se	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)						
0.02	610,783 ^b	20.066	0,618 ^a	0.004	-10,041 ^a	1.496
0.06	859,022 ^a	22.687	0,616 ^a	0.004	-14,865 ^a	2.315
0.10	559,680 ^b	13.819	0,629 ^a	0.004	-30,356 ^a	4.521
Fosfolipase (%)						
0.10	685,592 ^b	7.823	0,624 ^b	0.004	-31,359 ^b	1.661
0.30	859,022 ^a	22.687	0,616 ^b	0.004	-14,864 ^b	2.315
0.50	503,894 ^b	13.282	0,663 ^a	0.005	-148,791 ^a	6.641
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Glicose oxidase (%)	82,228	< 0.001	6,423	0,009	109,660	< 0.001
Fosfolipase (%)	13,639	< 0.001	27,100	< 0.001	116,720	< 0.001

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 6.5. Características de estrutura alveolar do miolo dos pães substituídos com farinha de espelta.

Variável	Área alveolar médio (mm ²)		Densidade alveolar média (#/mm ²)		Número de alvéolos grandes (#)	
	Média	se	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)						
0.02	1,429 ^a	0.025	0,256 ^b	0.006	11,077 ^b	0.593
0.06	1,283 ^b	0.018	0,300 ^a	0.005	9,167 ^b	0.595
0.10	1,329 ^b	0.035	0,237 ^b	0.009	14,722 ^a	0.484
Fosfolipase (%)						
0.10	1,330 ^b	0.025	0,274 ^b	0.006	10,600 ^b	0.653
0.30	1,283 ^b	0.018	0,300 ^a	0.005	9,167 ^b	0.595
0.50	1,460 ^a	0.026	0,205 ^c	0.005	16,722 ^a	0.541
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Fosfolipase	5,652	0,001	36,975	< 0.001	11,621	< 0.001
Glicose oxidase	12,422	< 0.001	70,565	< 0.001	52,452	< 0.001
Variável	Uniformidade alveolar (-)		Circularidade alveolar média (-)		Quociente axial alveolar médio (-)	
	Média	se	Média	se	Média	se
Glicose oxidase (%)						
0.02	10,446 ^b	0.535	0,761 ^a	0.001	1,641 ^b	0.006
0.06	13,724 ^a	0.421	0,762 ^a	0.002	1,639 ^b	0.006
0.10	9,987 ^b	0.587	0,759 ^a	0.001	1,666 ^a	0.007
Fosfolipase (%)						
0.10	11,611 ^b	0.473	0,765 ^a	0.002	1,640 ^b	0.007
0.30	13,724 ^a	0.421	0,762 ^{ab}	0.002	1,639 ^b	0.006
0.50	7,603 ^c	0.239	0,758 ^b	0.002	1,658 ^a	0.008
Fonte de variação	Valor F	P < F	Valor F	P < F	Valor F	P < F
Fosfolipase	20,449	< 0.001	12,052	< 0.001	5,652	0,001
Glicose oxidase (%)	60,322	< 0.001	4,161	0,018	12,422	< 0.001

Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna indicam que não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0.05).

7 CONCLUSÕES

7.1 Discussão Geral

A primeira experiência (Capítulo 4) possibilitou o entendimento das alterações ocorridas nas características reológicas de massa de 48 formulações que resultaram de combinações de vários níveis de farinha de espelta (0, 5, 10 e 15%), de tipo de farinha de trigo (T55, T65 e T150) e do nível de adição de água (55%, 57,5%, 60,0% e 62,5%). Os diferentes níveis de substituição proporcionaram uma redução da resistência a extensão e da extensibilidade das massas.

Os três tipos de farinha T65, T55 e T150 obtiveram diferentes comportamentos perante a adição de farinha de espelta e níveis de adição de água. As farinhas T65 e T55 sofreram uma redução da resistência à extensão e da extensibilidade com a incorporação da farinha de espelta enquanto, em mistura com a farinha T150, a farinha espelta aumentou a extensibilidade a maiores níveis de substituição. Todas as farinhas substituídas por farinha espelta apresentaram um aumento da extensibilidade e uma redução da resistência à extensão com o aumento do nível de adição de água. Em todos os parâmetros relacionados à resistência à extensão e à extensibilidade da massa, ocorreram interações significativas ($p < 0,001$) entre as variáveis nível de espelta e nível de água. Os maiores níveis de adição de água proporcionaram massas de maior pegajosidade, adesividade e coesividade. Em comparação com a farinha de trigo T65, a substituição em farinha T55 produziu massas compostas mais extensíveis e coesivas, e menos pegajosas e resistentes à extensão. Na farinha de trigo T55, a substituição por farinha espelta afetou em menor medida o desenvolvimento da rede de gluten. Por esta razão, a farinha de trigo T55 foi escolhida nas experiências seguintes como a farinha de trigo base.

No Capítulo 5 avaliaram-se os efeitos da substituição de farinha de trigo T55 com farinha de trigo espelta (0, 10, 20, 30, 100%) com a finalidade de entender como as propriedades tecnológicas do pão são afetadas por esta farinha, assim como sua deterioração durante armazenamento. A substituição com farinha espelta diminuiu significativamente ($p < 0,05$) o volume específico do pão, as perdas por cozedura, a elasticidade e coesividade do miolo e o

tamanho alveolar, e incrementou significativamente ($p < 0,05$) a atividade de água, a dureza e mastigabilidade do miolo e a uniformidade de distribuição alveolar. No entanto, entre os níveis mais altos de substituição (20 e 30%), não se encontraram diferenças significativas ($p > 0,05$) nos atributos de perdas por cozedura, atividade de água, elasticidade dureza, mastigabilidade e coesividade do miolo. Contudo, o nível de 30% de substituição obteve uma uniformidade alveolar maior que o nível de 20% de farinha de espelta.

Da análise de deterioração do pão durante o tempo de vida, concluiu-se que entre os níveis de 20% e 30% de farinha espelta não houveram diferenças significativas ($p > 0,05$) nem na dureza nem na resiliência do miolo. Em vista que os níveis de 20% e 30% não apresentaram diferenças nem em atributos tecnológicos importantes do pão nem no grau de deterioração ao longo do tempo, optou-se por escolher o nível de 30% de substituição para a próxima fase do trabalho, a qual foi focada na melhoria da qualidade deste pão por meio da adição de melhoradores. Do ponto de vista nutricional do produto, o nível de 30% de substituição por farinha espelta foi o mais adequado.

O Capítulo 6 visou melhorar a qualidade tecnológica do pão de farinha de espelta, para o qual foi primeiramente reforçado com gluten vital a 9,0%. O objetivo foi atingido mediante duas análises, na primeira parte avaliou-se um controle negativo em comparação com uma formulação adicionada de um melhorador comercial utilizado por uma empresa da região de Bragança. As análises reológicas demonstraram que o melhorador comercial aumentou significativamente a extensibilidade (-28,70 mm) e reduziu a resistência à extensão das massas (58,30 g) em comparação com o controle negativo (-23,20 mm e 110,0 g, respetivamente). Com esses resultados era esperado que o pão elaborado com melhorador comercial obtivesse melhores características em comparação ao controle negativo.

Todas as propriedades físico-químicas (volume específico, atividade de água e perdas por cocção) dos pães substituídos parcialmente com farinha espelta foram significativamente alteradas pelo melhorador. O destaque foi a propriedade de volume específico que sofreu um aumento de 33,33% com a adição do melhorador.

A análise de perfil de textura também demonstrou alterações significativas com relação às propriedades texturiais avaliadas ($p < 0,05$). Quase todas as propriedades sofreram alteração com exceção da elasticidade. Verificou-se que o melhorador comercial contribuiu para diminuir a

dureza de 2455 g para 605 g nos pães. Esse resultado é muito importante, pois essa característica é uma das mais utilizadas para estabelecer a qualidade sensorial dos pães.

Na segunda etapa foram avaliadas diferentes concentrações de glicose oxidase e fosfolipase sobre a reologia da massa e a qualidade do pão, mantendo uma dose constante de ácido ascórbico de 0,5% em todas as formulações testadas. Concluiu-se que as enzimas contribuíram para a diminuição da resistência à extensão das massas, sendo que a concentração de 0,30% de fosfolipase promoveu uma menor resistência. Para a extensibilidade, infere-se que as concentrações de 0,02% a 0,06% de glicose oxidase foram eficientes para aumentar significativamente a extensibilidade ($p < 0,05$). Com relação às propriedades físico-químicas dos pães, verificou-se que o aumento das concentrações de fosfolipase e glicose oxidase obtiveram efeitos opostos nos pães, pois a fosfolipase causou um acréscimo de volume enquanto a glicose oxidase promoveu um decréscimo.

Para as propriedades texturiais, observou-se um efeito positivo sobre a dureza do miolo com a utilização da fosfolipase e glicose oxidase, entretanto as concentrações de 0,06% de glicose oxidase e 0,30% fosfolipase apresentaram um aumento significativo da dureza em relação aos outros tratamentos. Portanto, infere-se que essas duas concentrações não são recomendáveis para utilização no pão substituído com farinha espelta. Também se verificou que a concentração de 0,50% fosfolipase contribuiu para aumentar a resiliência dos pães e a concentração de 0,1% de glicose oxidase obteve um efeito negativo sobre a elasticidade dos pães. Com relação à análise de imagens, a utilização de 0,50% de fosfolipase contribuiu para a produção de alvéolos de maior tamanho, e a concentração de 0,06% de glicose oxidase elevou a uniformidade alveolar e densidade alveolar dos pães, entretanto essa concentração diminuiu o volume específico dos pães.

Por fim, considerando todos os parâmetros avaliados, conclui-se que os pães compostos, 70% farinha de trigo T55 e 30% farinha de trigo espelta, suplementados com 0,50% de ácido ascórbico, padronizados a um nível de gluten de 9,0% e adicionados com a dose de 0,50% de fosfolipase, e 0,02% de glicose oxidase, produziram pães com ótimos atributos de qualidade tecnológica.

7.2 Conclusão Final

A farinha de trigo espelta foi esquecida por alguns anos e ressurgiu primeiramente em lojas de produtos naturais. Com o tempo e a mudança de hábitos da população, este cereal atraiu o interesse de pessoas que procuravam por uma alimentação mais saudável e por produtos oriundos da agricultura biológica. Essa publicidade instalou-se devido às características nutricionais do trigo espelta. Embora ambos trigos possuam similaridades, o trigo espelta possui melhores características nutricionais e maior conteúdo de fibras, porém em contra partida a quantidade de glúten presente no trigo espelta é menor.

Dessa forma, mostra-se interessante a incorporação parcial desse tipo de trigo em vários produtos, por exemplo, bolos, pães e biscoitos. Essa incorporação promove uma melhora nutricional do produto, mas inevitavelmente causa um declínio na qualidade tecnológica.

Algumas embalagens de farinha espelta recomendam a associação dessa farinha com outras farinhas e farinhas alternativas para melhorar a qualidade nutricional dos produtos, principalmente de panificação.

Nos dias atuais existem poucos estudos sobre as propriedades reológicas e a potencial utilização do trigo espelta na indústria da panificação, por esta razão a comunidade científica iniciou estudos sobre esses tópicos. Na presente tese de investigação, as propriedades reológicas e a qualidade tecnológica do pão substituído parcialmente com farinha espelta foram avaliadas.

Concluímos que o objetivo geral deste trabalho foi alcançado através das respostas obtidas aos objetivos específicos propostos no mesmo. Pode-se afirmar que o trabalho proporcionou um melhor entendimento do efeito da substituição parcial de farinha espelta na reologia da massa através da avaliação de 48 formulações de massa, baseadas em diferentes farinhas, diferentes adições de água e diferentes porcentagem de substituição.

O objetivo de avaliar a qualidade tecnológica do pão substituído com trigo espelta foi alcançado após avaliação de três diferentes níveis de substituição (10, 20, 30%), além disso realizou-se um estudo de vida de prateleira desses pães. Após o resultado definiu-se que o nível de 30% era o melhor dentre os avaliados. Ao final, foi possível melhorar as qualidades tecnológicas do pão formulado com 30% de farinha espelta mediante a adição dos melhoradores fosfolipase e glicose oxidase, e a suplementação com ácido ascórbico e glúten vital.

8 TRABALHO FUTURO

Para a farinha de trigo espelta são necessários trabalhos futuros na melhoria do processo de moagem deste tipo de trigo, com foco no aumento de rendimento para que dessa forma mais pessoas sejam atraídas a realizar seu plantio.

Apesar de alguns estudos reconhecerem as características nutricionais do trigo espelta, fazem-se necessários mais estudos voltados para a avaliação de sua composição nutricional.

Estudos sobre a capacidade de absorção de água da farinha espelta também são interessantes de serem realizados. Mais estudos sobre as características reológicas da farinha de trigo espelta podem contribuir ainda mais para a qualidade tecnológica do pão elaborado com esse tipo de trigo.

Outros estudos poderiam avaliar as características reológicas, características nutricionais e qualidade do pão substituído com farinha espelta em associação com outros tipos de farinhas alternativas por exemplo, centeio, trigo-sarraceno e farinha de alfarroba.

Outra área de interesse deve ser a análise sensorial, pois a opinião do consumidor é muito importante para promover o interesse em consumir esse tipo de farinha.

Com relação aos melhoradores enzimáticos, existe um amplo espectro de pesquisa nessa área. Pode-se pensar em testar outros melhoradores, como exemplo, a amiloglucosidade e/ou testar concentrações diferentes. Para a glicose oxidase e fosfolipase não existem muitos estudos relacionados aos seus efeitos negativos ou positivos, os estudos existentes são controversos e muitos deles não utilizam farinhas alternativas ou substituições parciais para sua avaliação. Outra possibilidade é avaliar o efeito sinérgico e outros desenhos experimentais entre as concentrações de glicose oxidase, fosfolipase e ácido ascórbico.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC (2000). Method 10-05, approved methods of the AACC (10th ed.). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Abdelghafor, R. F., Mustafa, A. I., Ibrahim, A. M., Chen, Y. R., & Krishnan, P. G. (2013). Effects of sorghum flour addition on chemical and rheological properties of hard white winter wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(11), 1407-1412.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P., & Derbyshire, E. (2012). Improving the quality of nutrient-rich Teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 22-30.
- Alencar, N. M. M., Steel, C. J., Alvim, I. D., de Moraes, E. C., & Bolini, H. M. A. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 1011-1018.
- Altinel, B., & Ünal, S. S. (2017a). The effects of amyloglucosidase, glucose oxidase and hemicellulase utilization on the rheological behaviour of dough and quality characteristics of bread. *International journal of food engineering*, 54(6), 1628-1637
- Ammar, M., Hegazy, A., & Bedeir, S. (2009). Using of taro flour as partial substitute of wheat flour in bread making. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 4(2), 94-99.
- Aqualab. (2008). *Manual - AquaLab Series 4TE Water Activity Meter Operator's Manual*. Pullman, WA 99163 USA: Decagon Devices, Inc.
- Atwell, W. A., & Finnie, S. (2016). Wheat Flour. In S. Finnie & W. A. Atwell (Eds.), *Wheat Flour* (pp. 1-16): AACC International Press.
- Avramenko, N., Tyler, R., Scanlon, M., Hucl, P., & Nickerson, M. (2018). The chemistry of bread making: The role of salt to ensure optimal functionality of its constituents. *Food reviews international*, 34(3), 204-225.
- Azudin, N. (2006). The Milling Process. In L. Popper; W. Schafer; W. Freund (Eds). *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*. Kansas, USA: Agrimedia.
- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 211-217.

-
- Baratto, C. M., Becker, N. B., Gelinski, J. M. L. N., & Silveira, S. M. (2015). Influence of enzymes and ascorbic acid on dough rheology and wheat bread quality. *African Journal of Biotechnology*, *14*(46), 3124-3130.
- Belderok, B., Mesdag, J., Mesdag, H., & Donner, D. A. (2000). *Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe*. In B. Belderok (Ed.), *Bread-making quality of wheat (1. ed)*. Netherlands: Springer.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Cereals and Cereal Products. In *Food chemistry* (pp. 673-746): Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bhatt, S. M., & Gupta, R. K. (2015). Bread (composite flour) formulation and study of its nutritive, phytochemical and functional properties. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *4*(2), 254-268.
- Bibiana, I., Grace, N., & Julius, A. (2014). Quality evaluation of composite bread produced from wheat, maize and orange fleshed sweet potato flours. *American Journal of Food Science and Technology*, *2*(4), 109-115.
- Biel, W., Stankowski, S., Jaroszewska, A., Pużyński, S., & Boško, P. (2016). The influence of selected agronomic factors on the chemical composition of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) grain. *Journal of integrative agriculture*, *15*(8), 1763-1769.
- Bigne, F., Puppo, M. C., & Ferrero, C. (2018). Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a “panettone-like” bread. Applicability of part-baking technology. *LWT- Food Science and Technology*, *89*, 666-673.
- Biskup, I., Gajcy, M., & Fecka, I. (2017). The potential role of selected bioactive compounds from spelt and common wheat in glycemic control. *Advances in clinical and experimental medicine: official organ Wroclaw Medical University*, *26*(6), 1013-1019.
- Bodroza-Solarov, M., Mastilovic, J., Filipcev, B., & Simurina, O. (2009). *Triticum aestivum* spp. *spelta*-the potential for the organic wheat production. *PTEP (Serbia)*, *13*(2), 129-131.
- Bojnanska, T., & Francakova, H. (2002). The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostlinna Vyroba*, *48*(4), 141-147.
- Bojnanská, T., Šmitalová, J., & Vollmannová, A. (2016). Effect of the addition of hydrocolloids on the rheological and baking properties of the products with added spelt flour (*Triticum spelta* l.). *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, *10*(1), 157-163.
- Bojnanská, T., Šmitalová, J., Vollmannová, A., Tokár, M., & Vietoris, V. (2019). BAKERY PRODUCTS WITH THE ADDITION OF SOYBEAN FLOUR AND THEIR QUALITY AFTER FREEZER STORAGE OF DOUGH. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *4* (Special issue 3), 18-22.

-
- Bonafaccia, G., Galli, V., Francisci, R., Mair, V., Skrabanja, V., & Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food chemistry*, 68(4), 437-441.
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. In M. C. Bourne (Ed.), *Food Texture and Viscosity (Second Edition)*. UK, London: Academic Press.
- Boz, H., & Karaoğlu, M. M. (2013). Improving the quality of whole wheat bread by using various plant origin materials. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(5), 457-466.
- Caffe-Treml, M., Glover, K. D., Krishnan, P. G., Hareland, G. A., Bondalapati, K. D., & Stein, J. (2011). Effect of wheat genotype and environment on relationships between dough extensibility and breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, 88(2), 201-208.
- Calvel, R., Wirtz, R. L., & MacGuire, J. J. (2001). *The Taste of Bread: A translation of Le Goût du Pain, comment le préserver, comment le retrouver. The Taste of Bread (1ed)*. USA, New York: Springer.
- Carocho, M., Morales, P., Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, E., Heleno, S., . . . Ferreira, I. C. (2020). Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. *Food chemistry*, 310, 125954.
- Carson, L., & Sun, X. S. (2001). Creep-recovery of bread and correlation to sensory measurements of textural attributes. *Cereal Chemistry*, 78(1), 101-104.
- Casado V., Martín D., Torres C., Reglero G. (2012) Phospholipases in Food Industry: A Review. In: Sandoval G. (eds) Lipases and Phospholipases. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols), 861 , 495-523.
- Cauvain, S., Cornell, H., Wrigley, C., Gil, A. M., Mills, E. N. C., Eliasson, A. C., . . . Chinachoti, P. (2003). Contributor contact details. In S. P. Cauvain (Ed.), *Bread Making*: Woodhead Publishing.
- Cauvain S. P., Young L. S. (2006) Baked Products: Science, Technology and Practice. *Baked Products*. UK, Oxford: Blackwell Publishing
- Cauvain S. P., Young L. S. (2006) The Chorleywood Bread Process. In S. P. Cauvain (Ed.), *The Chorleywood Bread Process*. UK, Cambridge: CRC Press.
- Cauvain S. P., Young L. S. (2007) Technology of Breadmaking. In S. P. Cauvain (Eds.), *Technology of Breadmaking (second edition)*. USA, New York: Springer.
- Cauvain S. P., Young L. S. (2008) Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects. In S. P. Cauvain (Ed.), *Bakery Food Manufacture and Quality (second edition)*. UK, Oxford: Blackwell Publishing.

-
- Chandra, M., & Shamasundar, B. (2015). Texture profile analysis and functional properties of gelatin from the skin of three species of fresh water fish. *International journal of food properties*, 18(3), 572-584.
- Chavan, R. S., & Chavan, S. R. (2011). Sourdough technology—a traditional way for wholesome foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(3), 169-182.
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods—A review. *Journal of Food Engineering*, 119(3), 497-507.
- Clément, H., Prost, C., Chiron, H., Ducasse, M. B., Della Valle, G., Courcoux, P., & Onno, B. (2018). The effect of organic wheat flour by-products on sourdough performances assessed by a multi-criteria approach. *Food Research International*, 106, 974-981.
- Collar, C., & Bollaín, C. (2005). Relationships between dough functional indicators during breadmaking steps in formulated samples. *European Food Research and Technology*, 220(3-4), 372-379.
- Dagdelen, A. F., & Gocmen, D. (2007). Effects of glucose oxidase, hemicellulase and ascorbic acid on dough and bread quality. *Journal of food quality*, 30(6), 1009-1022.
- Dal-Pastro, F., Facco, P., Bezzo, F., Zamprogna, E., & Barolo, M. (2016). Data-driven modeling of milling and sieving operations in a wheat milling process. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 99-108.
- Damodaran, S. (2007). Amino Acids, Peptides, and Proteins. In S. Damodaran & K. L. Parkin (Eds), *Fennema's: food chemistry (fifth edition)*. USA, Florida: CRC Press.
- Dobraszczyk, B., & Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38(3), 229-245.
- DUNNEWIND, B., Sliwinski, E., Grolle, K., & Van Vliet, T. (2003). The kieffer dough and gluten extensibility rig—an experimental evaluation. *Journal of Texture Studies*, 34(5-6), 537-560.
- Eleazu, C., Eleazu, K., Aniedu, C., Amajor, J., Ikpeama, A., & Ebenzer, I. (2014). Effect of partial replacement of wheat flour with high quality cassava flour on the chemical composition, antioxidant activity, sensory quality, and microbial quality of bread. *Preventive nutrition and food science*, 19(2), 115-123.
- Encina-Zelada, C. R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. (2018). Combined effect of xanthan gum and water content on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread. *Food Research International*, 111, 544-555.

-
- Encina-Zelada, C. R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. (2019). Physicochemical and textural quality attributes of gluten-free bread formulated with guar gum. *European Food Research and Technology*, 245(2), 443-458.
- Eriksson, E., Koch, K., Tortoe, C., Akonor, P., & Oduro-Yeboah, C. (2014). Evaluation of the physical and sensory characteristics of bread produced from three varieties of cassava and wheat composite flours. *Food and Public Health*, 4, 214-222.
- Escarnot, E., Jacquemin, J.-M., Agneessens, R., & Paquot, M. (2012). Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat, a review. *BASE [En ligne]*, 16, 243-256.
- Eugenia Steffolani, M., Ribotta, P. D., Pérez, G. T., & León, A. E. (2012). Combinations of glucose oxidase, α -amylase and xylanase affect dough properties and bread quality. *International journal of food science & technology*, 47(3), 525-534.
- Faridi, H., & Faubion, J. M. (1990). Dough rheology and baked product texture. In Faridi, H., & Faubion, J. M, *Dough rheology and baked product texture*. USA, New York: Springer.
- Farrera-Rebollo, R. R., de la Paz Salgado-Cruz, M., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 474-484.
- Feili, R., Zzaman, W., Abdullah, W. N. W., & Yang, T. A. (2013). Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporated with jackfruit rind flour. *Food Science and Technology*, 1(2), 30-36.
- Filipčev, B., Bodroža-Solarov, M., Pestorić, M., & Šimurina, O. (2017). Breadmaking performance and textural changes during storage of composite breads made from spelt wheat and different forms of amaranth grain. *Food Science and Technology International*, 23(3), 235-244.
- Filipčev, B., Šimurina, O., & Bodroža-Solarov, M. (2014). Combined effect of xylanase, ascorbic and citric acid in regulating the quality of bread made from organically grown spelt cultivars. *Journal of food quality*, 37(3), 185-195.
- Frakolaki, G., Giannou, V., Topakas, E., & Tzia, C. (2018). Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 50-56.
- Gadallah, M. G., Rizk, I. R., Elsheshetawy, H., Bedeir, S., & Abouelazm, A. (2017). Impact of partial replacement of wheat flour with sorghum or chickpea flours on rheological properties of composite blends. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 10(1), 83-98.

-
- Gajula, H. (2017). *Effect of wheat bran on gluten network formation as studied through dough development, dough rheology and bread microstructure*. Dissertation, Kansas State University. Available: <http://hdl.handle.net/2097/35570>. Accessed 6 oct 2019.
- Gao, J., Wang, Y., Dong, Z., & Zhou, W. (2018). Structural and mechanical characteristics of bread and their impact on oral processing: a review. *International journal of food science & technology*, 53(4), 858-872.
- Garzón, R., Hernando, I., Llorca, E., & Rosell, C. M. (2018). Understanding the effect of emulsifiers on bread aeration during breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(14), 5494-5502.
- Gava, A.J.; Silva, C.A.B.; Frias, J.R.G. (2009). *Tecnologia de alimentos princípios e aplicações*. Brasil, São Paulo: Nobel.
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., & Dziki, D. (2012). Comparison of phenolic acids profile and antioxidant potential of six varieties of spelt (*Triticum spelta* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(18), 4603-4612.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W., Courtin, C., Gebruers, K., & Delcour, J. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in food science & technology*, 16(1-3), 12-30.
- Gomes, A., Ferreira, M., & Pimentel, T. (2016). Bread with flour obtained from green banana with its peel as partial substitute for wheat flour: Physical, chemical and microbiological characteristics and acceptance. *International Food Research Journal*, 23(5), 2214-2222.
- Gomez-Becerra, H. F., Erdem, H., Yazici, A., Tutus, Y., Torun, B., Ozturk, L., & Cakmak, I. (2010). Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 342-349.
- Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 268-278.
- Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2008). Discrimination of crumb grain visual appearance of organic and non-organic bread loaves by image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 480-488.
- Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2008). Prediction of panellists' perception of bread crumb appearance using fractal and visual textural features. *European Food Research and Technology*, 226(4), 779-785.
- Gwirtz, J. A.; Willyard M. R.; McFall K. L. (2006). Wheat: More than just a plant. In L. Popper; W. Schafer; W. Freund (Eds). *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*. USA, Kansas: Agrimedia.

-
- Hackenberg, S., Jekle, M., & Becker, T. (2018). Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology. *Food chemistry*, 248, 296-303.
- Haddad, Y., Benet, J., Delenne, J., Mermet, A., & Abecassis, J. (2001). Rheological Behaviour of Wheat Endosperm—Proposal for Classification Based on the Rheological Characteristics of Endosperm Test Samples. *Journal of Cereal Science*, 34(1), 105-113.
- Hadnađev, T. D. e., Pojic, M., Hadnađev, M., & Torbica, A. (2011). The role of empirical rheology in flour quality control. In I Akyar (Ed), *Wide spectra of quality control (335 - 366)*. Croatia, Rijeka: InTech.
- Harris, A. D., & Ramalingam, C. (2010). Xylanases and its application in food industry: a review. *Journal of Experimental Sciences*, 1(7), 01-11.
- Heitmann, M., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2015). Impact of different beer yeasts on wheat dough and bread quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 63, 49-56.
- Helmerich, G., & Koehler, P. (2003). Comparison of methods for the quantitative determination of phospholipids in lecithins and flour improvers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(23), 6645-6651.
- Hemdane, S., Jacobs, P. J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 28-42.
- Hoseney, C., 1994. Principles of Cereals Science and Technology (second edition). American Association of Cereal Chemists. USA: St. Paul.
- Leyn, I. (2006). Functional Additives. In Y. Hui; H. Corke; I. Leyn; W. Nip; N. Cross (Eds), *Bakery products: Science and technology (2ed.)*. USA, Ames: Blackwell Publishing.
- Ignácio, A. K. F., Rodrigues, J. T. d. D., Niizu, P. Y., Chang, Y. K., & Stell, C. J. (2013). Effect of the substitution of sodium chloride by potassium chloride in French rolls. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(1), 01-11.
- Jukić, M., Komlenić, D. K., Mastanjević, K., Mastanjević, K., Lučan, M., Popovici, C., . . . Lukinac, J. (2019). Influence of damaged starch on the quality parameters of wheat dough and bread. *Ukrainian Food Journal*, 8(3), 512-521.
- Kamoto, R. J., Kasapila, W., & Ng'ong'ola-Manani, T. A. (2018). Use of fungal alpha amylase and ascorbic acid in the optimisation of grain amaranth–wheat flour blended bread. *Food & nutrition research*, 62, 1341-1359.

-
- Karelakis, C., Zevgitis, P., Galanopoulos, K., & Mattas, K. (2019). Consumer Trends and Attitudes to Functional Foods. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 1-29.
- Parkin, K. L. (2007). Enzymes. In S. Damodarn & K. L. Parkin (Eds), *Fennema's: food chemistry (fifth edition)*. USA, Florida: CRC Press.
- Kiszonas, A. M., & Morris, C. F. (2018). Wheat breeding for quality: a historical review. *Cereal Chemistry*, 95(1), 17-34.
- Knapowski, T., Spychaj-Fabisiak, E., Kozera, W., & Murawska, B. (2016). Mineral Fertilization and Baking Value of Grain and Flour of *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. *American Journal of Experimental Agriculture*, 11(4), 1-11.
- Kohajdova, Z., & Karovicova, J. (2007). Effect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 14(4).
- Kohajdová, Z., & Karovicova, J. (2008). Nutritional value and baking application of spelt wheat. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 7(3), 5-14.
- KORCZYK-SZABÓ, J., & LACKO-BARTOŠOVÁ, M. (2012). Direct baking quality of spelt wheat (*Triticum spelta* L.). *Research Journal of Agricultural Science*, 44(1), 86-89.
- Kotoki, D., & Deka, S. (2010). Baking loss of bread with special emphasis on increasing water holding capacity. *Journal of food science and technology*, 47(1), 128-131.
- Kurek, M. A., Wyrwisz, J., Karp, S., Brzeska, M., & Wierzbicka, A. (2017). Comparative analysis of dough rheology and quality of bread baked from fortified and high-in-fiber flours. *Journal of Cereal Science*, 74, 210-217.
- Lacko-Bartošová, M., Korczyk-Szabó, J., & Ražný, R. (2010). *Triticum spelta*-a specialty grain for ecological farming systems. *Research Journal of Agricultural Science*, 42(1), 143-147.
- Lagrain, B., Goderis, B., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2010). Molecular basis of processing wheat gluten toward biobased materials. *Biomacromolecules*, 11(3), 533-541.
- Lauková, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Kuchtová, V., Minarovičová, L., & Tomášiková, L. (2017). Effects of cellulose fiber with different fiber length on rheological properties of wheat dough and quality of baked rolls. *Food Science and Technology International*, 23(6), 490-499.
- Ma, J., Kaori, F., Ma, L., Gao, M., Dong, C., Wang, J., & Luan, G. (2019). The effects of extruded black rice flour on rheological and structural properties of wheat-based dough and bread quality. *International journal of food science & technology*, 54(5), 1729-1740.

-
- Marconi, E., Carcea, M., Schiavone, M., & Cubadda, R. (2002). Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. *Cereal Chemistry*, 79(5), 634-639.
- Marques, C., D'auria, L., Cani, P. D., Baccelli, C., Rozenberg, R., Ruibal-Mendieta, N. L., . . . Habib-Jiwan, J.-L. (2007). Comparison of glycemic index of spelt and wheat bread in human volunteers. *Food chemistry*, 100(3), 1265-1271.
- Martínez, M. M., & Gómez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*, 197, 78-86.
- Mashayekh, M., Mahmoodi, M. R., & Entezari, M. H. (2008). Effect of fortification of defatted soy flour on sensory and rheological properties of wheat bread. *International journal of food science & technology*, 43(9), 1693-1698.
- McNeish, D. M., & Harring, J. R. (2017). Clustered data with small sample sizes: Comparing the performance of model-based and design-based approaches. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 46(2), 855-869.
- Melim Miguel, A. S., Martins-Meyer, T. S., da Costa Figueiredo, E. V., Paulo Lobo, B. W., & Dellamora-Ortiz, G. M. (2013). Enzymes in Bakery. *Current and Future Trends*. In I. Muzzalupo (Ed), *Food Industry* (pp 287-321). Croatia, Rijeka: InTech.
- Miller, R., & Hoseneey, R. (2008). Role of salt in baking. *Cereal Foods World*, 53(1), 4-6.
- Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 196-202.
- Mondal, A., & Datta, A. (2008). Bread baking: A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474.
- Muñoz-Insa, A., Selciano, H., Zarnkow, M., Becker, T., & Gastl, M. (2013). Malting process optimization of spelt (*Triticum spelta* L.) for the brewing process. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 99-109.
- Nemar, F., Bouras, A. D., Koiche, M., Assal, N., Mezaini, A., & Prodhomme, J. (2015). Bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour. *Italian Journal of Food Science*, 27(3), 345-350.
- Néron, S., El Amrani, F., Potus, J., & Nicolas, J. (2004). Separation and quantification by high-performance liquid chromatography with light scattering detection of the main wheat flour phospholipids during dough mixing in the presence of phospholipase. *Journal of Chromatography A*, 1047(1), 77-83.

-
- Noort, M. W., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality—Evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59-64.
- Ohimain, E. I. (2015). Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread. *European Food Research and Technology*, 240(2), 257-271.
- Onyango, C. (2016). Starch and modified starch in bread making: A review. *African Journal of Food Science*, 10(12), 344-351.
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 681-686.
- Ouazib, M., Dura, A., Zaidi, F., & Rosell, C. M. (2016). Effect of partial substitution of wheat flour by processed (germinated, toasted, cooked) chickpea on bread quality.
- Özer, M., Kola, O., & Duran, H. (2010b). Effects of buckwheat flour combining phospholipase or DATEM on dough properties. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8, 13-16.
- Parenti, O., Guerrini, L., Canuti, V., Angeloni, G., Masella, P., & Zanoni, B. (2019). The effect of the addition of gelatinized flour on dough rheology and quality of bread made from brown wheat flour. *LWT-Food Science and Technology*, 106, 240-246.
- Park, S. H., Na, Y., Kim, J., Dal Kang, S., & Park, K.-H. (2018). Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry. *Food science and biotechnology*, 27(2), 299-312.
- Patimah, S., Arundhana, A. I., Mursaha, A., & Syam, A. (2019). Development of Foxtail Millet and Flying Fish Flour-Based Cookies as Functional Food. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 7(2).
- Portaria n.º 52/2015 de 26 de fevereiro. Ministérios da Economia, da Agricultura e do Mar e da Saúde., (2015).
- Portaria n.º 254/2003 de 19 de Março dos Ministérios da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, (2003).
- Pourafshar, S., Rosentrater, K. A., & Krishnan, P. G. (2015). Using alternative flours as partial replacement of barbari bread formulation (traditional Iranian bread). *Journal of food science and technology*, 52(9), 5691-5699.
- Pruska-Kedzior, A., Kedzior, Z., & Klockiewicz-Kaminska, E. (2008). Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *European Food Research and Technology*, 227(1), 199-207.

-
- Rathnayake, H., Navaratne, S., & Navaratne, C. (2018). Porous crumb structure of leavened baked products. *International Journal of Food Science*, 2018, 15p.
- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available online at: <http://www.R-project.org/> (Accessed: 15.03.2020).
- Renzetti, S., Courtin, C., Delcour, J., & Arendt, E. (2010). Oxidative and proteolytic enzyme preparations as promising improvers for oat bread formulations: rheological, biochemical and microstructural background. *Food chemistry*, 119(4), 1465-1473.
- Ribeiro, P. S. (2009). *Aproximação ao estudo da tipificação do Pão de Mafra*. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa. Disponível: <http://hdl.handle.net/10400.5/1611> .Acessado 04 set 2019.
- Rieder, A., Holtekjølen, A. K., Sahlstrøm, S., & Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 44-52.
- Rocha, A. L. d. (2014). *Planejamento de misturas aplicado ao uso de melhoradores de farinha para panificação* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Disponível: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5099>. Acessado em 20 de janeiro de 2020.
- Roudot, A. 2004. Generalidades sobre el análisis de textura. *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. España, Madrid: Editorial Acribia S.A.
- Sahnoun, M., Kriaa, M., Besbes, S., Jardak, M., Bejar, S., & Kammoun, R. (2016). Optimization of *Aspergillus oryzae* S2 α -amylase, ascorbic acid, and glucose oxidase combination for improved French and composite Ukrainian wheat dough properties and bread quality using a mixture design approach. *Food science and biotechnology*, 25(5), 1291-1298.
- Sanful, R. E., & Darko, S. (2010). Utilization of soybean flour in the production of bread. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 815-818.
- Santos, D. (2005). *Influência das pentosanas nas propriedades funcionais do glúten e amido de trigo*. Tese de Doutorado, Universidade de aveiro. Disponível: <http://hdl.handle.net/10773/3218>. Acessado 25 de abril de 2020.
- Scheuer, P. M., FRANCISCO, A. d., MIRANDA, M. d., & Limberger, V. M. (2011). Trigo: características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13(2), 211-222.
- Schmiele, M., Jaekel, L. Z., Patricio, S. M. C., Steel, C. J., & Chang, Y. K. (2012). 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 & technology*, 47(10), 2141-2150.
- Sehn, G. A. R. (2015). *Desenvolvimento de padrões reológicos para farinhas de trigo e estudo do envelhecimento de pães de forma integrais*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Disponível: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/256011>. Acessado 25 jan 2020.
- Shewry, P. R. (2018). Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? *Journal of Cereal Science*, 79, 469-476.
- Silow, C., Axel, C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018). Application of sourdough in the production of fat-and salt-reduced puff pastry. *European Food Research and Technology*, 244(9), 1581-1593.
- Silva, C. B. d., Almeida, E. L., & Chang, Y. K. (2016). Interaction between xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the technological quality of whole wheat bread. *Ciência Rural*, 46(12), 2249-2256.
- Silva, K. A. d. (2017). *Análises reológicas e físico-químicas da farinha de trigo de seis diferentes cultivares recomendadas para o estado do Paraná (safra 2016)*. Tese de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8948/1/PG_COALM_2017_2_09.pdf. Acessado 14 out 2019.
- Silva, L. P. (2018). *Qualidade de farinhas de trigo obtidas em moinho industrial e experimental*. Tese de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10311>. Acessado 18 out 2019.
- SIRBU, A., & PASLARU, V. (2007). Phospholipase using as breadmaking improver. *J. Environ. Prot. Ecol*, 8, 1-10.
- Skendi, A., Irakli, M., Chatzopoulou, P., & Papageorgiou, M. (2019). Aromatic plants of Lamiaceae family in a traditional bread recipe: Effects on quality and phytochemical content. *Journal of food biochemistry*, 43(11), 1-11.
- Sobczyk, A., Pycia, K., Stankowski, S., Jaworska, G., & Kuźniar, P. (2017). Evaluation of the rheological properties of dough and quality of bread made with the flour obtained from old cultivars and modern breeding lines of spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). *Journal of Cereal Science*, 77, 35-41.
- Stampfli, L., Nersten, B., & Molteberg, E. (1996). Effects of emulsifiers on farinograph and extensograph measurements. *Food chemistry*, 57(4), 523-530.

-
- Steffolani, M. E., Ribotta, P. D., Pérez, G. T., & León, A. E. (2010). Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 366-373.
- Stojceska, V., & Butler, F. (2012). Investigation of reported correlation coefficients between rheological properties of the wheat bread doughs and baking performance of the corresponding wheat flours. *Trends in food science & technology*, 24(1), 13-18.
- Suchowilska, E., Szafrńska, A., Słowik, E., & Wiwart, M. (2019). Flour from *Triticum polonicum* L. as a potential ingredient in bread production. *Cereal Chemistry*, 96(3), 554-563.
- Sun, H., Ju, Q., Ma, J., Chen, J., Li, Y., Yuan, Y., . . . Luan, G. (2019). The effects of extruded corn flour on rheological properties of wheat-based composite dough and the bread quality. *Food science & nutrition*, 7(9), 2977-2985.
- Sundarram, A., & Murthy, T. P. K. (2014). α -amylase production and applications: a review. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(4), 166-175.
- Świeca, M., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., Andruszczak, S., Kraska, P., . . . Baraniak, B. (2014). Grinding and nutritional properties of six spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivars. *Cereal Chemistry*, 91(3), 247-254.
- Tebben, L., Shen, Y., & Li, Y. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in food science & technology*, 81, 10-24.
- Teixeira, A. K. M., Silva, R. R., Lima, C. M. G., Pagnossa, J. P., Gonçalves, J. T. T., Barbosa, A. A., ... & Santana, R. F. (2020). Whole grain bread preserved with lemon juice: a comparative study/Pão integral conservado com suco de limão: um estudo comparativo. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), 33381-33391.
- Trejo-González, A., Loyo-González, A., & Munguía-Mazariegos, M. (2014). Evaluation of bread made from composite wheat-sweet potato flours. *International Food Research Journal*, 21(4), 1683-1688.
- Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174-181.
- Vukić, M., Hadnađev, M., Tomić, J., & Mastilović, J. (2013). Alveograph and bread making quality of wheat dough as affected by added glucose oxidase. *Quality of life*, 8(3-4), 49-54.
- Wagner, M. J., Lucas, T., Le Ray, D., & Trystram, G. (2007). Water transport in bread during baking. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1167-1173.

-
- Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (2017). Preface to the Second Edition. In Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (Eds.), *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality (Second Edition)* (pp. 1-32). Oxford: Woodhead Publishing.
- Yamsaengsung, R., Schoenlechner, R., & Berghofer, E. (2010). The effects of chickpea on the functional properties of white and whole wheat bread. *International journal of food science & technology*, 45(3), 610-620.
- Yang, T., Bai, Y., Wu, F., Yang, N., Zhang, Y., Bashari, M., . . . Xu, X. (2014). Combined effects of glucose oxidase, papain and xylanase on browning inhibition and characteristics of fresh whole wheat dough. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 249-254.
- Yildiz, O., Meral, R., & Dogan, I. S. (2012). Determination of stickiness values of different flour combinations. *International journal of food engineering*, 8(3), 1-13.
- Zaidel, D. A., Chin, N., & Yusof, Y. (2010). A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Journal of Applied Sciences(Faisalabad)*, 10(20), 2478-2490.
- Zeng, J., Gao, H., Li, G., & Liang, X. (2011). *Alpha-amylase and glucose oxidase as promising improvers for wheat bread*. Paper presented at the 2011 Fourth International Conference on Information and Computing, p 522-524.
- Zeng, J., Gao, H. Y., Jin, L., Zhang, Z. P., & Zhang, H. R. (2011). *Texture of wheat bread improved by α -amylase and glucose oxidase*. Paper presented at the Advanced Materials Research, (236-238), p 35-38.