

PAULA FERNANDA PINTO DA COSTA

**EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA E DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA
NA VIDA DE PRATELEIRA E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS
DA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E DO PÃO DE FORMA INTEGRAL**

CAMPINAS

2009



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



**EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA E DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA
NA VIDA DE PRATELEIRA E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS
DA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E DO PÃO DE FORMA INTEGRAL**

Paula Fernanda Pinto da Costa
Engenheira Agrônoma

Prof. Dr Yoon Kil Chang
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos

Campinas - SP

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

C823e Costa, Paula Fernanda Pinto da
Efeito da radiação gama e da radiação infravermelha na vida de prateleira e nas características tecnológicas da farinha de trigo integral e do pão de forma integral / Paula Fernanda Pinto da Costa. – Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Yoon Kil Chang
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Pão. 2. Farinha de trigo integral. 3. Vida de prateleira. 4. Radiação gama. 5. Radiação infravermelha. I. Chang, Yoon Kil. II. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Effect of gamma radiation and infrared radiation on the shelf life and technological characteristics of whole wheat flour and whole bread
Palavras-chave em inglês (Keywords): Bread, Whole wheat flour, Shelf life, Gamma radiation, Infrared radiation

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Yoon Kil Chang

Carolynne Joy Steel

Maria teresa Pedrosa Silva Clerici

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp
(Orientador)

Profª Drª Caroline Joy Steel
Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp
(Membro titular)

Profª Drª Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
Uniararas
(Membro titular)

Prof. Dr. Ahmed Attia El Dash
Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp
(Membro suplente)

Drª Elizabeth Harumi Nabeshima
Instituto de Tecnologia de Alimentos
(Membro suplente)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com muito carinho:

A Deus,

Aos meus pais Gerson e Tereza,

Ao meu irmão Gerson Junior,

e ao meu noivo Leomar.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me mostrar o valor da força e persistência.

Aos meus queridos pais, Gerson e Tereza, meu irmão, Gerson Junior e ao meu noivo, Leomar pelo amor, apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Dr. Yoon Kil Chang, pela orientação, dedicação, amizade e valiosa experiência, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca pelas correções e sugestões feitas ao trabalho.

Aos laboratoristas do Departamento de Tecnologia de Alimentos, em especial à Alessandra Coelho, Ana Lourdes, Ana Maria, Ana Koon, Bernadete, Diana e Renata, que tornaram meu trabalho melhor, através do apoio, amizade e dedicação.

À todos os amigos do laboratório de cereais, pelo carinho, amizade e colaboração, em especial, à Camila Silva pela ajuda na obtenção de matérias-primas e dicas na condução do projeto e Maria Teresa Pedrosa Clerici pelo apoio e incentivo.

Aos funcionários da Padaria da FEA, ao Sr. José e a Zezé, pelo apoio, amizade e grande ajuda nos trabalhos.

Aos alunos de graduação, Denise Duarte de Souza, Felipe Chiaretto, Gabriela Wakayama Nomiyama, Ingrid de Paula Souza e Mayra Lumi Noguchi, pela amizade e dedicação ao projeto.

Às minhas queridas amigas, Luciana Brigatto Fontes, Vanessa Pires da Rosa, Larissa Bertran, Ângela Teixeira, Kelly Gandra e Daniela Cordeiro, pela amizade sincera, companheirismo, agradáveis momentos de convivência e incentivo.

À Embrarad pela disposição em aplicar a radiação gama.

À empresa de sementes Lagoa Bonita pela doação das sementes de trigo.

Às empresas Labonathus e Danisco pela doação de ingredientes usados na panificação.

À FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto (Processo nº2007/00578-1).

Ao CNPq pela bolsa de mestrado.

À Unicamp, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade e pelas facilidades oferecidas para execução deste trabalho.

À todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho, aqui não mencionados, mas não esquecidos.

SUMARIO

LISTA DE TABELAS.....	xvi
LISTA DE FIGURAS.....	xix
RESUMO GERAL.....	xx
GENERAL SUMMARY.....	xxii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
1. Produtos integrais.....	11
2. Trigo.....	15
3. Farinha de trigo integral.....	18
4. Qualidade da farinha.....	20
4.1 Umidade.....	20
4.2 Ácidos graxos livres.....	21
4.3 Cor.....	21
4.4 Atividade da enzima alfa amilase.....	22
4.5 Características reológicas da massa.....	22
4.6 Índice de glúten.....	25
5. Pão integral.....	26
6. Métodos de conservação.....	28
6.1 Radiação gama.....	29
6.2 Radiação infravermelha.....	33
7. Bibliografia.....	38
CAPÍTULO 2 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA NA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL.....	47
Resumo.....	49
Abstract.....	51
1 Introdução.....	53
2. Materiais e métodos.....	54
2.1 Matérias-primas.....	54
2.2 Métodos.....	55

2.2.1 Definição dos tratamentos	55
2.2.2 Avaliações	56
2.2.2.1 Composição centesimal	56
2.2.2.2 Cor instrumental	56
2.2.2.3 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral irradiadas e controle	56
2.2.2.3.1 Viscosidade da pasta	57
2.2.2.3.2 Farinografia	57
2.2.2.3.3 Extensografia	57
2.2.2.3.4 Teores e índice de glúten	57
2.2.2.3.5 Falling Number	58
2.2.2.4 Acompanhamento da estabilidade	58
2.2.2.4.1 Umidade	58
2.2.2.4.2 Acidez do extrato etéreo	58
2.2.2.4.3 Análise microbiológica	59
2.2.2.4.4 Presença de insetos	59
2.2.2.5 Elaboração dos pães de forma integrais	59
2.2.2.6 Avaliação dos pães de forma	60
2.2.2.6.1 Volume específico	60
2.2.2.7 Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem	61
2.2.2.7.1 Umidade	61
2.2.2.7.2 Análise de textura instrumental	61
2.2.2.8 Análise estatística	61
3. Resultados e discussão	62
3.1 Composição centesimal	62
3.2 Cor instrumental das farinhas de trigo integral	63
3.3 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral	64
3.3.1 Viscosidade da pasta	64
3.3.2 Farinografia	66
3.3.3 Extensografia	68
3.3.4 Teores e índices de glúten	70
3.3.5 Número de queda (Falling number)	72
3.4 Acompanhamento da estabilidade	73
3.4.1 Umidade	73

3.4.2 Acidez do extrato etéreo	74
3.4.3 Análise microbiológica	77
3.4.4 Infestação de insetos	78
3.5 Avaliação da qualidade de panificação	78
3.5.1 Volume específico dos pães	79
3.5.2 Teor de umidade dos pães	81
3.5.3 Textura instrumental dos pães de forma integrais.....	85
4. Conclusão.....	89
5. Bibliografia.....	90
CAPÍTULO 3 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA NO GRÃO DE TRIGO SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA INTEGRAL E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL	
Resumo	97
Abstract	99
1 Introdução.....	101
2 Materiais e métodos.....	102
2.1 Matérias primas	102
2.2 Métodos.....	103
2.2.1 Definição dos tratamentos	103
2.2.2 Avaliações	104
2.2.2.1 Composição centesimal	104
2.2.2.2 Cor instrumental.....	104
2.2.2.3 Avaliações reológicas das farinhas integrais dos grãos de trigo irradiados e controle	104
2.2.2.3.1 Viscosidade da pasta.....	105
2.2.2.3.2 Farinografia.....	105
2.2.2.3.3 Extensografia.....	105
2.2.2.3.4 Teores e índice de glúten.....	105
2.2.2.3.5 Falling Number	106
2.2.2.4 Acompanhamento da estabilidade	106
2.2.2.4.1 Umidade	106
2.2.2.4.2 Acidez do extrato etéreo	106
2.2.2.4.3 Análise microbiológica	107

2.2.2.4.4	Presença de insetos	107
2.2.2.5	Elaboração dos pães de forma integrais	107
2.2.2.6	Avaliações dos pães de forma integrais	109
2.2.2.6.1	Volume específico.....	109
2.2.2.7	Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem.....	110
2.2.2.7.1	Umidade	110
2.2.2.7.2	Análise de textura instrumental	110
2.2.2.8	Análise estatística	110
3	Resultados e discussão	111
3.1	Composição centesimal	111
3.2	Cor instrumental das farinhas dos grãos de trigo	112
3.3	Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral	113
3.3.1	Viscosidade da Pasta.....	113
3.3.2	Farinografia.....	115
3.3.3	Extensografia	118
3.3.4	Teores e índices de glúten	120
3.3.5	Número de queda (<i>Falling Number</i>)	122
3.4	Acompanhamento da estabilidade	124
3.4.1	Umidade dos grãos de trigo	124
3.4.2	Acidez do extrato etéreo	125
3.4.3	Análise microbiológica.....	127
3.4.4	Infestação de insetos	128
3.5	Avaliação da qualidade de panificação	128
3.5.1	Volume específico dos pães de forma integrais	129
3.5.2	Teor de umidade dos pães.....	131
3.5.3	Textura instrumental dos pães de forma integrais	135
4	Conclusão.....	137
5	Bibliografia.....	138
CAPÍTULO 4 - EFEITO DO TRATAMENTO DO FARELO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL.....		143
Resumo		145

Abstract	147
1 Introdução.....	149
2 Materiais e métodos.....	151
2.1 Matérias primas	151
2.2 Métodos.....	152
2.2.1 Definição dos tratamentos.....	152
2.2.2 Avaliações.....	155
2.2.2.1 Escolha do melhor tratamento.....	155
2.2.2.1.1 Atividade da lipase	155
2.2.2.1.2 Contagem de bolores e leveduras.....	156
2.2.2.2 Composição centesimal	156
2.2.2.3 Cor instrumental.....	156
2.2.2.4 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral controle e tratada.....	156
2.2.2.4.1 Viscosidade da pasta	156
2.2.2.4.2 Farinografia.....	157
2.2.2.4.3 Extensografia	157
2.2.2.4.4 Teores e índice de glúten.....	157
2.2.2.4.5 Falling Number.....	158
2.2.2.5 Acompanhamento da estabilidade	158
2.2.2.5.1 Umidade.....	158
2.2.2.5.2 Acidez do extrato etéreo	158
2.2.2.5.3 Análise microbiológica.....	159
2.2.2.5.4 Presença de insetos.....	159
2.2.2.6 Elaboração dos pães de forma integrais	159
2.2.2.7 Avaliação dos pães de forma	160
2.2.2.7.1 Volume específico.....	160
2.2.2.8 Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem.....	161
2.2.2.8.1 Umidade.....	161
2.2.2.8.2 Análise de textura instrumental	161
2.2.2.9 Análise estatística	161
3 Resultados e discussão	162
3.1 Escolha do melhor tratamento do farelo com radiação infravermelha	162
3.2 Composição centesimal.....	165

3.3	Cor instrumental das farinhas de trigo integral	166
3.4	Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral	167
3.4.1	Viscosidade da pasta	167
3.4.2	Farinografia.....	168
3.4.3	Extensografia	169
3.4.4	Teores e índices de glúten	170
3.4.5	Número de queda (<i>Falling Number</i>)	171
3.5	Acompanhamento da estabilidade	172
3.5.1	Umidade.....	172
3.5.2	Acidez do extrato etéreo	173
3.5.3	Análise microbiológica.....	175
3.5.4	Infestação de insetos	177
3.6	Avaliação da qualidade de panificação	177
3.6.1	Volume específico dos pães.....	177
3.6.2	Teor de umidade dos pães.....	179
3.6.3	Textura instrumental dos pães de forma integrais	180
4	Conclusão.....	183
5	Bibliografia.....	184
	CONCLUSÃO GERAL	189

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Limites de tolerância para a farinha de trigo estabelecidos pela Instrução Normativa nº8, de 02/06/2005.....	19
Tabela 1.2 – Parâmetros farinográficos característicos de farinhas com diferentes forças...	24
Tabela 1.3 – Classificação da farinha quanto à qualidade, avaliada pelo índice de glúten...	25
Tabela 2.1 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma.	59
Tabela 2.2 - Composição centesimal (base seca) das farinhas de trigo integral submetidas a cinco doses de radiação gama	62
Tabela 2.3 – Valores de L*, a* e b* das farinhas de trigo integral irradiadas e controle.....	64
Tabela 2.4 – Efeito da aplicação de doses de radiação gama sobre as propriedades da pasta de farinha de trigo integral.....	65
Tabela 2.5 – Parâmetros farinográficos da farinha de trigo integral irradiada.....	66
Tabela 2.6 – Parâmetros extensográficos da farinha de trigo integral irradiada	69
Tabela 2.7 – Características do glúten da farinha de trigo integral irradiada	71
Tabela 2.8 – Atividade da enzima α -amilase medida através do <i>Falling number</i> da farinha de trigo integral irradiada	73
Tabela 2.9 – Teor de umidade (%) da farinha de trigo integral irradiada, armazenada durante 4 meses	74
Tabela 2.10 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g ⁻¹)	77
Tabela 2.11 – Volume específico (cm ³ .g ⁻¹) dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada em diferentes doses.....	80
Tabela 2.12 – Acompanhamento da umidade dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada e armazenada durante 2 meses, avaliada mensalmente	82
Tabela 2.13 – Influência do tempo de armazenamento da farinha de trigo na umidade (%) dos pães	84
Tabela 2.14 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral irradiada com diferentes doses e durante o seu armazenamento por 7 dias.....	86
Tabela 3.1 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma	107
Tabela 3.2 - Composição centesimal (base seca) das farinhas integrais de grãos de trigo submetidos a cinco doses de radiação gama.....	111
Tabela 3.3 - Cor da farinha integral de grãos de trigo determinada pelo sistema CIELab ..	113

Tabela 3.4 – Efeito da aplicação de doses de radiação gama sobre as propriedades da pasta da farinha integral dos grãos de trigo	114
Tabela 3.5 – Parâmetros farinográficos da farinha integral dos grãos de trigo irradiado	116
Tabela 3.6 - Parâmetros extensográficos da farinha integral dos grãos de trigo irradiados	119
Tabela 3.7 – Características do glúten da farinha integral de grãos de trigo irradiados.....	121
Tabela 3.8 – Atividade da enzima α -amilase medida através do <i>Falling Number</i> das farinhas integrais de grãos de trigo irradiados	123
Tabela 3.9 – Teor de umidade (%) da farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados, armazenados durante 4 meses.....	124
Tabela 3.10 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g ⁻¹) na farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados, durante 4 meses de armazenamento	127
Tabela 3.11 – Volume específico (cm ³ .g ⁻¹) dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados e armazenados durante 4 meses	130
Tabela 3.12 – Umidade (%) dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados, durante 4 meses de armazenamento dos grãos	132
Tabela 3.13 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha integral de grãos de trigo irradiado com diferentes doses e durante o seu armazenamento por 7 dias	136
Tabela 4.1 - Níveis das variáveis independentes do delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2 ²	153
Tabela 4.2 - Delineamento estatístico do tipo composto central rotacional	153
Tabela 4.3 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma.	159
Tabela 4.4 - Atividade da lipase e contagem de bolores e leveduras no farelo de trigo de acordo com os ensaios realizados neste estudo	162
Tabela 4.5 – ANOVA para a resposta atividade da enzima lipase	163
Tabela 4.6 - Resultados dos parâmetros atividade da enzima lipase e contagem de bolores e leveduras na validação das condições definidas para tratamento com radiação infravermelha	165
Tabela 4.7 - Composição centesimal (base seca) das farinhas de trigo integral tratada com radiação infravermelha e controle	166
Tabela 4.8 – Valores de L*, a* e b* das farinhas de trigo integral controle e tratada	167
Tabela 4.9 – Viscosidade da pasta da farinha de trigo integral controle e tratada.....	168
Tabela 4.10 – Parâmetros farinográficos da farinha de trigo integral tratada e controle	169

Tabela 4.11 – Parâmetros extensográficos da farinha de trigo integral tratada e controle..	170
Tabela 4.12 – Características do glúten da farinha de trigo integral tratada com radiação infravermelha e controle	171
Tabela 4.13 – Atividade da enzima α -amilase medida através do <i>Falling Number</i> das farinhas de trigo integral tratada e controle	172
Tabela 4.14 – Teor de umidade (%) da farinha de trigo integral tratada e controle, durante os 4 meses de armazenamento.....	173
Tabela 4.15 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100 g) das farinhas de trigo integral controle e tratada durante 4 meses de armazenamento	175
Tabela 4.16 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g ⁻¹) na farinha de trigo integral controle e tratada durante o armazenamento.....	176
Tabela 4.17 – Volume específico dos pães (cm ³ .g ⁻¹) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral controle e tratada durante 4 meses de armazenamento	178
Tabela 4.18 – Acompanhamento da umidade(%) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral tratada e controle, durante 4 meses de armazenamento	180
Tabela 4.19 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral tratada e controle, durante 4 meses de armazenamento	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Nova pirâmide alimentar	13
Figura 1.2 - Distribuição (%) dos fitoquímicos nas frações de moagem do trigo integral.....	15
Figura 1.3 – Estrutura do grão de trigo.....	17
Figura 1.4 – Farinógrafo, marca Brabender	23
Figura 1.5 – Extensógrafo, marca Brabender.....	24
Figura 1.6 – Radura - símbolo utilizado em produtos irradiados.....	30
Figura 1.7 – Esquema geral do funcionamento de uma empresa de irradiação (Fonte: CBE/SA, 2008).	31
Figura 2.1 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100g) das farinhas de trigo integral: (a) Acompanhamento da acidez durante os meses e (b) Comparação da acidez entre doses..	76
Figura 2.2 – Fotografias dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada, no início do armazenamento.....	79
Figura 3.1 – Ilustração das etapas da elaboração dos pães.	109
Figura 3.2 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100g) dos grãos de trigo irradiados: (a) Acompanhamento da acidez durante os meses e (b) Comparação da acidez entre doses.	126
Figura 3.3 – Fotografias dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados.....	129
Figura 3.4 – Comparação da umidade dos pães nos dias 1 (a), 4 (b) e 7 (c) elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados, durante 4 meses de armazenamento.....	134
Figura 4.1 – Equipamento utilizado no tratamento do farelo com radiação infravermelha. .	154
Figura 4.2 - Modelo de bandeja e preparação de amostra usada no estudo.	154
Figura 4.3 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável atividade da enzima lipase no farelo de trigo em função da variação de tempo e temperatura no processo de aplicação de radiação infravermelha.....	164
Figura 4.4 – Fotografias dos pães elaborados com farinha de trigo integral controle e tratada com radiação infravermelha.....	178

RESUMO GERAL

Existe uma demanda crescente por produtos funcionais contendo fibras, principalmente por produtos de panificação utilizando farinha de trigo integral, devido aos benefícios à saúde, como a diminuição do risco de alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, diverticulites e problemas relacionados à obesidade. No entanto, a farinha de trigo integral possui vida de prateleira reduzida por apresentar alta atividade enzimática e presença de bolores e leveduras que dificultam seu armazenamento e conservação. Estudos demonstraram que a vida de prateleira da farinha de trigo integral pode ser prolongada através de métodos de estabilização, como a utilização de radiação gama ou radiação infravermelha em condições adequadas. Este trabalho objetivou estudar o efeito de métodos de estabilização da farinha de trigo integral utilizando radiação gama e radiação infravermelha na vida de prateleira e nas características tecnológicas da farinha integral e na elaboração de pão de forma. Foram realizados experimentos para estabelecer as melhores doses de radiação gama (0,5; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 kGy), aplicada na farinha de trigo integral e nos grãos de trigo. As condições ideais de temperatura e tempo de exposição do farelo à radiação infravermelha, foram determinadas através do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR 2²), variando a temperatura de 66 (-1,41) a 94°C (+1,41), e o tempo de 8 (-1,41) a 22 minutos (+1,41). Os ensaios da radiação infravermelha foram realizados em estufa equipada com resistências infravermelhas de cerâmica, de comprimento de onda de 2,7 µm. Foram realizadas análises após a aplicação das doses de radiação gama (na farinha e no grão) e radiação infravermelha (no farelo), sendo avaliadas as características físico-químicas (composição centesimal e cor) e reológicas (viscosidade da pasta, farinografia, extensografia, teores e índices de glúten e Falling Number) das farinhas irradiadas e controle. As farinhas integrais e os grãos irradiados com radiação gama e a farinha de trigo integral reconstituída com o farelo submetido a radiação infravermelha (20 min a 90°C) foram armazenados durante quatro meses e a cada mês foram

realizadas análises para acompanhamento da estabilidade (acidez do extrato etéreo, microbiologia e presença de insetos), e desempenho em panificação (volume específico, umidade e dureza dos pães de forma integrais). Os resultados demonstraram que: a) a qualidade da farinha de trigo integral e dos pães de forma é influenciada por sua estabilidade e características reológicas; b) os efeitos da radiação gama na farinha integral são dependentes da dose de radiação gama aplicada, sendo que todas elas afetaram de modo negativo as características reológicas e a qualidade dos pães, devido a modificações causadas nas frações amido e proteína; no entanto a utilização de baixas doses melhorou a estabilidade, porém, devido aos efeitos adversos na massa, esta técnica não é recomendada; c) os efeitos da radiação gama nos grãos de trigo também são dependentes da dose utilizada; no entanto, se observou que os efeitos no grão não são tão intensos como aqueles observados na farinha de trigo integral, sendo que a dose 0,5 kGy, foi eficiente na estabilização dos grãos e da farinha resultante, não interferindo significativamente nas características reológicas e na qualidade dos pães, podendo ser uma alternativa para o prolongamento da estabilidade dos mesmos; d) a utilização de radiação infravermelha demonstrou ser eficiente nos propósitos deste trabalho, pois, prolongou a estabilidade da farinha de trigo integral e melhorou a qualidade dos pães de forma integrais. Esta depende das condições de tempo e temperatura utilizadas, sendo verificado que a exposição do farelo a 90°C por 20 minutos foi eficiente para reduzir a atividade da enzima lipase e a contagem de bolores e leveduras, melhorando a estabilidade da farinha de trigo integral e a qualidade dos pães.

Palavras chave: Pão de forma integral, farinha de trigo integral, vida de prateleira, radiação gama, radiação infravermelha, farelo de trigo

GENERAL SUMMARY

EFFECT OF GAMMA RADIATION AND INFRARED RADIATION ON THE SHELF LIFE AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WHOLE WHEAT FLOUR AND WHOLE BREAD

There is an increasing demand for functional products with fibers, mainly for bakery products using whole wheat flour, due to health benefits, such as reductions of the risk cardiovascular and diverticular diseases, cancer, and problems related to obesity. However, whole wheat flour has a reduced shelf life because it presents high enzymatic activity and the presence of molds and yeasts that make its storage and conservatism difficult. Studies have demonstrated that the shelf life of whole wheat flour can be improved through stabilization methods, such as gamma radiation or infra red radiation used in adequate conditions. The objective of this work was to study the effect of stabilization methods for whole wheat flour using gammaradiation and infra red radiation on the shelf life and technological characteristics of the whole wheat flour and on whole bread elaboration. Experiments were carried out to establish the best doses of gamma radiation (0.5, 1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 kGy), applied to whole wheat flour and to wheat grains. The ideal conditions of temperature and exposition time of the bran to infra red radiation, were determined through the Response Surface Methodology (CCRD 2²), varying temperature from 66 (-1,41) to 94°C (+1,41), and time from 8 (-1,41) to 22 minutes (+1,41). The infra red radiation assays were carried out in an oven equipped with infra red ceramic resistances, with a wave length of 2.7 µm. Analyses were carried out after the application of gamma radiation doses (in the flour and in the grain) and infra red radiation (in the bran)evaluating the physical-chemical (proximate chemical composition and color) and rheological (paste viscosity, farinograph, extensograph, gluten content and Falling Number) characteristics of radiated and control flours. The gamma radiated whole wheat flours and grains and the whole wheat flour reconstituted with the bran submitted to infra red radiation (20 min at 90°C) were stored during four months and

at each month analyses to follow stability (fat acidity, microbiology and presence of insects), and to evaluate baking performance (specific volume, moisture and hardness of whole breads) were carried out. The results demonstrated that: a) the quality of whole wheat flour and of the whole breads is influenced by their stability and rheological characteristics; b) the effects of gamma radiation on whole flour are dependent on the gamma radiation dose applied, but all doses negatively affected rheological characteristics and bread quality, due to modifications caused in the starch and protein fractions; however, the use of low doses improved stability, but due to the adverse effects on the dough, this technique is not recommended; c) the effects of gamma radiation on the wheat grains are also dependent on the dose used; however, it was observed that the effects of radiation on the grains are not so intense as those observed on the whole wheat flour, being the dose of 0.5 kGy efficient in the stabilization of the grains and resultant flour, not intervening significantly with rheological characteristics and bread quality, being an alternative for increasing their stability; d) the use of infra red radiation demonstrated to be efficient for the intentions of this work; as, it increased the stability of whole wheat flour and improved bread quality. It depends on the conditions of time and temperature used, being verified that the exposure of the bran to 90°C for 20 minutes was efficient to reduce lipase activity and yeasts and molds count, improving stability of whole wheat flour and bread quality.

Keywords: whole bread, whole wheat flour, shelf life, gamma radiation, infrared radiation, bran.

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por produtos a base de grãos integrais aumentou a partir de 1999, quando a FDA (Food and Drug Administration) destacou os benefícios da dieta rica em alimentos contendo grãos integrais e outros produtos vegetais com baixos teores de gordura total, gordura saturada e colesterol, os quais ajudam a reduzir o risco de doenças cardíacas e alguns tipos de câncer (SIDHU et al., 1999).

Uma das alternativas para introduzir grãos integrais na dieta é a utilização de farinha de trigo integral na elaboração de produtos a base de trigo, como pães, biscoitos, massas, bolos, cereais matinais e produtos de confeitaria. Estes produtos são consumidos diariamente pela maioria da população. Segundo BNDS (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), o consumo brasileiro anual per capita de trigo e pão é de 53 e 28 kg, respectivamente. Esta quantidade representa a metade da porção de consumo de pão recomendada por órgãos de alimentação mundiais como a ONU (Organização das Nações Unidas) (60 kg/ano) e da FAO (Food Agricultural Organization) (50 kg/ano) (BNDS, 2001).

A produção mundial de trigo é de aproximadamente 600 milhões de toneladas (USDA, 2006). No Brasil, a safra estimada de 2008/2009 será de 6 milhões de toneladas, sendo que o Brasil consome anualmente ao redor de 10,5 milhões de toneladas, importando o restante de países como a Argentina e os Estados Unidos (CONAB, 2009).

O consumo de grãos de trigo no Brasil está distribuído da seguinte forma: 47% padarias, 14% indústria de massas, 20% consumo doméstico, 8% indústria de biscoitos, 5% indústria de pães e 6% para outros segmentos (ABITRIGO, 2006).

Estudos demonstram que o consumo de grãos integrais, como o trigo integral, reduz significativamente o risco de doenças degenerativas, como a prisão de ventre, diverticulites, hérnia de hiato, apendicite, varizes, diabetes, obesidade,

doenças cardiovasculares, câncer no intestino e calculo biliar (SIDHU, et al., 1999). Esta redução é explicada pela composição do trigo integral, que possui fibra dietética, antioxidantes, proteínas e vitaminas do complexo B, que estão presentes na camada de aleurona no gérmen.

O teor de fibra dietética na farinha de trigo integral é de 10,2%, comparada com 2,5% da farinha de trigo branca. A maior parte dos antioxidantes encontrados no grão de trigo estão localizados nas camadas superficiais (aleurona e gérmen) (GARCIA-CONESA et al., 1997; ZHOU et al., 2004). Estes antioxidantes são substâncias que têm a capacidade de prevenir ou retardar danos oxidativos ao organismo, reduzindo o risco de doenças crônicas associadas a problemas oxidativos, como doenças cardiovasculares e câncer (ARTS; HOLLMAN, 2005; KRIS-ETHERTON et al., 2002; SLAVIN, 2003).

Mesmo com todos os benefícios evidenciados pelo consumo de grãos integrais, a utilização de farinha de trigo integral ainda apresenta dificuldades relacionadas à conservação e características tecnológicas, pois produtos a base de trigo integral têm sua vida de prateleira reduzida pelo aparecimento de fungos e de odores e sabores desagradáveis oriundos da rancificação devido à ação de enzimas lipolíticas. A diminuição da qualidade de panificação, como redução do volume da massa, ocorre devido à presença de glutathione, um tripeptídeo de baixo peso molecular que reduz as forças intermoleculares coesivas da massa pela quebra permanente ou catalisando mudanças nas pontes de dissulfeto e também pela ação da enzima lipase, presente no farelo, que hidrolisa os triacilgliceróis levando ao acúmulo de ácidos graxos poliinsaturados que são oxidados pela enzima lipoxigenase presente no gérmen quando a farinha integral é hidratada (KOCK et al., 1999).

Por estas razões, é necessário realizar mudanças no processo de moagem da farinha de trigo integral e também pesquisas visando aumentar a vida de prateleira e a melhoria da qualidade de panificação, pois estudos demonstram que sua vida de prateleira é menor quando comparada com a farinha trigo branca,

devido à maior contaminação microbiana, presença de fases jovens de insetos e maior atividade enzimática nas camadas superficiais do grão de trigo (LACA et al., 2006).

O Brasil possui 276 indústrias especializadas na produção de farinha de trigo (ABITRIGO, 2006; COLLE, 1998), operando com 34% de sua capacidade ociosa, ou seja, de um potencial de 12,8 milhões de toneladas para uma moagem real de 8,5 milhões de toneladas. No entanto, nenhuma destas indústrias está apta a produzir farinha de trigo integral com melhor qualidade de panificação e estabilidade para um período de conservação adequado às necessidades do mercado, pois estas não possuem sistemas eficientes de moagem e estabilização de grãos integrais com baixo custo para conferir uma vida de prateleira mais prolongada.

Para conferir um prazo de validade adequado e melhorar as características de panificação é necessário estabilizar a farinha de trigo integral. Este processo visa inativar as enzimas presentes no grão e reduzir a carga microbiana. Uma alternativa para a solução desse problema pode ser a aplicação de métodos de estabilização que reduzam a flora microbiana e desativem os compostos que aceleram a degradação. Estes métodos podem ser baseados no emprego de temperaturas altas ou de energia que modifique as células vivas e compostos químicos, como a utilização de radiação gama ou a aplicação de radiação infravermelha em condições adequadas (PEREIRA; CHANG, 1993).

As exigências legais e comerciais têm dado atenção especial às condições de segurança, qualidade e armazenagem de alimentos, especialmente no desenvolvimento e aprimoramento de métodos de descontaminação. Muitos métodos de descontaminação foram desenvolvidos para alimentos com alto teor de água (STAACK et al., 2008).

Existem vários processos que podem ser utilizados para descontaminação de alimentos, tais como, radiação gama, UHT (LAROCHE; GERVAIS, 2003), radiação ultravioleta (SHARMA; DEMIRCI, 2003), calor seco (BARON et al.,

2003), vapor (SCHNEIDER, 1993), microondas (REDDY et al., 1998) ou radiação infravermelha (HAMANAKA et al., 2000).

Este trabalho objetivou estudar o efeito de dois métodos de estabilização da farinha de trigo integral, utilizando radiação gama e radiação infravermelha, nas propriedades reológicas, características tecnológicas e vida de prateleira da farinha de trigo integral e na qualidade de pães de forma integrais.

Bibliografia

ABITRIGO – Associação Brasileira da indústria do Trigo. <http://www.abitrigo.com.br/> (25 mar. 2006)

ARTS, I.; HOLLMAN, P. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 317S – 325S. 2005.

BARON, F., NAU, F., GUERIN-DUBIARD, C., GONNET, F., DUBOIS, J.-J.; GAUTIER, M. Effect of dry heating on the microbiological quality, functional properties, and natural bacteriostatic ability of egg white after reconstitution. **Journal of Food Protection**, v. 66, n.5, p. 825–832, 2003.

BNDS – **Um panorama do segmento de padarias no Brasil**. 2001. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/get4is26.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2007

COLLE, C.A. **A cadeia produtiva do trigo no Brasil: contribuição para a geração de emprego e renda. Porto Alegre, 1998**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/pgdr/dissertacoes/ecorural/mecorural_colle_n204.pdf. Acesso em: 03 janeiro 2006

CONAB - **Avaliação da safra agrícola 2008 - 2009 - Quarto levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 Janeiro 2009

GARCIA-CONESA, M. T.; PLUMB, G. W.; WALDRON, K. W.; RALPH, J.; WILLIAMSON, G. Ferulic acid dehydrodimers from wheat bran: Isolation, purification and antioxidant properties of 8 -O-4'-diferulic acid. **Redox Report**, v. 3, p. 319 - 323. 1997

HAMANAKA, D., DOKAN, S., YASUNAGA, E., KUROKI, S., UCHINO, T., AKIMOTO, K. The sterilization effects of infrared ray on the agricultural products spoilage microorganisms (part 1). **ASAE annual international meeting**, Paper No. 6090 ASAE, Milwaukee, Wisconsin, 2000.

KOCK, S. DE; TAYLOR, J.; TAYLOR, J. R. N. Effect of Heat Treatment and Particle Size of Different Brans on Loaf Volume of Brown Bread. **Lebnesm. - Wiss. u.- Technol.**, v. 32, p. 349 - 356. 1999

KRIS-ETHERTON, P., HECKER, K., BONANOME, A., COVAL, S., BINKOSKI, A., HILPERT, K., et al.. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, v. 113, p. 71S – 88S. 2002.

LACA, A.; MOUSIA, Z., DIAZ, M.; WEBB, C.; PANDIELLA, S. S.. Distribution of microbial contamination within cereal grains. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 332–338, 2006.

LAROCHE, C., GERVAIS, P. (2003a). Method for microbial decontamination of powdery products (PATENT WO 02071853). Disponível em: http://www.ubourgogne.fr/GPAB/presentation_GB/ppal.htm. Acesso em: 02 março 2006.

PEREIRA, M.L.; CHANG, Y.K. Contaminantes do trigo e farinha e medidas de sanitização na indústria de moagem e panificação. **Higiene Alimentar**, v. 7, n.26, p. 20 – 29, 1993.

SCHNEIDER, B. Gewürzentkeimung mit Dampf. **Fleischwirtschaft**, v. 73, n.6, p. 646–648, 1993.

SIDHU, J. S.; AL-HOOTI, S. N.; AL-SAGER, J. M. Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. **Food Chemistry**, v. 67, p. 365 - 371. 1999

SHARMA, R. R.; DEMIRCI, A. Inactivation of E. coli O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. **Journal of Food Science**, v. 68, n.4, p. 1448–1453, 2003.

SLAVIN JL, Why whole grains are protective: biological mechanisms', **Proc Nutr Soc**, v. 62, p. 129–134. 2003

STAACK, N.; AHRNE, L.; BORCH, E.; KNORR, D. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 17 – 24, 2008.

USDA Centre for Nutrition Policy and Promotion (2005) Grain Consumption by Americans. Nutrition Insight 32. Disponível em: <http://www.cnpp.usda.gov/insights.html/insight32.pdf>
Acesso em: 05 fevereiro 2006.

ZHOU, K.; LAUX, J. J.; YU, L. Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p.1118–1123. 2004

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPITULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Produtos integrais

Define-se grão integral como aquele que é composto de três partes principais, o farelo, o gémén e o endosperma; a proporção de cada parte varia de acordo com a espécie (SEAL, 2006). A composição das diferentes frações varia, e algum processo de refino pode alterar a composição da farinha resultante, dependendo do grau de extração. O grau de extração da farinha varia entre 75% para farinha branca até 100% para farinha integral (BASS, 1988).

A definição mais usual para “grão integral” foi elaborada pela AACCC (American Association of Cereal Chemists) para auxiliar os consumidores e fabricantes de alimentos. A definição foi aprovada e adotada em 1999, como segue: “grãos integrais consistem de cariopses intactas, moídas, quebradas ou laminadas em que seus principais componentes anatómicos (endosperma, camada de aleurona e gérmen) estão presentes nas mesmas proporções relativas encontradas nas cariopses intactas” (AACCC, 2005).

A FDA (Food and Drug Administration) foi a primeira a permitir a divulgação de frases relacionadas com os benefícios à saúde associada a alimentos elaborados com grãos integrais. A divulgação foi aprovada como uma declaração autorizada em 1999. A frase dizia: “Dietas ricas em alimentos elaborados com grãos integrais e outros vegetais, associadas com a baixa ingestão de gorduras totais, saturadas e colesterol podem reduzir o risco de doenças cardíacas e alguns tipos de câncer” (FDA, 1999).

Uma segunda declaração modificada foi aprovada em 2003, após ser submetida pela Kraft Foods, como segue: “Dietas ricas em alimentos de grãos integrais e outros vegetais associadas com a baixa ingestão de gorduras

saturadas e colesterol, podem ajudar a reduzir o risco de doenças cardíacas” (FDA, 2003).

A diferença entre as duas declarações é que a gordura por si só não está associada a doenças cardíacas e sim a gordura saturada e o colesterol que realmente são os responsáveis (SEAL; JONES; WHITNEY, 2006).

A FDA também definiu que um alimento para ser considerado de grão integral deve ser um produto que contenha mais de 51% de grãos integrais (p/p) da quantidade normalmente consumida.

Após a iniciativa da FDA em divulgar os benefícios do consumo de grãos integrais em conjunto com fabricantes de alimentos, houve um aumento no consumo de grãos integrais (SIDHU et al., 1999)

Um estudo realizado entre 1999 e 2002 pelo National Health and Nutrition Examination Survey (EUA) indicou que a maioria dos americanos não conheciam a orientação para consumo de grãos integrais. Da porção total de grãos consumida, apenas 11% era proveniente de grãos integrais, um valor muito inferior aos 50% recomendado (USDA Centre for Nutrition Policy and Promotion 2005). O consumo diário de fibras na Europa e nos EUA alcança aproximadamente 20 g, enquanto que as autoridades de saúde e as sociedades de nutrição recomendam um valor de referência de no mínimo 30 g diárias (TREPPEL, 2004). No Brasil, não existe até o momento nenhuma recomendação oficial para a quantidade ideal de consumo de grãos integrais para brasileiros em sua pirâmide alimentar (HAAS et al., 2007).

Dados sobre o perfil de consumo de produtos integrais nos Estados Unidos apontam que o consumo é baseado na conveniência, sabor e disponibilidade. Dentre os principais produtos consumidos estão os cereais matinais (56%), pães (25%) e biscoitos (9%) (SEAL; JONES; WHITNEY, 2006).

Os grãos integrais são componentes importantes da dieta humana, sendo demonstrado através da sua inclusão nas recomendações dietéticas dos Estados Unidos e também na nova pirâmide alimentar (Figura 1.1) (LIU, 2007).

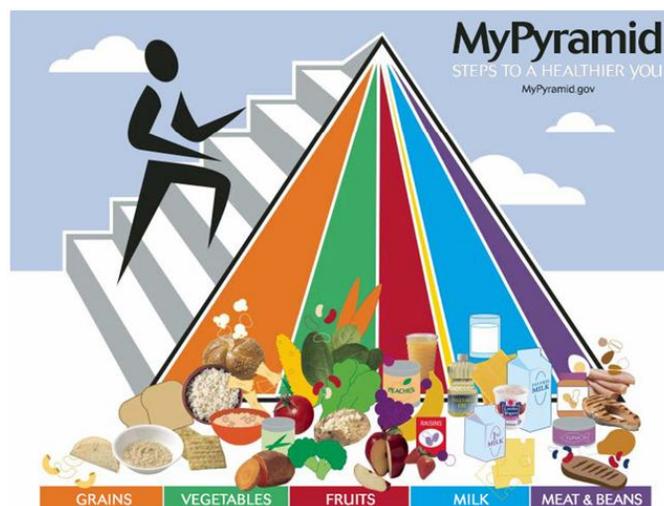


Figura 1.1 - Nova pirâmide alimentar

Fonte: USDA, 2007.

Uma das alternativas para introduzir grãos integrais na dieta é a utilização de farinha de trigo integral na elaboração de produtos a base de trigo, como pães, biscoitos, massas, bolos, cereais matinais e produtos de confeitaria. Estes produtos são consumidos diariamente pela maioria da população. Segundo BNDS (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), o consumo anual per capita de pão é de 28 kg. Esta quantidade representa a metade da porção recomendada por órgãos de alimentação mundiais como a ONU (Organização das Nações Unidas) (60 kg/ano) e a FAO – Food Agricultural Organization (50 kg/ano) (BNDS, 2001).

Estudos epidemiológicos demonstraram que o consumo regular de grãos integrais e produtos elaborados com estes está associado com a redução de riscos de desenvolvimento de doenças crônicas como doenças cardiovasculares, diabetes do tipo 2, alguns tipos de câncer e a maioria das causas de mortalidade.

Portanto, está ocorrendo uma modificação dos hábitos alimentares, aumentando o consumo diário de uma grande variedade de frutas, vegetais e grãos integrais, como parte de uma estratégia dos consumidores para otimizar sua saúde e reduzir o risco de doenças crônicas (LIU, 2007).

A redução do risco de doenças é explicada pela composição dos grãos integrais, que contêm fitoquímicos exclusivos que complementam aqueles encontrados em frutas e vegetais quando consumidos associados. Por exemplo, várias classes de compostos fenólicos encontrados em grãos incluem ácidos fenólicos, antocianidinas, quinonas, flavonóides, chalconas, flavonas, flavononas e compostos aminofenólicos. Alguns destes fitoquímicos, como o ácido ferúlico e diferulatos, são predominantemente encontrados em grãos, mas não se apresentam em quantidades significativas em frutas e vegetais (BUNZEL et al., 2001). Os grãos também contêm tocotrienóis, tocoferóis e orizanóis (LLOYD et al., 2000). Estes fitoquímicos têm um importante papel na estrutura e defesa dos grãos.

O grupo dos fitoquímicos mais importantes encontrados nos grãos integrais podem ser classificados em compostos fenólicos, carotenóides, vitamina E, lignanas, beta glucanas e inulina (LIU, 2007), que exercem funções antioxidantes, prevenindo ou retardando danos oxidativos ao organismo, reduzindo o risco de doenças crônicas associadas a problemas oxidativos como doenças cardiovasculares e câncer (ARTS; HOLLMAN, 2005; KRIS-ETHERTON et al., 2002; SLAVIN, 2003).

A concentração de fitoquímicos nos grãos integrais varia com o tipo e variedade dos mesmos e também de acordo com a fração estudada (ADOM et al., 2003).

Com o progresso da pesquisa na área de grãos integrais, aumentou o interesse sobre a distribuição dos fitoquímicos nas frações do grão. Alguns estudos demonstraram o perfil e a atividade antioxidante de trigo integral (ADOM; LIU, 2002; ADOM et al., 2003), enquanto que outros estudos focaram a atenção

apenas na fração farelo (RONDINI et al., 2004; ZHOU et al., 2004) ou apenas na fração endosperma (YU et al., 2004).

Os resultados encontrados por Adom et al. (2005) demonstraram que a maior concentração dos fitoquímicos benéficos à saúde estão presentes no farelo e gémén (Figura 1.2), sendo 15 a 18 vezes maior do que a quantidade encontrada no endosperma.

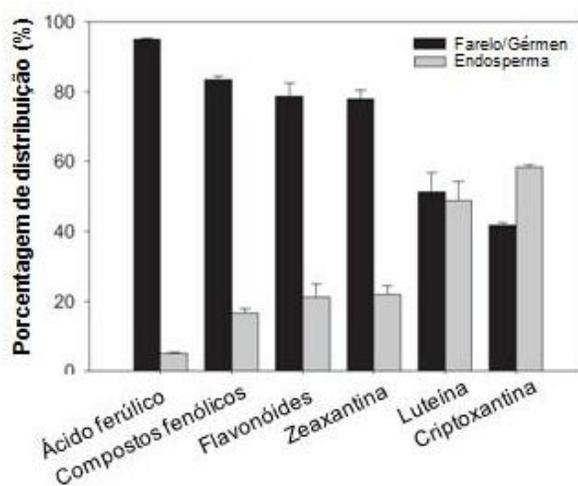


Figura 1.2 - Distribuição (%) dos fitoquímicos nas frações de moagem do trigo integral

Fonte: ADOM et al, 2005, p.2299.

Além de fitoquímicos, outra vantagem dos grãos integrais é a maior concentração de fibras. O teor de fibra dietética na farinha de trigo integral é de 10,2% comparada com 2,5% da farinha de trigo branca (ZHOU et al., 2004).

2. Trigo

Os cereais são definidos como grãos ou sementes comestíveis da família das gramíneas. A produção de cereais é crescente devido a suas sementes comestíveis serem altamente nutritivas, sendo denominados de grãos (MCKEVITH, 2004). Alguns cereais são utilizados desde o início da civilização na

alimentação humana, de forma direta ou em rações para alimentação animal (BRITISH NUTRITION FOUNDATION, 1994).

Os cereais são a fonte mais importante de alimentos (FAO, 2002). Os alimentos baseados em cereais são a maior fonte de energia, proteína, vitamina B e minerais para a população mundial. Geralmente, são de baixo custo de produção, facilmente armazenados e transportados e podem ser conservados por longos períodos desde que em condições adequadas.

O trigo é uma das principais fontes de alimento do homem desde os tempos pré-históricos. Seu cultivo remonta à época dos primórdios da agricultura, há cerca de 10.000 anos, quando o homem trocou sua característica nômade e extrativista por uma civilização sedentária e agrícola. O pão tem sido o alimento básico na história da civilização (CALDEIRA et al., 2000).

Por ser uma cultura predominantemente de inverno, o trigo é mais cultivado na região sul do Brasil, principalmente nos Estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, embora também seja cultivado em outros estados como São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Muitas vezes, o trigo é utilizado como cultura de rotação, principalmente com a soja, devido ao fato da soja ser uma cultura de verão e o trigo uma cultura de inverno (CAMARGO et al., 2004).

O consumo de trigo nos países tropicais tem aumentado na ordem de 2 a 5% ao ano. Paralelamente, tem ocorrido uma maior importação de trigo por esses países, já que a sua produção interna não atende a demanda de consumo (CAMARGO et al., 2004; EL-DASH; MIRANDA, 2002). Devido ao fato do Brasil não ser autossuficiente no abastecimento de trigo, o país necessita de trigo importado para atender às suas necessidades internas. A maior parte dos grãos de trigo utilizados no Brasil com finalidade de produção de farinhas, é de procedência argentina, canadense e americana, sendo associados ao trigo nacional em proporções diversas. Nos últimos anos, o Brasil tem se tornado o maior importador mundial de trigo, superando países que tradicionalmente ocupavam lugar de destaque entre os maiores compradores do mercado

internacional, a exemplo do Egito, Japão e Irã (FERREIRA, 2003; FARONI et al., 2002).

A produção brasileira de trigo em 2007, foi de 4,0 milhões de toneladas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo 62% superior em relação ao ano anterior, em função da expansão de 18% na área colhida, devido a conjuntura de mercado mais favorável na época do plantio e, principalmente, em função de um crescimento de 37,5% na produtividade média, visto que em 2006 foi muito baixa em consequência de adversidades climáticas (IBGE, 2008).

A produção mundial de trigo em 2007/08, segundo projeção do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), situou-se em 604,96 milhões de toneladas, 2,0% acima do resultado do ano anterior e 3% inferior à demanda projetada. Assim, os estoques finais previstos em 110,4 milhões de toneladas foram 12% menores que da temporada anterior, o que deve contribuir para que os níveis de preços continuem elevados.

Existem diversas espécies de trigo, cada uma adequada a um tipo de produto. O trigo comum (*Triticum aestivum*), o tipo clube (*T. compactum*), e o trigo durum (*T. durum*) são produtos da hibridização natural de seus ancestrais (SCHMIDT, 1974).

A estrutura do grão de trigo é demonstrada na Figura 1.3, consistindo basicamente de três frações: camada de aleurona, endosperma e gérmen.

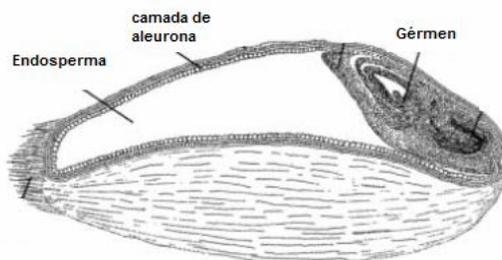


Figura 1.3 – Estrutura do grão de trigo

A qualidade do grão de trigo é o resultado da interação das condições de cultivo (interferência do solo, clima, pragas, manejo da cultura e da cultivar), em soma à interferência das operações de colheita, secagem e armazenamento, fatores estes que influem diretamente sobre o uso industrial a ser dado ao produto final, que é a farinha de trigo (EL-DASH; MIRANDA, 2002; GUTKOSKI; NETO, 2002).

Em virtude dessa ampla variação presente nos cultivares, a qualidade da farinha está diretamente ligada ao propósito para que ela servirá. Existem grandes diferenças entre farinhas para pães e biscoitos e também entre as farinhas usadas nos diferentes tipos de pães e diferentes tipos de biscoitos (HOSENEY, 1997).

3. Farinha de trigo integral

A farinha de trigo é o principal produto do trigo, sendo utilizada como ingrediente básico de vários produtos em diferentes culturas, tais como diversos tipos de pães específicos das diversas regiões do mundo, macarrão, biscoitos, bolos, cereais matinais, etc. Os produtos derivados do trigo estão ligados à cultura dos povos, tendo assumido tanto um significado religioso, como de importância econômica e nutricional (SHEWRY et al., 1995).

No Brasil, os parâmetros de identidade e qualidade da farinha de trigo são estabelecidos por regulamento técnico, através da Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005). Este regulamento conceitua, define os tipos de farinha e os limites permitidos de acordo com a granulometria, teor de cinzas, teor de proteína, acidez graxa e umidade (Tabela 1.1).

De acordo com esta norma define-se Farinha de Trigo Integral como o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos a partir do processamento completo do grão limpo, contendo ou não o gérmen (BRASIL, 2005).

Tabela 1.1 - Limites de tolerância para a farinha de trigo estabelecidos pela Instrução Normativa nº8, de 02/06/2005

Tipos	Teor de cinzas* (Máximo)	Granulometria	Teor de Proteína (Mínimo)	Acidez Graxa (mg KOH/100g do produto)	Umidade (máximo)
Tipo 1	0,8%	95% do produto deve passar pela peneira com abertura de malha de 250 µm.	7,5%	50	15,0%
Tipo 2	1,4%		8,0%		
Integral	2,5%	-----	8,0%	100	

Os teores de cinzas e de proteína deverão ser expressos em base seca. Fonte: MAPA/2008.

Desde a revolução industrial, o processo de moagem para obtenção da farinha de trigo integral tem sido dominado pelos moinhos de rolos, em que cada componente do grão é moído e separado por peneiras e então são misturados novamente para formar a farinha de trigo integral. Este processo é diferente do processo tradicional de moagem baseado em moinhos de pedra, nos quais os grãos são esmagados até formar a farinha, sem separação das diferentes frações. Independente do processo utilizado para obtenção da farinha, a mesma será considerada integral, desde que não haja eliminação de nenhuma fração (SEAL; JONES; WHITNEY, 2006).

Atualmente há várias pesquisas na área de caracterização funcional e emprego da farinha de trigo integral em produtos, devido aos benefícios a saúde trazida pelo consumo de grãos integrais, sendo a farinha de trigo integral um excelente meio de introduzir grãos integrais na dieta, através de pães, massas, biscoitos, entre outros (LIU, 2007; CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

Porém, ainda existem problemas relacionados com a estabilidade que afetam a qualidade da farinha, seu prazo de validade e também problemas de logística de distribuição deste produto devido ao seu curto prazo de conservação.

4. Qualidade da farinha

A farinha de trigo por ser um produto do beneficiamento da matéria-prima alimentar em estado bruto, é considerada um produto alimentício passível de sofrer alterações na sua qualidade nutricional e tecnológica durante as operações de transporte envolvidas no processo de importação, processamento e armazenagem (GUTKOSKI; NETO, 2002; ALVIN; AUGUSTO; PAULO, 2005). Por esta razão, existem análises para estabelecer as características e qualidade da farinha.

A qualidade de grãos e farinhas de trigo é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados dependendo da designação de uso ou tipo de produto. Estas características podem ser classificadas em físicas, químicas, enzimáticas e funcionais (RASPER, 1991).

4.1 Umidade

O teor de umidade da farinha deve ser controlado por razões econômicas, uma vez que as farinhas são comercializadas em base úmida e também pela importância que a umidade tem na conservação e processamento (SILVA, 2003).

A Instrução Normativa nº8 – MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), de 02/06/2005, cita que o teor de umidade máximo da farinha não deve exceder 15% (BRASIL, 2005).

Para se obter bons resultados, o teor de umidade deve estar em torno de 13%. As farinhas com umidade acima de 14% tendem a formar grumos e não fluem uniformemente. Em processos contínuos, a proporção constante entre farinha e água é essencial para uniformidade do fluxo e movimentação na indústria (CIACCO; CHANG, 1982).

O teor de umidade da farinha tem enorme importância econômica por ser inversamente proporcional à quantidade de matéria seca, além de, durante a estocagem, ser o principal fator que governa sua conservação e qualidade (SILVA, 2003).

4.2 Ácidos graxos livres

Os triglicerídeos do grão são passíveis de sofrerem quebra pelas lipases a ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento, especialmente quando a temperatura e umidade estão altas e assim favorecem a deterioração. Este tipo de alteração é bastante acelerada pelo crescimento fúngico devido à alta atividade lipolítica dos fungos. A hidrólise lipídica ocorre muito mais rapidamente do que a de proteínas ou carboidratos em grãos estocados. Por esta razão, o teor de ácidos graxos livres é usado como um índice sensível de deterioração do grão (REHMAN, 2006).

Na farinha de trigo integral, devido à presença do gérmen, pode ocorrer o aparecimento de sabor desagradável, aumento da acidez, susceptibilidade dos ácidos graxos às reações de oxidação e alterações das propriedades funcionais (GUTKOSKI; PEDÓ, 2000).

4.3 Cor

A farinha de trigo pode apresentar diferentes colorações, dependendo do tamanho das partículas, teor de cinzas, do conteúdo de pigmentos carotenóides e da atividade da enzima lipoxigenase. Os pigmentos carotenóides são responsáveis pela coloração amarelada da farinha. Já a enzima lipoxigenase oxida os pigmentos da farinha (CIACCO; CHANG, 1982).

Marathe et al. (2002) avaliaram através de Colorímetro Minolta, os efeitos da irradiação sobre os parâmetros de cor L, a*, b* e observaram alterações na cor da farinha irradiada, atribuindo este efeito à modificações provocadas pela radiação gama nos carotenóides presentes na camada de aleurona.

4.4 Atividade da enzima alfa amilase

A ocorrência de chuvas no campo após o amadurecimento do trigo e antes da colheita pode causar a germinação dos grãos e, conseqüentemente, a deterioração em níveis que comprometem sua utilização industrial. Mesmo que a germinação não seja aparente, a atividade da enzima pode ser alta e provocar a degradação do amido durante o processo de fabricação do pão. Por outro lado, a baixa atividade da enzima alfa-amilase também afeta negativamente a panificação (CAUVAIN, 2003).

Para avaliar a atividade da enzima alfa-amilase podem-se utilizar equipamentos como o RVA ou o *Falling number* que associam a atividade da enzima com a viscosidade da pasta. O *Falling number* mede a capacidade da enzima alfa-amilase em liquefazer um gel de amido, sendo realizada a tomada de tempo (em segundos) requerida à mistura para permitir a queda do agitador até uma distância fixa, sob um gel aquoso do grão triturado ou da farinha submetido a uma temperatura constante de 100 °C (COSTA et al., 2008). Enquanto que o RVA (Rapid Visco Analyser) é utilizado para obtenção do perfil de viscosidade ao longo do processo de gelatinização do amido, podendo ser utilizado para diversos tipos de amostras.

4.5 Características reológicas da massa

Segundo Rao & Rao (1993), a avaliação reológica da farinha é de vital importância para a indústria de panificação ajudando a predizer as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais. A reologia também desempenha papel importante no controle de qualidade. Entre as determinações disponíveis para avaliar as propriedades da massa e definir o uso final da farinha de trigo na panificação, incluem-se as características de mistura (farinógrafo), características de extensão (extensógrafo e alveógrafo), viscosidade (RVA) e de produção ou retenção de gás (reofermentógrafo e maturógrafo) (YAMAMOTO et al., 1996; COSTA et al., 2008).

O farinógrafo é um instrumento muito utilizado para a avaliação da qualidade e força da farinha, e, conseqüentemente, para a indicação de seu uso. Este instrumento simula o processo de mistura, medindo e registrando a resistência de uma massa durante os sucessivos estágios de seu desenvolvimento (Figura 1.4). Assim, se obtém o comportamento da massa durante a mistura e sobremistura (mistura excessiva) (PIZZINATTO, 1999).



Figura 1.4 – Farinógrafo, marca Brabender

A partir deste aparelho se obtém a absorção de água (%), que é a quantidade de água requerida para que a massa atinja a consistência ótima (500 UF); o tempo de desenvolvimento da massa (TDM), que é o tempo necessário para que a massa atinja o máximo de sua consistência; a estabilidade ou o tempo que a massa permanece consistente durante o batimento (500 UF) e o índice de tolerância à mistura (ITM) que é medido em UF após um intervalo de cinco minutos do ponto de consistência máxima da massa.

Os parâmetros de qualidade de uma farinha panificável, segundo Pizzinatto (1999), são apresentados na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Parâmetros farinográficos característicos de farinhas com diferentes forças

Farinha	ABS (%)	TDM (min)	E (min)	ITM (U.F.)
Fraca	< 55	<2,5	<3,0	>100
Média	54-60	2,5 – 4,0	3,0 – 8,0	60 – 100
Forte	>58	4,0 – 8,0	8 - 15	15 – 50
Muito forte	>58	>10,0	>15,0	<10,0

Fonte: Pizzinatto (1999).

O extensógrafo (Figura 1.5) foi desenvolvido para complementar as informações fornecidas pelo farinógrafo, medindo e registrando a resistência da massa à extensão e extensibilidade, enquanto ela é esticada sob velocidade constante até seu rompimento (PIZZINATTO, 1999).



Figura 1.5 – Extensógrafo, marca Brabender

Os parâmetros avaliados são R, que representa a resistência que a massa apresenta à extensão após 5 minutos do início do estiramento; RM, que representa a resistência máxima da massa à extensão e E, de extensibilidade, que representa o quanto a massa pode ser esticada sem que se rompa.

4.6 Índice de glúten

A quantidade e a qualidade do glúten são considerados os parâmetros de qualidade mais importantes da farinha de trigo. A determinação da quantidade e qualidade de glúten através do método do Índice de Glúten, utilizando o aparelho Glutomatic, pode ser comparado e associado com outros métodos. Curic et al. (2001) em seu trabalho caracterizando o glúten como um padrão de qualidade da farinha de trigo observou uma forte correlação do índice de glúten com valores extensográficos e também com o volume do produto final.

A qualidade da farinha pode ser avaliada quanto ao seu índice de glúten, podendo ser classificada, como pode ser observado na Tabela 1.3.

Tabela 1.3 – Classificação da farinha quanto à qualidade, avaliada pelo índice de glúten

Índice de glúten	Classificação da farinha
>90	Muito boa
60 – 90	Boa
40 – 60	Média
< 40	Fraca

Fonte: Pizzinatto (1999).

O glúten é constituído por uma massa viscoelástica tridimensional que proporciona as características físicas e reológicas de plasticidade, viscosidade e elasticidade importantes para a massa (HAARD, 1992; WIESIR, 2007). Farinhas com baixos teores de glúten podem propiciar a obtenção de uma massa com menor absorção de água. A quantidade e qualidade do glúten determinam uma maior absorção de água e uma alta elasticidade da massa, que é muito favorável para a retenção do dióxido de carbono durante o processo de fermentação de massas de produtos de panificação (SALES; VITTI, 1987; CALDEIRA et al., 2000).

As proteínas formadoras do glúten são classificadas em dois grupos: as gluteninas, caracterizadas por baixa extensibilidade e alta elasticidade e as gliadinas, caracterizadas por alta extensibilidade e baixa elasticidade (HOSENEY, 1997).

5. Pão integral

Por definição, pão é o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa, fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e/ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes. Já o pão integral é definido como o produto preparado, obrigatoriamente, com farinha de trigo e farinha de trigo integral e/ou fibra de trigo e/ou farelo de trigo (BRASIL, 2000).

O pão pode ser considerado um produto popular consumido na forma de lanches ou com refeições, e apreciado devido a sua aparência, aroma, sabor, preço e disponibilidade. Seu mercado vem crescendo rapidamente e demanda a criação de novas plantas, maquinário, formulações e aditivos alimentícios seguros. Depois de produzidos, porém, sofrem transformações que levam rapidamente à perda de crocância da crosta e ao endurecimento do miolo (ESTELLER, 2004).

A popularidade do pão é devida, sem dúvida, ao excelente sabor, preço e disponibilidade em milhares de padarias e supermercados do País. O segmento de panificação e confeitaria no Brasil representa um faturamento anual ao redor de US\$ 16 bilhões. A mão-de-obra direta empregada pelo setor é de 550.000 pessoas (BRASIL, 2005).

Já o mercado consumidor de pão vem apresentando crescimento, variando de região para região, sendo que as regiões Sudeste e Sul consomem cerca de 35 kg/habitante/ano, enquanto o Nordeste só atinge 10 kg/habitante/ano. O consumo médio de pães no Brasil é de 28 kg anuais por pessoa, o que representa metade

da porção recomendada por organizações mundiais como a OMS - 60 kg/habitante/ano, e a FAO - 50 kg/habitante/ano (ESTELLER, 2004).

Os produtos panificados ocupam a terceira colocação na lista de compras do brasileiro representando, em média, 12% do orçamento familiar para alimentação. O mercado brasileiro importa do Canadá e da Argentina cerca de 50% do volume de trigo para consumo doméstico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA, 2003).

Segundo Dewettinck et al. (2008), atualmente está ocorrendo uma mudança na percepção dos consumidores, buscando produtos elaborados com grãos integrais sem a adição de gordura, açúcar e sal. Na busca de hábitos alimentares mais saudáveis, os consumidores preferem pães com menos calorias, ricos em fibras, com pouco sal e sem aditivos.

Seguindo esta tendência, o pão ideal deve ter baixo índice glicêmico, ser uma fonte importante de proteínas, vitaminas, fibras, minerais e antioxidantes (LOPEZ et al., 2001).

Os pães integrais são uma excelente fonte de fibras e micronutrientes, especialmente minerais e vitaminas B e E (BERTRAIS et al., 2000). O consumo de 200 g de pão integral fornece em torno de 40%, 18% e 20% das necessidades diárias de tiamina, riboflavina e piridoxina, respectivamente (FAVIER et al., 1995).

Durante a vida útil dos pães ocorrem alterações na textura, que são denominadas envelhecimento do pão (*staling*). O envelhecimento do pão não está relacionado com a perda de umidade da massa. Um pão analisado após cinco dias (armazenado em “condições apropriadas”) possuiria a mesma umidade que um pão “fresco” embora apresente ao paladar a sensação de estar mais seco. O endurecimento estaria vinculado à retrogradação do amido e ao comportamento das proteínas e pentosanas (STAUFFER, 2000).

6. Métodos de conservação

A qualidade da farinha de trigo depende principalmente das condições de armazenamento e também das condições climáticas do local de armazenamento. Caso o armazenamento seja feito de forma inadequada, pode ocorrer o aparecimento de insetos no interior de embalagens (AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006).

A farinha de trigo integral é comumente comercializada na forma pré-empacotada. Contudo, sua vida útil é restrita de 6 a 8 semanas devido a infestação de insetos. Em países tropicais, as condições climáticas resultam em proliferação de insetos, mesmo dentro de embalagens fechadas. O método convencional de fumigação que é utilizado para desinfestação de insetos dos grãos, não é apropriado para embalagens plásticas fechadas, pois não ocorre a penetração do gás através do material da embalagem (MARATHE et al., 2002).

As exigências legais e comerciais têm dado atenção especial às condições de segurança, qualidade e armazenagem de alimentos, especialmente no desenvolvimento e aprimoramento de métodos de descontaminação. Muitos métodos de descontaminação foram desenvolvidos para alimentos com alto teor de umidade (STAACK et al., 2008).

Existem vários processos que podem ser utilizados para descontaminação de alimentos, tais como, radiação gama, UHT (LAROUCHE; GERVAIS, 2003), radiação ultravioleta (SHARMA; DEMIRCI, 2003), calor seco (BARON et al., 2003), vapor (SCHNEIDER, 1993), microondas (REDDY et al., 1998) ou radiação infravermelha (HAMANAKA et al., 2000).

A falta de técnicas efetivas para a conservação de alimentos causam grande impacto nos custos com saúde pública. Outro aspecto é relacionado com o custo das perdas pós-colheita de alimentos, derivadas do ataque de insetos, microrganismos e roedores, que representam 25% das perdas, segundo estimativas da FAO (SILVA, 2003).

6.1 Radiação gama

Pesquisas realizadas apontam a irradiação como uma alternativa viável para a preservação de grãos e seus derivados (GRALIK; WARCHALEWSKI, 2006).

A irradiação de alimentos é uma forma de preservação dos alimentos, sendo utilizada desde meados do século 20. Quando empregada adequadamente, ela pode ser eficiente na redução de problemas de intoxicação alimentar e também inativar a esporulação de microrganismos, incluindo bactérias, fungos e leveduras (MOREHOUSE, 2002). O comitê da FAO/IAEA/WHO aprovou a tecnologia de irradiação em alimentos em 1981, onde se estabeleceu que doses até 10 kGy são seguras para alimentos e não provocam problemas nutricionais (STEVENSON, 1994).

Mais de 42 países utilizam a tecnologia de irradiação de alimentos. Nos Estados Unidos, a irradiação é utilizada em carnes e alimentos do tipo “pronto para o consumo” (ready-to-eat) (SOMMERS et al., 2004), ao contrário de países europeus que lentamente implementam esta técnica (DIEHL, 2002).

No Brasil as normas gerais foram estabelecidas pelo Decreto Lei nº. 72.718, de 29 de agosto de 1973, publicado no D.O.U. em 30/08/73. Em 8 de março de 1985, através da Portaria nº9, a DINAL – Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos do Ministério da Saúde, em conjunto com a CNEM – Comissão Nacional de Energia Nuclear e com o INCQS – Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, propuseram uma tabela de alimentos cuja irradiação está autorizada, a qual foi complementada pela Portaria Nº30 da DINAL em setembro de 1989, sendo esta autorizada pela Resolução RDC nº21, na qual ficou estabelecido que “qualquer alimento poderá ser tratado por irradiação desde que sejam observadas as seguintes condições: a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais dos alimentos” (SILVA, 2003).

As normas de aplicação de radiação gama em alimentos estipulam que os alimentos destinados à exportação devem ser acompanhados de documentos de embarque nos quais devem estar identificados o alimento irradiado, o lote, a dose e outros detalhes do tratamento. Tais alimentos devem estar devidamente embalados e etiquetados para a identificação, além de ser utilizado o termo “irradiado” ou tratado por radiação ionizante, bem como estar presente o símbolo internacional para alimento irradiado (Figura 1.6) (MAYER-MIEBAH, 1993).



Figura 1.6 – Radura - símbolo utilizado em produtos irradiados.

As radiações ionizantes são assim chamadas porque a energia emitida é suficiente para desalojar os elétrons dos átomos e moléculas, e assim convertê-los em partículas carregadas eletricamente. Radiações ionizantes provenientes de raios gama, raios X e procedentes de aceleradores de elétrons são utilizados industrialmente no tratamento de diversos tipos de materiais, como produtos hospitalares e descartáveis, produtos farmacêuticos e cosméticos, embalagens, alimentos, ervas medicinais, ração animal e pedras preciosas (CBE, 2006; JAY, 1992).

No Brasil, as fontes de radiações ionizantes autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear para utilização nos estudos de irradiação de alimentos são: os isótopos radioativos emissores de raios gama, a partir do cobalto₆₀ e césio₁₃₇; os raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5MeV; e os elétrons acelerados gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV (KILCAST, 1994). Na Figura 1.7, observa-se o esquema de funcionamento de uma empresa de irradiação, onde os produtos a serem

irradiados são transportados através de esteiras até a fonte de irradiação, neste caso Co_{60} , o qual fica protegido contra vazamento de irradiação por paredes de chumbo e imerso em um tanque com água. O processo é completamente automatizado, evitando riscos de acidentes e resíduos.

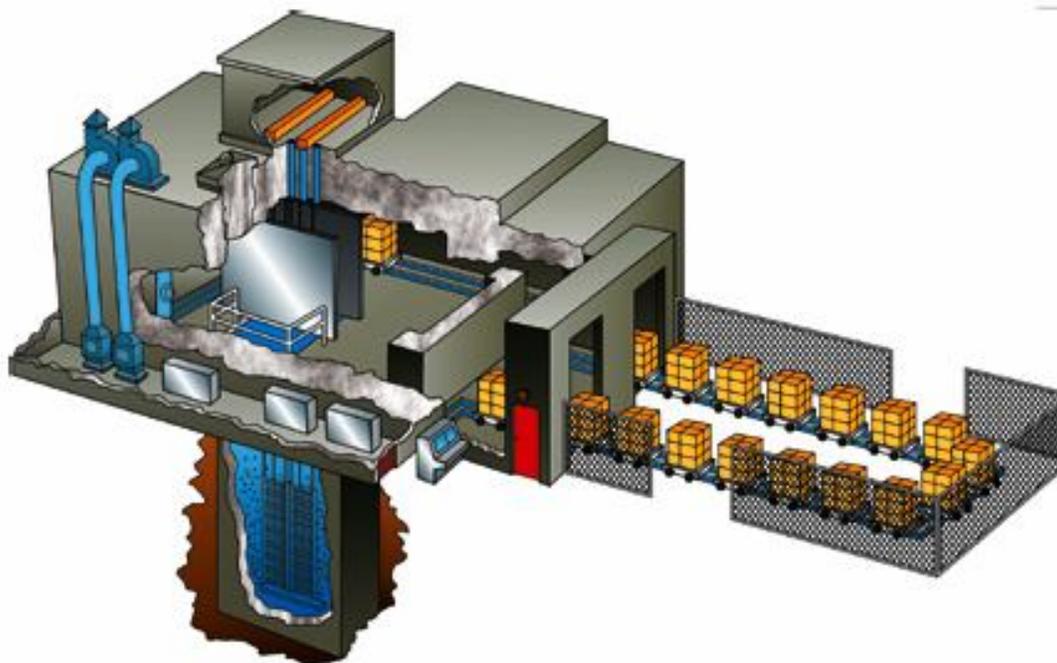


Figura 1.7 – Esquema geral do funcionamento de uma empresa de irradiação (Fonte: CBE/SA, 2008).

A irradiação tem inúmeros objetivos no processamento de alimentos, tais como conferir segurança alimentar, garantir a qualidade nutricional e prolongar a vida de prateleira dos alimentos (SILVA et al., 2006).

O tratamento de alimentos com radiação gama pode controlar efetivamente microrganismos que deterioram alimentos, infestação de insetos, retardar o amadurecimento ou inibir a germinação. Um benefício direto da irradiação de alimentos é a redução de doenças causadas por problemas de conservação dos alimentos e um prolongamento da vida de prateleira dos produtos irradiados. Outro benefício de extrema importância é relacionado com a possibilidade de que

a irradiação pode prevenir o uso de fumigantes altamente tóxicos, como a fosfina (PH_3), utilizados no controle de insetos em grãos armazenados (AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006).

As radiações ionizantes, raios gama e elétrons acelerados têm alto teor de penetração, permitindo tratamentos homogêneos e ausência de resíduos tóxicos, além de evitar a elevação da temperatura dos produtos em níveis prejudiciais durante o tratamento, preservando as características dos produtos (MARTINELLI FILHO, 1987). Com o uso da radiação gama para controlar as contaminações, obtém-se aumentos na durabilidade, menores perdas, maior rendimento, melhor qualidade, proporcionando organização e padronização dos produtos, tornando viável a mecanização na indústria de panificação. Conduzindo assim, à redução no tempo de processamento, maior eficiência, higiene e economia final (PENGE, 1968; EMULZINT, 1985).

Estudos demonstraram os efeitos da radiação gama na farinha de trigo. Silva (2003) verificou o efeito da aplicação de doses entre 0 e 6 kGy de radiação gama na farinha de trigo e fubá. O autor observou que as farinhas irradiadas foram afetadas de forma negativa, elevando os valores de acidez e reduzindo a qualidade tecnológica da farinha de trigo através de mudanças nas propriedades viscoelásticas, interferindo intensamente na qualidade dos pães franceses.

Agúndez-Arvizu et al. (2006) avaliaram o efeito da irradiação da farinha de trigo com 1,0 kGy sobre as características do pão mexicano. Os autores não observaram diferenças entre os pães, embora a aplicação de radiação gama tenha modificado as propriedades reológicas da farinha, reduzindo o número de queda e aumentando a estabilidade e o tempo de desenvolvimento da massa. Contudo os autores concluíram que a aplicação de baixas doses foi eficiente na descontaminação sem afetar nas características do produto final.

Köksel et al. (1996) observaram o efeito da aplicação de doses entre 1,0 e 5,0 kGy sobre as características reológicas da farinha de trigo e qualidade do espagete. Os autores reportaram que a aplicação de radiação gama em doses

maiores que 1,0 kGy provocou a deterioração do glúten e do amido, reduzindo o número de queda e valores de sedimentação, devido ao aumento do amido danificado e modificações na estrutura protéica. Estes efeitos interferiram diretamente na qualidade do espaguete.

Marathe et al. (2002) estudaram o efeito de baixas doses de radiação gama (0,25 a 1,00 kGy) sobre as propriedades físicoquímicas, nutricionais e qualidade de *chapaties*. Os autores observaram um aumento nos ácidos graxos livres, amido danificado, açúcares redutores e redução da viscosidade da pasta devido à radiação gama. No entanto, estes efeitos não afetaram a qualidade dos pães, sendo estes preferidos pelos consumidores.

Pesquisas demonstram que a aplicação de baixas doses de radiação gama (0,25 a 1,0 kGy) na farinha de trigo é eficiente na redução e/ou eliminação de microrganismos, prolongando sua vida útil e não alteram a composição centesimal, porém promovem pequenas alterações nas propriedades reológicas da farinha, que de forma geral não interferem na qualidade final dos pães (AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006, MARATHE et al., 2002). Estudos demonstram que a aplicação de baixas doses (0,2 a 1,0 kGy) de radiação gama é eficiente na destruição das fases metamórficas dos insetos e esterilização dos insetos adultos que atacam os grãos armazenados (URBAIN, 1986).

6.2 Radiação infravermelha

Através da radiação infravermelha pode-se estender a vida útil dos alimentos, destruindo enzimas e microrganismos, e reduzindo em certo grau a atividade de água. Este tratamento térmico também pode ser empregado na alteração das características sensoriais dos alimentos, possibilitando melhorar sua palatabilidade e criar diferentes sabores, aromas e texturas.

A energia infravermelha tem inúmeras aplicações na indústria de alimentos como nos processos de assar, tostar ou cozinhar, na fusão de gorduras e na

dessecação de alimentos com baixo teor de umidade (como pastas, cacau, farinhas e grãos).

A radiação infravermelha pode ser utilizada na eliminação dos fatores deterioradores da farinha de trigo, atuando através do aumento da temperatura e consequente inativação enzimática e microbiana. Seu mecanismo de ação se dá através das vibrações provocadas nas ligações intra e intermoleculares dos componentes dos alimentos a uma frequência de 60 000 a 150 000 MHz, que resulta em aumento da temperatura (FASINA et al., 2001).

Dentro do espectro infravermelho, distinguem-se o infravermelho próximo (NIR - Near Infrared), com comprimento de onda entre 0,78 e 1,4 μm , o infravermelho médio (MIR - Mid Infrared), incluindo o intervalo de 1,4 a 3,0 μm , e o infravermelho distante (FIR - Far Infrared), entre 3 e 1000 μm (SAKAI; HANZAWA, 1994).

O comprimento de onda da radiação infravermelha é determinado pela temperatura da fonte de radiação. Quanto mais elevada é, mais curto é o comprimento de onda da radiação e maior sua capacidade de penetração. No aquecimento de alimentos, utiliza-se radiação infravermelha com comprimentos de onda de até 50 μm . Tanto a água como os sistemas aquosos absorvem melhor em comprimento de onda próxima a 1 μm (ORDÓÑEZ, 2005) .

A radiação emitida pode ser refletida, transmitida ou absorvida. A quantidade de energia absorvida depende das propriedades do alimento e comprimento de onda da radiação infravermelha. A absorção do infravermelho caracteriza-se por sua pouca penetração, por isso há aquecimento rápido da superfície dos alimentos. A transmissão de calor para o centro do alimento ocorre por condução de forma lenta (DAGERSKOG; ÖSTERSTRÖM, 1979). Essas condições levam à evaporação da água da camada superficial, reduzindo a umidade relativa e criando um gradiente de pressão de vapor que favorece a passagem da água do interior para a superfície do alimento. A exposição prolongada de materiais

biológicos aos raios infravermelhos resulta no inchamento e eventual ruptura dos materiais (FASINA et al., 2001).

O aquecimento seco da camada superficial melhora o sabor e a cor dos alimentos e estas mudanças são geralmente relacionadas com o escurecimento não enzimático que ocorre durante o aquecimento (IBANOGLU, 2002), favorecendo o desenvolvimento da reação de Maillard e a caramelização dos açúcares e dextrinas, com conseqüente surgimento da cor marrom-dourada, mais ou menos intensa, característica de produtos assados (ORDÓÑES, 2005).

A transmissão de calor por radiação infravermelha predomina nos fornos de padaria e nos dessecadores radiantes. O aquecimento infravermelho dos alimentos é realizado mediante bancadas de aquecedores radiantes, que podem ser alimentados por combustíveis sólidos, petróleo, gás ou eletricidade. Os aquecedores radiantes alimentados eletricamente podem ser de dois tipos: os de temperatura média e os de temperatura elevada. Os primeiros são formados por filamentos situados em tubos de silício ou metal, que atingem temperaturas entre 500 e 1000°C e geram cerca de 15 KW.m⁻². Os radiadores de alta temperatura consistem em lâmpadas com filamentos de tungstênio ou filamentos protegidos por tubos de quartzo, que operam a 2500°C com a potência de 10 a 65 KW.m⁻². Nestas condições, a maior parte da energia é de onda de 0,75 a 350 µm (URIBE, 1997).

Esses dispositivos são a base da maioria dos fornos utilizados para diversas finalidades na indústria alimentícia, sejam eles de funcionamento descontínuo ou contínuo (fornos rotatórios, de trilho, túnel ou bandejas em ciclo múltiplo). O aquecimento dos alimentos pode ser indireto ou direto. No primeiro, utilizam-se gases de combustão quentes ou energia elétrica para aquecer as paredes de fornos descontínuos ou os radiadores colocados acima ou abaixo da faixa de cocção de fornos contínuos. O aquecimento direto convencional é realizado colocando-se os bicos de gás sucessivos acima ou abaixo da zona de transmissão de calor por convecção (do ar circulante), radiação (a partir dos dispositivos

irradiantes e paredes) e condução pela bandeja onde se colocam os alimentos (ORDÓÑEZ, 2005).

O aquecimento por radiação infravermelha possui vantagens sobre outros tipos de aquecimento, pois neste método, o calor incide diretamente sobre o produto sem ser influenciado pelo ar ao redor, resultando em um rápido e efetivo processo térmico (STAACK et al., 2008).

Pesquisas recentes sugerem a utilização da radiação infravermelha para prolongar a vida de prateleira de alimentos, como grãos e produtos cárneos (OLSSON et al., 2005; SHERIDAN; SHILTON, 1999). Ibanoglu (2002), utilizou a energia infravermelha para prolongar a vida de prateleira do gérmen do trigo, pois este produto é rico em enzimas e microrganismos deterioradores, possuindo um prazo de validade extremamente curto. Com a aplicação do tratamento térmico por meio da radiação infravermelha foi possível melhorar as características sensoriais do gérmen e prolongar sua conservação através da inativação enzimática e destruição dos microrganismos.

Este tratamento térmico também é adequado para eliminar ácaros e insetos do trigo e da farinha, pois a radiação infravermelha tem baixo poder de penetração, não interferindo nas qualidades tecnológicas da farinha de trigo, dispensando o uso de controle químico destas pragas (MOURIER; POULSEN, 2000; POMERANZ, 1992).

Fasina et al. (2001) demonstraram que a aplicação de radiação infravermelha em leguminosas (fava, ervilha, feijão e lentilha) até a temperatura superficial alcançar 140°C provocou mudanças nas propriedades dos grãos, tais como, aumento no volume, redução do ponto de ruptura e elasticidade e redução da atividade do inibidor da tripsina. Entretanto, o tratamento não causou a desnaturação das proteínas e modificação do amido. O estudo também revelou que a qualidade das farinhas irradiadas foi superior à farinha de grãos não tratados.

Tilley et al. (2007) avaliaram a eficiência do tratamento com radiação infravermelha na redução e mortalidade de pragas de grãos armazenados. Os autores obtiveram bons resultados na eliminação dos insetos, de acordo com as combinações de potência, tempo e temperatura estudados, sendo que o aquecedor a base de propano com 29 kW durante 2 horas de exposição resultou em 100% de mortalidade dos insetos.

O calor pode afetar as características reológicas da farinha, este efeito pode ser positivo ou negativo, dependendo da forma e intensidade de como é aplicado. Gélinas & Mckinnon (2004) observaram que o aquecimento da farinha de trigo a 80°C por 15 minutos aumentou a estabilidade da massa e melhorou a textura do pão, eliminando o uso de ácido ascórbico como antioxidante.

Dependendo da intensidade do aquecimento pode ocorrer a desnaturação protéica e a pré-gelatinização do amido, interferindo nas características do glúten e do produto final (PRESTON; SYMONS, 1993).

7. Bibliografia

AACC (American Association of Cereal Chemists) (2005) Definition/ Reports. Disponível em: <http://www.aaccnet.org/definitions/wholegrain.asp>. Acesso em: 10 agosto 2005.

ADOM, K.; LIU, R. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 50, p. 6182–6187. 2002

ADOM, K.K., SORRELLS, M., LIU, R.H. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v. 53, p. 2297–2306. 2005.

ADOM, K.K.; SORRELLS, M.E.; LIU, R.H. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.51, p. 7825–7834, 2003.

AGÚNDEZ-ARVIZU, Z.; FERNÁNDEZ-RAMÍREZ, M.V.; ARCE-CORRALES, M.E.; CRUZ-ZARAGOZA, E.; MELÉNDREZ, R.; CHRENOV, V.; BARBOZA-FLORES, M. Gamma radiation effects on commercial Mexican bread making wheat flour. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 245, p. 455 – 458, 2006.

ALVIN, A.; AUGUSTO, M.; PAULO, D. Efeitos do acordo entre o Mercosul e a União Européia sobre os mercados de grãos. **Rev. Econ. Soc. Rural**, v. 43, n. 4, p. 703-723, 2005.

ARTS, I.; HOLLMAN, P. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 317S – 325S. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA. In. Análise do mercado de pães, 2002/2003. Disponível em: <http://www.abip.org.br>. Acesso em: 30 out 2008.

BARON, F., NAU, F., GUERIN-DUBIARD, C., GONNET, F., DUBOIS, J.-J.; GAUTIER, M. Effect of dry heating on the microbiological quality, functional properties, and natural bacteriostatic ability of egg white after reconstitution. **Journal of Food Protection**, v. 66, n.5, p. 825–832, 2003.

BASS, E. Wheat flour milling. In: POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**, American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, 1988

BERTRAIS, S., POLO LUQUE, M.L., PREZIOSI, P., FIEUX, B., TORRA DE FLOT, M., GALAN, P., HERCBERG, S. Contribution of ready-to-eat cereals to nutrition intakes in French adults and relations with corpulence. **Annals of Nutrition and Metabolism**. v. 44, p. 249–255. 2000.

BNF (British Nutrition Foundation). **Starchy Foods in the Diet**. BNF, London, 1994.

BRASIL . Portaria RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000. Aprova regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade do pão. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutec.htm>. Acesso em: 27 nov2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DA FARINHA DE TRIGO**: aprovado pelo decreto n.3664 de 02/06/05, [Brasília], [s.d.]. 6p.

BUNZEL, M.; RALPH, J.; MARTIA, J.M.; HATFIELD, R.D.; STEINHART, H. Diferulates as structural components in soluble and insoluble cereal dietary fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 653–660, 2001.

CALDEIRA, M.T.M; LIMA, V.L.A; SEKI, H.A; RUMJANEK, F.D. Trigo: Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.3, n.16, p. 44-48, 2000.

CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA-FILHO, A. W. P.; SALOMON, M. V. Temperature and pH of the nutrient solution on wheat primary root growth. **Sci. Agric., Piracicaba**, v. 61, n. 3, p. 313-318, 2004.

CAUVAIN, S.P. Breadmaking. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making**: Improving quality. Cambridge England: CRC Press, 2003.

CBE/SA. Companhia Brasileira de Esterilização/SA. Disponível em: <http://www.cbe-sa.com.br>. Acesso em: 15 março. 2006

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S.S.; WEBB, C. Application of cereal and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 79, p.131 – 141, 2002.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Tecnologia de massas alimentícias**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982, 187 p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 8)

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STANFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n.1, p. 220-225, 2008

CURIC, D.;KARLOVIC, D.; TUSAK, D.; PETROVIC, B.; DUGUM, J. Gluten as a standard of wheat flour quality. **Food Technology and Biotechnology**, v. 39, n.4, p. 353 – 361, 2001.

DAGERSKOG, M.; ÖSTERSTRÖM, L.. Infra-red radiation for food processing. I. A study of the fundamental properties of infra-red radiation. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology**. v.12. p.237–242. 1979.

DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F.V.; KÜHNE, B., WALLE, D.V., COURTENS, T.M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 243 – 257, 2008.

DIEHL, J.F.; Food irradiation—past, present and future. **Radiation Physics Chemistry**, v. 63, p. 211-215, 2002

EL-DASH, A; MIRANDA de M. Z. Farinha integral de trigo germinado. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 216-223, 2002.

EMULZINT ADITIVOS ALIMENTARES INDUSTRIA E COMÉRCIO. **Apostila de panificação**. Campinas: ITAL, 1985. 89p.

ESTELLER, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. São Paulo, 2004, 248 p. Dissertação (mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo (USP).

FAO (Food and Agriculture Organisation) (2002) *World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report*. FAO, Rome.

FARONI, L. R. D.; BERBERT, P.A.; MARTINAZZO, A.P; COELHO, E.M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 354-357, 2002.

FASINA, O.; TYLER, B.; PICKARD, M.; ZHENG, G. H.; WANG, N.. Effect of infrared heating on the properties of legume seeds. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 36. p. 79-90. 2001.

FAVIER, J.I., TOQUE, C., FEINBERG, M. Ciqual. Repertoire General des Aliments. Table de Composition, second ed Tec et Doc, France p. 1–897. 1995.

FERREIRA, R. A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nut. Brasil**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 45-52, 2003.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (1999) Health Claim Notification for Whole Grain Foods. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/flgrains.html>. Acesso em: 15 Agosto 2005

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (2003) Health Claim Notification for Whole Grain Foods with Moderate Fat Content. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/flgrain2.html>. Acesso em: 15 Agosto 2005.

GELINAS, P.; MCKINNON, C.M. Effect of flour heating on dough rheology. **LWT**, v. 37, p. 129-131, 2004.

- GRALIK, J.; WARCHALEWSKI, J.R. The influence of gamma-irradiation on some biological activities and electrophoresis patterns of wheat grain albumin fraction. **Food Chemistry**, versão on line, 2006
- GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para teste laboratorial de panificação - Pão tipo forma. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n.5, p. 873-879, 2002.
- GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia**: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. 192 p.
- HAARD, N. F. Características de los tejidos vegetales comestibles: In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1992. p. 966-967.
- HAAS, P.; ANTON, A.; FRANCISCO, A. Cancer colo retal no Brasil: Consumo de grãos integrais como prevenção. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, v. 39, n.3, p. 231-235, 2007.
- HAMANAKA, D., DOKAN, S., YASUNAGA, E., KUROKI, S., UCHINO, T., AKIMOTO, K. The sterilization effects of infrared ray on the agricultural products spoilage microorganisms (part 1). **ASAE annual international meeting**, Paper No. 6090 ASAE, Milwaukee, Wisconsin, 2000.
- HAYTA, M.; SCHOFIELD, J.D. Heat and additive induced biochemical transitions in gluten from good and poor breadmaking quality wheats. **Journal of Cereal Science**, v. 40, p. 245-256, 2004.
- HOSENEY, R.C. Functionality of Flour. In: Proceedings of the 73 **Annual Technical Conference. American Society of Bakery Engineers**. Chicago. Illinois. pp. 85-90. 1997
- IBANOGLU, E. Kinetic study on colour changes in wheat germ due to heat. **Journal of Food Engineering**. v.51. p. 209-213. 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (BRASIL). **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Agrícola – novembro de 2008**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Acesso em: 25 outubro 2008.
- JAY, J. M. **Microbiologia moderna de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1992. 804p.
- KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chemistry**, v. 49, p. 157 – 164, 1994.
- KÖKSEL, H.; CELIC, S.; TUNCER, T. Note: Effects of gamma irradiation on durum wheats and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, v. 73, p. 506 – 509, 1996.
- KRIS-ETHERTON, P., HECKER, K., BONANOME, A., COVAL, S., BINKOSKI, A., HILPERT, K., et al.. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, v. 113, p. 71S – 88S. 2002.

LAROCHE, C.; GERVAIS, P. Method for microbial decontamination of powdery products (PATENT WO 02071853) (2003a). Disponível em: http://www.ubourgogne.fr/GPAB/presentation_GB/ppal.htm. Acesso em: 02 Março 2006.

LIU, R.H., Whole grain phytochemicals and Health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 207-219, 2007.

LLOYD, B.J.; SIEBENMORGEN, T.J.; BEERS, K.W., Effect of commercial processing on antioxidants in rice bran. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 551–555, 2000.

LOPEZ, H.W., ADAM, A., LEENHARDT, F., SCALBERT, A., REMESY, C. Control of the nutritional value of bread. **Industries des Cereales**, v.124, p. 15 - 20. 2001

MARATHE, S.A.; MACHAIAH, J.P.; RAO, B.Y.K.; PEDNEKAR, M.D.; SUDHA RAO, V.. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 163 – 168, 2002.

MARTINELLI FILHO, A. **Microbiologia de alimentos I**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 248p.

MAYER-MIEBAH, E. Food irradiation: a means of controlling pathogenic microorganisms in food. **LWT**, v. 26, p. 493 – 497, 1993.

MCKEVITH, B. Nutritional aspects of cereals. **British Nutrition Foundation**, v. 29, p. 111-142. 2004.

MOREHOUSE, K. M. Food irradiation – US regulatory considerations. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 281–284, 2002.

MOURIER, H.; POULSEN, K. P. Control of insects and mites in grain using a high temperature/short time (HTST) technique. **Journal of Stored Products Research**. v.36. p. 309-318, 2000.

OLSSON, E.E.M.; TRAGARDH, A.C.; AHRNE, L.M. Effect of Near-infrared Radiation and Jet Impingement Heat Transfer on Crust Formation of Bread. **Food Engineering and Physical Properties**. v. 70, n.8. p. 484-491. 2005.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos I**. Artmed, Porto Alegre, 2005, 294p.

PENCE, J. W. Bread and roots In: TRESSLER, D.K.; VAN ARSDEL, W.B.; COPLEY, M.J. **The freezing preservation of foods**. Westport: AVI, 1968. p. 386 - 406.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo**: conceitos, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle. Campinas: ITAL, 1999. 72p.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. (Ed.), **Storage of Cereal Grains and their Products**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, 1992, pp. 145–217.

PRESTON, K.R.; SYMONS, S.J. Measurement of heat damage in wheat by assessment of protein fibril formation. *Journal of Cereal Science*, v. 18, p. 53 – 59, 1993.

RAO G.V.; RAO P.H. Methods for determining rheological characteristics of doughs: a critical evaluation. **Journal of Food Science Technology**, v.30, n.2, p.77-87, 1993.

RASPER, V. F. Quality evaluation of cereal and cereal products. In: LORENZ, K.J.; KULP, K., eds. **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 595-638.

REDDY, M.V.B.; RAGHAVAN, G.S.V.; KUSHALAPPA, A.C.; PAULITZ, T.C. Effect of microwave treatment on quality of wheat seeds infected with *Fusarium graminearum*. **Journal of Agricultural Engineering Research** v. 71, p. 113 – 117, 1998.

REHMAN, Z.U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, v. 95, p. 53 – 57, 2006.

RONDINI, L.; PEYRAT-MAILLARD, M.N; MARSSET-BAGLIERI, A.; FROMENTIN, G.; DURAND, P.; TOME, D.; PROST, M.; BERSET, C. Bound ferulic acid from bran is more bioavailable than the free compound in rat. **Journal of Agriculture and food Chemistry**, v. 52, p. 4338-4343, 2004.

SAKAI, N.; HANZAWA T.. Applications and advances in far infrared heating in Japan. **Trends Food Sci. Tech.**, v.5. p. 357-362.1994

SALES, A. M.; VITTI, P. Estudo preliminar sobre propriedades tecnológicas de panificação da farinha mista de trigo e amaranto. **Col. Ital**, Campinas, v. 17, n.1, p. 49-53, 1987.

SCHMIDT, J.W. Wheat in Perspective. In: Inglett, G.E. (ed.), **Wheat: Production and Utilization**. The Avi Publishing Company, Inc. Connecticut. pp.1-7, 1974.

SEAL, C.J. Whole grains and CVD risk. **Proceedings of Nutrition Society**, v. 65, p.24 – 34, 2006.

SEAL, C.J.; JONES, A.R.; WHITNEY, A.D. Whole grains uncovered. **British Nutrition Foundation**, v. 31, p. 129 – 137, 2006.

SHARMA, R. R.; DEMIRCI, A. Inactivation of E. coli O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. **Journal of Food Science**, 68, n. 4, p. 1448–1453, 2003.

SHERIDAN, P.; SHILTON, N. Application of far infra-red radiation to cooking of meat products. **Journal of Food Engineering**. v. 41. p.203-208. 1999.

SHEWRY, P.R.; TATHAM, A.S.; BARRO, F.; BARCELO, P.; LAZZERI, P. Biotechnology of Breadmaking: Unraveling and Manipulating the Multi-Protein Gluten Complex. **Nature Biotechnology**, v. 13, p. 1185 – 1190, 1995.

SIDHU, J. S.; AL-HOOTI, S. N.; AL-SAGER, J. M.. Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. **Food Chemistry**, v. 67, p. 365 – 371, 1999

SILVA, A.C.O.; CERQUEIRA, M.M.O.P.; MORAES, C.F.A.M.P.; SOUZA, M.R.; FERNADEZ, A.T. Radiação em alimentos: Uma revisão. **Higiene Alimentar**, v. 20, n. 143, p. 17 – 23, 2006.

SILVA, R.C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.

SLAVIN, J.L. Why whole grains are protective: biological mechanisms, **Proc Nutr Soc**, v. 62, p. 129–134. 2003.

SOMMERS, C.; FAN, X.T.; NIEMIRA, B.; RAJKOWSKI, K. Irradiation of ready-to-eat foods at USDA’S Eastern Regional Research Center-2003 update **Radiation Physics Chemistry**, v. 71, p. 511-514, 2004

STAACK, N.; AHRNÉ, L.; BORCH, E.; KNORR, D. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 17 – 24, 2008.

STAUFFER, C.E. Emulsifiers as antistaling agents. **Cereal foods world**, v. 45, n. 3, p. 106-110, 2000.

STEVENSON, M. H. Nutritional and other implications of irradiating meat. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 53, p.317–325, 1994

TILLEY, D.R.; CASADA, M.E.; ARTHUR, F.H. Heat treatment for disinfestation of empty grain storage bins. **Journal of Stored Products Research**, 43, p. 221–228, 2007

TREPEL, F. Dietary fibre: More than a matter of dietetics II. Application in prevention and therapy. **Wiener Klinische Wochenschrift**, v.116, p. 551-552, 2004.

URBAIN, W.M. Biological effects of ionizing radiation. In: **Food irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. p.52 – 55, 74-78.

URIBE, M. E. B. Infrared radiation effects on some functional characteristics of wheat flour. Thesis: Master of Science. University of Manitoba. Winnipeg. 112p. 1997.

USDA (2007) **My Pyramid**. Disponível em: <http://www.mypyramid.gov>. Acesso em: 12 Fevereiro 2006.

USDA Centre for Nutrition Policy and Promotion (2005) Grain Consumption by Americans. Nutrition Insight 32. Disponível em: <http://www.cnpp.usda.gov/insights.html/insight32.pdf> Acesso em: 12 Fevereiro 2006.

WIESIR, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, Illinois, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.

YAMAMOTO, H.; WORTHINGTON, S.T.; HOU, G.; NG, P.K.W. Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats grown in the United States. *Cereal Chemistry*, v.73, n.2, p.215-221, 1996.

YU, L., HALEY, S., PERRET, J., HARRIS, M. Comparison of wheat flours grown at different locations for their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 86, p. 11–16, 2004.

ZHOU, K.; LAUX, J. J.; YU, L. Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p.1118–1123. 2004

**CAPÍTULO 2 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA NA
FARINHA DE TRIGO INTEGRAL SOBRE AS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA E SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA
INTEGRAL**

CAPITULO 2

EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA NA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL

Resumo

Estudos demonstram que o consumo de grãos integrais reduz o risco de muitas doenças, como as cardiovasculares e alguns tipos de câncer. Uma alternativa para aumentar o consumo de grãos integrais é através da utilização de farinha de trigo integral em produtos de panificação. Porém esta farinha apresenta dificuldades relacionadas à sua conservação e manutenção da qualidade, devido à ação de enzimas, insetos e microrganismos presentes nas camadas periféricas do grão. Neste trabalho, estudou-se o efeito da radiação gama na farinha de trigo integral, avaliando a influência sobre suas características tecnológicas e na elaboração de pães de forma integrais. Foi utilizada farinha de trigo integral, obtida de grãos moídos em moinho de pedra. Foram aplicadas cinco doses de radiação gama (0,5, 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 kGy) e tratamento controle (farinha de trigo integral não irradiada), sendo avaliadas após a aplicação das doses de radiação gama as características físico-químicas (composição centesimal e cor) e reológicas (viscosidade da pasta, farinografia, extensografia, teores e índices de glúten e *Falling Number*) das farinhas. As amostras foram armazenadas durante quatro meses e a cada mês foram realizadas análises para acompanhamento da estabilidade (acidez do extrato etéreo, microbiologia e presença de insetos), e performance em panificação (volume específico, umidade e dureza dos pães de forma integrais). Os resultados indicaram que a aplicação de radiação gama afetou as características da farinha de trigo integral, modificando suas propriedades tecnológicas através de alterações na acidez do extrato etéreo e nas características reológicas, observados através dos perfis farinográficos, extensográficos, índice de glúten, RVA, *Falling Number*, cor e estabilidade. Estes

efeitos interferiram diretamente no emprego da farinha de trigo integral irradiada na elaboração de pães de forma integrais, resultando em pães de baixa qualidade, observado através da redução do volume, alterações na umidade e aumento da dureza dos pães. No entanto, a aplicação de baixas doses de radiação gama foi eficiente no prolongamento da estabilidade e redução da carga microbiana da farinha de trigo integral. O tempo de armazenamento da farinha de trigo integral afetou suas características tecnológicas, interferindo diretamente na qualidade dos pães de forma. De forma geral, todas as doses utilizadas afetaram intensamente as características da farinha. Somente as doses 0,5 e 1,5 kGy apresentaram características desejáveis em relação à melhora da estabilidade da farinha, porém seu efeito nas características reológicas também foi deletério. A redução da qualidade da farinha de trigo integral, para elaboração de pão de forma, foi proporcional à dose de radiação gama utilizada e ao tempo de armazenamento.

Palavras-chaves: farinha de trigo integral, radiação gama, pão de forma integral, vida de prateleira.

EFFECT OF THE APPLICATION OF GAMMA RADIATION TO WHOLE WHEAT FLOUR ON ITS TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS AND STABILITY AND ON THE CHARACTERISTICS OF WHOLE BREAD

Abstract

Studies demonstrate that whole grain consumption reduces the risk of many illnesses, such as cardiovascular and some types of cancer. An alternative to increase the consumption of whole grains is through the use of whole wheat flour in baked products. However this flour presents difficulties related to its conservation and quality maintenance, because of enzyme action, insects and microorganisms present on the external layers (aleurone and bran) of the grain. In this work, the effect of gamma radiation on whole wheat flour was studied, evaluating its influence on the technological characteristics of the flour and on elaboration of whole bread. In the experiments, whole wheat flour obtained from grains ground in a stone mill was used. Five doses of gamma radiation were applied (0.5, 1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 kGy) and control treatment (whole wheat flour without the application of gamma radiation), with the evaluation of physicochemical properties (proximate chemical composition and color) and rheological characteristics (paste viscosity, farinograph, extensograph, gluten index and Falling Number) of flours after the application of gamma radiation. The samples were stored during four months and at each month analyses were carried out to follow stability (fat acidity, microbiology and presence of insects) and baking performance (specific volume, moisture and hardness of whole breads). The results indicated that the application of gamma radiation affected the characteristics of whole wheat flour, modifying its technological properties through alterations in fat acidity and rheological characteristics, observed through the farinographic and extensographic profiles, gluten index, RVA, Falling Number, color and stability. These effects directly affected the use of radiated whole wheat flour for the elaboration of whole bread, resulting in breads of inferior quality, observed through the reduction of volume, alterations in moisture and increase of

hardness of breads. However, the application of low doses of gamma radiation was efficient in the prolongation of stability and reduction of microbiological count of whole wheat flour. The storage time of the whole wheat flour affected its technological characteristics, intervening directly with the quality of whole bread. In General, all the doses used intensely affected flour characteristics. Only doses of 0.5 and 1.5 kGy presented desirable characteristics in the improvement of flour stability; however, their effects on the rheological characteristics of the flour were also deleterious. The quality reduction of whole wheat flour, for whole bread production, was proportional to the dose of gamma radiation used and to the storage time.

Keywords: whole wheat flour, gamma radiation, whole bread, shelf life.

1 Introdução

É crescente o interesse dos consumidores por produtos funcionais, como aqueles que fornecem fibras e outros compostos que reduzem o risco de doenças, como compostos bioativos, antioxidantes, vitaminas e minerais (DEWETTINCK, 2008).

Estudos recentes demonstram que o consumo de produtos contendo grãos integrais reduz o risco de muitas doenças, como doenças cardiovasculares (TRUSWELL, 2002), vários tipos de câncer (CHATENOUD et al., 1998), além de reduzir os níveis de glicose no sangue (BRUCE et al., 2000) e obesidade (SLAVIN, 2004).

Os cereais são importantes fontes de fibras e, por esta razão, são freqüentemente utilizados em alimentos funcionais. O trigo é muito utilizado na forma de farinha de trigo integral, empregada na elaboração de pães e outros produtos integrais (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

A farinha de trigo integral apresenta vantagens sobre a farinha branca, já que no processo de sua produção nenhuma fração é retirada, mantendo seus atributos funcionais, como fonte de fibras, alto teor de antioxidantes, proteínas, vitaminas e minerais (DEWETTINCK, 2008).

Os pães contendo grãos integrais, multi-grãos e outros ingredientes funcionais estão se tornando muito importantes na indústria de panificação, devido ao aumento da conscientização de um estilo de vida saudável (MARTIN, 2004).

No entanto, a utilização de farinha de trigo integral ainda apresenta dificuldades relacionadas a sua conservação e manutenção de qualidade devido à presença de enzimas lipolíticas e ação de insetos e microrganismos. Estudos demonstram que o armazenamento da farinha de trigo integral resulta em alterações nas suas características nutricionais e tecnológicas, reduzindo a qualidade de panificação ao longo de seu armazenamento (REHMAN, 2006).

Estudos demonstram que a aplicação de radiação gama é uma alternativa para a conservação de diversos tipos de alimentos. Seu efeito se dá através da descontaminação microbiana e desinfestação de insetos, podendo substituir o uso de fumigantes e conservantes em alimentos (AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006).

Marathe et al. (2002) avaliaram o efeito de baixas doses de radiação gama (0,25 a 1,0 kGy) e observaram que a aplicação 0,25 kGy foi suficiente para prolongar a vida útil da farinha de trigo integral até 6 meses, sendo que a farinha de trigo integral não irradiada apresentou prazo de validade de no máximo 6 semanas.

Este trabalho objetivou estudar o efeito da radiação gama na farinha de trigo integral, avaliando a influência de diferentes doses e tempo de armazenamento sobre as características tecnológicas e na elaboração de pães integrais.

2. Materiais e métodos

2.1 Matérias-primas

Neste experimento foi utilizada farinha de trigo integral, marca Anaconda, adquirida diretamente do fabricante (Anaconda Industrial e Agrícola de Cereais S.A. – São Paulo/SP).

Foi solicitado ao fabricante que a farinha fosse produzida no dia anterior ao dia da entrega do produto, para evitar alterações nas análises de atividade enzimática e microbiológica. A farinha de trigo integral foi obtida através da moagem dos grãos inteiros em moinho de pedra, obtendo-se farinha de trigo integral, a qual foi utilizada nos tratamentos com aplicação de radiação gama.

Para a produção dos pães foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Farinha de trigo integral - Anaconda Industrial e Agrícola de Cereais S.A. – São Paulo/SP;

- Ácido ascórbico - DSM Produtos Nutricionais Brasil Ltda (São Paulo/SP);

- Açúcar refinado especial – Cometa;
- Diacetil tartarato de mono e diglicerídeos (DATEM) – Panodan G20-20 - Danisco (Cotia/SP);
- Fermento biológico seco instantâneo - Fleischmann® (Pederneiras/SP);
- Glúten de trigo - Labonathus Biotecnologia Internacional Ltda. (São Paulo/SP);
- Gordura vegetal hidrogenada - Cargill Agrícola S/A (Mairinque/SP);
- Leite em pó integral - Itambé (Belo Horizonte/MG);
- Propionato de cálcio aglomerado - Metachem Ind. e Com. Ltda. (Higienópolis/SP);
- Sal marca Lebre (Areia Branca /RN).

2.2 Métodos

2.2.1 Definição dos tratamentos

Amostras contendo 3 kg de farinha de trigo integral foram armazenadas em embalagens de polietileno de alta densidade. Após acondicionadas nas embalagens, as amostras foram enviadas para aplicação das doses de radiação gama na Empresa Brasileira de Radiações (Cotia/SP).

As doses de irradiação gama foram estabelecidas de acordo com dados disponíveis na literatura, na dose mínima possível de ser aplicada na Empresa (0,5 kGy). A dose máxima (4,5 kGy) foi baseada em estudos realizados por Silva (2003), que trabalhou com a aplicação de radiação gama em farinha de trigo branca e fubá. Foram utilizadas neste estudo, as seguintes doses: controle (sem tratamento); 0,5 kGy; 1,5 kGy; 2,5 kGy; 3,5 kGy e 4,5 kGy.

Após a aplicação das doses, as amostras foram armazenadas em local protegido da luz e umidade, com temperatura ambiente.

2.2.2 Avaliações

Foram realizadas análises para caracterização da matéria prima e acompanhamento do comportamento da estabilidade durante o período de armazenamento, em intervalos regulares de 30 dias até 120 dias (0, 30, 60, 90 e 120 dias) para a farinha de trigo integral. Os pães de forma foram elaborados até o segundo mês de armazenamento, sendo avaliados por um período de 7 dias.

2.2.2.1 Composição centesimal

Foram realizadas determinações de umidade (AACC 44-15A, 1995), teor de proteínas (AACC 46-13, 1995), lipídeos (AACC 30-10, 1995), fibra total (AACC 32-30, 1995), cinzas (AACC 08-01, 1995) e carboidratos (calculados por diferença), na farinha de trigo integral.

2.2.2.2 Cor instrumental

Para a determinação da cor das farinhas de trigo controle e irradiadas foi utilizado o espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA) seguindo o sistema CIE-Lab, determinando-se os valores de L* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a* (verde -/vermelho +) e b* (azul -/amarelo +) (MINOLTA, 1994). A diferença total de cor (ΔE) entre a farinha de trigo integral controle e as amostras irradiadas foi calculada através da seguinte fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

2.2.2.3 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral irradiadas e controle

As propriedades reológicas das farinhas de trigo integral controle e das amostras irradiadas foram avaliadas através das seguintes determinações:

2.2.2.3.1 Viscosidade da pasta

As características de viscosidade de pasta das farinhas de trigo integral controle e irradiada foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visco Analyser), utilizando o programa Thermocline for Windows, versão 2.3. (Newport Scientific Pty Ltd), segundo a metodologia nº 162 proposta pelo ICC (1995), utilizando o programa Standard 1.

Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C), viscosidade final e *setback* (tendência à retrogradação).

2.2.2.3.2 Farinografia

A capacidade de absorção de água e as propriedades reológicas da massa foram determinadas utilizando o farinógrafo Brabender, de acordo com o método nº 54-21 da AACC (1995). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água (%), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade e índice de tolerância à mistura (ITM).

2.2.2.3.3 Extensografia

As propriedades extensográficas das farinhas de trigo integral foram determinadas segundo o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender. Os parâmetros avaliados foram: resistência à extensão ou elasticidade (R), resistência máxima (R_m), extensibilidade (E) e número proporcional (D).

2.2.2.3.4 Teores e índice de glúten

Os teores de glúten úmido e seco e o índice de glúten foram determinados no sistema Glutomatic e Glutork, marca Perten Instruments, de acordo com o método nº 38-12 da AACC (1995). As equações utilizadas foram as seguintes:

Glúten úmido (%): $\frac{\text{glúten úmido (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$

Glúten seco (%): $\frac{\text{glúten seco (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$

Índice de glúten: $\frac{\text{glúten que permanece no tamiz (g)} \times 100}{\text{glúten úmido total (g)}}$

2.2.2.3.5 Falling Number

O “Falling Number”, também chamado de “número de queda” foi determinado no equipamento “Falling Number” marca Perten Instruments, modelo 1800; de acordo com o método nº 56-81B da AACC (1995), utilizando 7 gramas de farinha corrigido para 14% de umidade.

2.2.2.4 Acompanhamento da estabilidade

O acompanhamento da estabilidade da farinha de trigo integral controle e das amostras irradiadas foi realizado a cada 30 dias durante 120 dias através das seguintes determinações:

2.2.2.4.1 Umidade

A determinação da umidade foi realizada de acordo com o método 44-15A descrito na AACC (1995).

2.2.2.4.2 Acidez do extrato etéreo

A acidez do extrato etéreo foi avaliada através da metodologia descrita na AACC, nº 58-15 (1995). Os resultados foram expressos em mg KOH/100 g de amostra. Este valor é utilizado para demonstrar a atividade da enzima lipase, a

qual degrada os triglicerídeos em ácidos graxos livres, aumentando a acidez do extrato etéreo.

2.2.2.4.3 Análise microbiológica

Foi determinada a incidência de bolores e leveduras (AACC 42-50, 1995) antes e após a aplicação dos tratamentos, para verificação de sua eficiência.

2.2.2.4.4 Presença de insetos

Foi realizada observação visual da presença de insetos vivos ou mortos (larvas e adultos), utilizando o método da peneira (HILL, 1990).

2.2.2.5 Elaboração dos pães de forma integrais

A formulação de pão de forma integral utilizada neste estudo esta apresentada na Tabela 2.1, sendo descrita por Silva (2007). Em cada tratamento foram processados 3,0 kg de farinha de trigo integral, obtendo-se 14 pães por ensaio.

Tabela 2.1 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma.

Ingrediente	Quantidades (%)
Farinha de trigo integral	100
Fermento biológico	2
Sal	2
Açúcar	4
Vital Glúten	4
Propionato de cálcio	0,3
Leite em pó	4
Gordura	3
Emulsificante (DATEN)	0,3
Ácido ascórbico	0,008
Água	De acordo com a farinografia

Os pães de forma foram produzidos na planta piloto de panificação do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) – Unicamp. O preparo dos pães consistiu na adição dos ingredientes na masseira HYPPOLITO automática espiral HAE10, homogeneização na velocidade lenta, e adição, aos poucos, de água gelada. Os ingredientes foram misturados na velocidade rápida para a formação da massa (até atingir o ponto de véu). Realizou-se o descanso da massa por aproximadamente 10 minutos, e posteriormente, a divisão em partes de 400 g. A modeladora HYPPOLITO auxiliou na modelagem dos pães, que foram em seguida colocados em formas de folha galvanizada de ferro (22 x 11 cm) e em câmara de fermentação MAQUIP nas condições de 30°C e 80% de umidade relativa, por 1 hora e 40 minutos. O forneamento foi realizado em forno HYPO, a 160°C por 40 minutos, e após 1 hora de resfriamento, os pães foram embalados em sacos plásticos e armazenados à temperatura ambiente até a realização das análises.

2.2.2.6 Avaliação dos pães de forma

Foram elaborados 14 pães de forma de cada tratamento, embalados em sacos de polietileno de baixa densidade, sendo distribuídos: 3 pães para a determinação do volume específico no dia 0 (dia da produção); 3 pães para as análises de textura e umidade nos dias 1, 4 e 7, após o processamento.

2.2.2.6.1 Volume específico

Foi determinado através do método de deslocamento de sementes de painço, de acordo com o método nº 72-10 da AACC (1995). O volume específico foi calculado pela relação entre o volume do pão assado (mL) e sua massa (g), obtida pelo emprego de balança semi analítica.

2.2.2.7 Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem

Os pães foram embalados, estocados à temperatura ambiente e avaliados nos dias 1, 4 e 7 após o processamento, sendo realizadas análises de umidade e textura instrumental.

2.2.2.7.1 Umidade

A determinação da umidade dos pães foi realizada em triplicata, em duas fases, sendo a primeira realizada em temperatura ambiente por 24 horas e a segunda fase em estufa a 130°C por 1 hora, segundo método nº 44-15A da AACC (1995), utilizando as fatias centrais de cada pão.

2.2.2.7.2 Análise de textura instrumental

A textura dos pães, expressa pela força máxima aplicada para pressionar duas fatias centrais do pão de forma (2,5 cm cada), foi avaliada instrumentalmente utilizando-se texturômetro TA-XT2, de acordo com o método nº 74-09 da AACC (1995). Os resultados apresentados são resultantes da utilização de três pães de cada tratamento e 10 fatias centrais de cada pão, totalizando 15 repetições. As condições empregadas foram: sonda P36; modo: força de compressão: 20 g; velocidade de teste: 1,7 mm/s; 40% de compressão da amostra; velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s e velocidade de pós-teste: 3,0 mm/s.

2.2.2.8 Análise estatística

Os resultados das avaliações físicas, composição centesimal e propriedades reológicas foram analisados através da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, utilizando o programa Statistica (2000).

3. Resultados e discussão

3.1 Composição centesimal

Na Tabela 2.2 encontram-se os resultados da composição centesimal da farinha de trigo integral submetida a cinco doses de radiação gama. Observa-se que ocorreram alterações no teor de umidade das amostras, esta alteração provavelmente tenha ocorrido em função da permeabilidade das embalagens de polietileno. Comparando a amostra que não recebeu radiação gama com as amostras tratadas com diferentes doses, observa-se que a amostra não tratada não diferiu das amostras irradiadas, entre as amostras irradiadas, a amostra que recebeu uma dose de 4,5 kGy, foi a que apresentou o maior teor de umidade, diferindo apenas das amostras tratadas com doses de 3,5 e 2,5 kGy.

Tabela 2.2 - Composição centesimal (base seca) das farinhas de trigo integral submetidas a cinco doses de radiação gama

Composição (%)	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Umidade	10,43±0,10 ^{ab}	10,29±0,06 ^{ab}	10,45±0,14 ^{ab}	10,18±0,09 ^b	10,23±0,16 ^b	10,64±0,14 ^a
Proteínas	11,25±0,25 ^b	12,16±0,27 ^a	11,52±0,43 ^{ab}	11,45±0,16 ^{ab}	11,22±0,12 ^b	11,68±0,51 ^{ab}
Lipídeos	1,67±0,01 ^c	1,76±0,02 ^a	1,77±0,01 ^a	1,71±0,01 ^b	1,69±0,00 ^{bc}	1,67±0,01 ^c
Cinzas	1,35±0,01 ^{ab}	1,27±0,12 ^b	1,44±0,02 ^a	1,35±0,01 ^{ab}	1,40±0,00 ^a	1,41±0,01 ^a
Fibra total	2,60±0,01 ^a	2,59±0,01 ^a	2,60±0,01 ^a	2,60±0,01 ^a	2,59±0,01 ^a	2,60±0,02 ^a
Carboidratos*	85,73	84,81	85,27	85,50	85,69	85,24

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; * Calculado por diferença; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

As alterações na umidade estão associadas ao caráter higroscópico da farinha e sua conseqüente tendência a responder às variações da umidade relativa do ambiente de armazenamento, conforme as propriedades de transferência de vapor de água através do material da embalagem (SILVA, 2003).

Observa-se que houve pequenas alterações na composição centesimal das farinhas de trigo integral devido à aplicação de radiação gama, como aumento nos teores de proteínas e lipídeos. O mesmo comportamento foi observado por Marathe et al. (2002), trabalhando com farinha de trigo integral com aplicação de baixas doses de radiação gama. Os autores encontraram as mesmas alterações quando utilizaram doses acima de 1 kGy.

3.2 Cor instrumental das farinhas de trigo integral

A cor da farinha de trigo integral constitui um fator muito importante para sua comercialização e utilização como ingrediente em diversas formulações de produtos. No sistema CIEL*a*b*, os valores para luminosidade são representados pelo L, o vermelho é representado por +a, o verde por -a, o amarelo por +b e o azul por -b, em um plano cartesiano (GIESE, 2000).

Na Tabela 2.3 encontram-se os valores dos parâmetros CIEL*a*b* e do ΔE da farinha de trigo integral controle em relação às amostras de farinhas irradiadas. Observa-se que houve redução nos valores dos parâmetros L* e a* e aumento no parâmetro b* nas farinhas irradiadas quando comparadas com a farinha controle, indicando que a aplicação de radiação induziu à redução da luminosidade e de tonalidades vermelhas e o aumento na tonalidade amarela. Embora tenham ocorrido diferenças significativas entre as amostras, estas foram muito sutis, não sendo visivelmente detectadas. A farinha irradiada com 1,5 kGy foi a que mais se diferenciou da farinha controle, podendo ser confirmado através da diferença total da cor (ΔE).

O mesmo comportamento também foi observado por outros autores que trabalharam com farinha de trigo (SILVA, 2003; CORWELL, 1986). Os autores atribuíram as alterações devido à perda de carotenóides provocada pela gama radiação.

Tabela 2.3 – Valores de L*, a* e b* das farinhas de trigo integral irradiadas e controle

Parâmetros	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
L*	84,66±0,02 ^a	83,88±0,14 ^c	83,93±0,12 ^c	84,23±0,05 ^b	84,01±0,09 ^c	84,24±0,09 ^b
a*	2,03±0,01 ^a	1,94±0,02 ^b	1,93±0,04 ^b	1,88±0,04 ^b	1,92±0,01 ^b	1,87±0,06 ^b
b*	11,23±0,05 ^c	12,41±0,07 ^b	12,73±0,13 ^a	12,24±0,19 ^b	12,23±0,04 ^b	12,35±0,04 ^b
ΔE	0,00	1,44±0,02 ^b	1,70±0,16 ^a	1,13±0,18 ^c	1,23±0,05 ^{bc}	1,24±0,05 ^{bc}

Cada valor representa a média de quatro repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

3.3 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral

A caracterização das propriedades reológicas da farinha de trigo integral é de fundamental importância em panificação, tanto para o controle de qualidade quanto para inferir sobre as características do processamento da massa e a qualidade dos produtos finais.

3.3.1 Viscosidade da pasta

Na Tabela 2.4 encontram-se as propriedades viscoamilográficas das farinhas. Observa-se que a aplicação de radiação gama afetou intensamente as características viscoamilográficas.

Tabela 2.4 – Efeito da aplicação de doses de radiação gama sobre as propriedades da pasta de farinha de trigo integral

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Viscosidade máxima (cP)	2322±22 ^a	430±6 ^b	254±34 ^d	354±4 ^c	379±2 ^c	456±27 ^b
Viscosidade mínima (cP)	1504±32 ^a	80±2 ^b	-17±2 ^c	34±12 ^{bc}	47±2 ^b	45±15 ^b
Quebra de viscosidade (cP)	819±10 ^a	350±7 ^c	271±33 ^d	320±28 ^{cd}	333±4 ^c	411±5 ^b
Viscosidade final (cP)	2663±7 ^a	244±11 ^b	126±2 ^c	189±16 ^c	212±4 ^b	241±31 ^b
Tendência à retrogradação (cP)	1159±25 ^a	165±10 ^{bc}	142±0 ^c	155±16 ^c	165±2 ^{bc}	196±1 ^b
Tempo do pico (s)	6,4±0,1 ^a	4,8±0,0 ^b	4,7±0,0 ^b	4,7±0,0 ^b	4,8±0,1 ^b	4,8±0,0 ^b
Temperatura de gelatinização (°C)	71,0±0,0 ^a	68,2±0,4 ^b	67,8±0,0 ^b	68,2±0,4 ^b	67,0±0,1 ^c	67,8±0,0 ^b

cP = cPoise; Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Em comparação com a farinha de trigo integral controle, os perfis das farinhas de trigo integral irradiadas apresentaram diferenças significativas, tendo uma redução significativa em todos os parâmetros analisados. Entre as farinhas de trigo integral irradiadas, a dose 1,5 kGy foi a que apresentou a maior redução dos parâmetros avaliados.

Marathe et al. (2002) encontraram resultados similares e atribuíram a redução da viscosidade da pasta ao aumento da quantidade de amido danificado. O amido danificado é mais suscetível a quebra, reduzindo a viscosidade da pasta. À medida que os autores aumentaram a dose de radiação gama, aumentou a quantidade de amido danificado e reduziu a viscosidade da pasta.

Ciesla & Eliasson (2007) avaliaram os efeitos da radiação ionizante no amido do trigo. A radiação gama é capaz de hidrolizar as ligações químicas, quebrando

grandes moléculas de amido em pequenos fragmentos de dextrinas que podem ser alteradas eletricamente em radicais livres. Estas mudanças podem afetar as propriedades físicas e reológicas de alimentos irradiados.

3.3.2 Farinografia

A qualidade panificável é o atributo de maior importância para a farinha de trigo. Um processo alternativo de conservação deve ter como objetivo manter ou melhorar essas propriedades (SILVA, 2003).

Na Tabela 2.5, estão apresentados os resultados dos farinogramas das farinhas de trigo integral controle e irradiadas.

Tabela 2.5 – Parâmetros farinográficos da farinha de trigo integral irradiada

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Absorção de água (%)	75,00	92,7	80,9	80	80	80
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	11,75	4,50	4,00	4,75	3,75	4,50
Estabilidade (min)	13,25	3,25	3,00	2,30	2,20	2,10
Índice de tolerância à mistura (UF)	25	60	55	60	75	63

UF = Unidades farinográficas

A farinha de trigo integral controle utilizada neste trabalho apresentou elevada absorção de água (75,0%), o que está relacionado provavelmente com o elevado teor de fibra presente nessa farinha. Por causa da alta capacidade de retenção de água das fibras, a absorção da formulação geralmente aumenta quando fibras são utilizadas (ALMEIDA, 2006).

Vetrimani et al. (2005) observaram diferenças nas características reológicas da farinha de trigo sob diferentes taxas de extração (66 a 100%). Os autores concluíram que, à medida que se aumentou a taxa de extração até obter a farinha de trigo integral (100%), ocorreu um aumento da absorção de água de 60,4 % para 72%, o tempo de desenvolvimento da massa aumentou, porém a estabilidade foi reduzida.

A aplicação de radiação gama modificou as características reológicas da farinha integral, aumentando a absorção de água e o índice de tolerância à mistura, porém reduziu o tempo de chegada, o tempo de desenvolvimento da massa, o tempo de saída e sua estabilidade.

As farinhas irradiadas apresentaram capacidade de absorção de água maior do que a farinha de trigo integral não irradiada. Isto pode ter ocorrido devido ao aumento do amido danificado, sendo que este absorve mais água. A absorção máxima foi atingida com a menor dose de radiação gama (0,5 kGy) em que se alcançou 92,7%. A absorção excessiva de água é prejudicial para a manipulação e maquinabilidade da massa.

O tempo de desenvolvimento da massa, que indica a qualidade protéica, foi maior para a farinha de trigo integral controle (11,75 minutos), havendo redução neste parâmetro para aproximadamente 4,5 minutos nas farinhas de trigo integral submetidas às 5 doses de radiação gama (0,5, 1,5, 2,5, 3,5, e 4,5), indicando uma modificação química das proteínas, principalmente das proteínas formadoras do glúten, enfraquecendo a rede de glúten. Esta redução também foi observada por Silva (2003), utilizando doses entre 3 e 6 kGy em farinha de trigo.

A estabilidade das massas, que indica o tempo que a farinha mantém a consistência específica durante o amassamento, sendo utilizada por algumas empresas como principal padrão de qualidade panificável de uma farinha, foi maior na farinha de trigo integral controle (13,25 minutos), reduzindo-se conforme o aumento da dose de radiação gama aplicada à farinha de trigo integral, chegando a 2,10 minutos na farinha de trigo integral irradiada a 4,5 kGy.

A amostra controle (não irradiada) apresentava um Índice de Tolerância à Mistura (ITM) de 25 UF, que a caracterizava como forte. Este índice foi intensamente alterado para valores entre 55 e 75 UF (1,5 e 3,5 kGy, respectivamente), prejudicando sua utilização na panificação. Resultados semelhantes foram encontrados por Agúndez-Arvizu et al. (2006) e Silva (2003).

A farinha de trigo integral controle apresentou característica de farinha forte, segundo classificação de Pizzinatto (1999), com base na absorção, tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância à mistura. No entanto, a aplicação de radiação gama alterou as propriedades reológicas da massa, reduzindo de acordo com a dose a classificação das farinhas, sendo que as farinhas irradiadas com 0,5 e 1,5 kGy foram classificadas como farinha média e com as doses de 2,5 a 4,5 kGy passaram a ser consideradas “média a fraca”. Esta redução também foi observada por Silva (2003), utilizando doses entre 3 e 6 kGy em farinha de trigo.

A perda na qualidade do trigo devido à irradiação leva alguns autores a concluir que um trigo que possui características tecnológicas de semi duro passa a ter características de um trigo mole (CAMPA et al., 1966).

3.3.3 Extensografia

Na Tabela 2.6 estão apresentadas as características extensográficas das farinhas de trigo integral submetidas a diferentes doses de irradiação gama. Os extensogramas foram obtidos após 45, 90 e 135 min, o que permite avaliar as propriedades de extensão da massa durante a fermentação, simulando condições práticas de panificação (PIZZINATO, 1999). Observa-se que as doses de radiação gama aplicadas à farinha de trigo integral promoveram redução na elasticidade, na resistência máxima e no número proporcional (D), mantendo a extensibilidade, indicando alterações nas propriedades viscoelásticas da massa.

Tabela 2.6 – Parâmetros extensográficos da farinha de trigo integral irradiada

Tempo (min)	Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
45	R (UE)	572,5	224,0	200,0	310,0	187,5	190,0
	Rm (UE)	615,0	215,0	200,0	310,0	187,5	190,0
	E (min)	96,0	120,0	101,0	105,0	121,5	92,5
	D (UE/min)	5,9	1,9	2,0	2,9	1,5	2,1
90	R (UE)	930,0	340,0	285,0	425,0	315,0	287,5
	Rm (UE)	967,5	377,5	287,5	445,0	322,5	297,5
	E (min)	100,0	107,5	102,5	100,0	95,0	98,5
	D (UE/min)	9,3	3,2	2,8	4,3	3,3	2,9
135	R (UE)	>1000	385,0	330,0	455,0	362,5	370,0
	Rm (UE)	>1000	400,0	335,0	470,0	375,0	390,0
	E (min)	85,0	87,5	96,0	95,0	87,0	88,5
	D (UE/min)	>11,8	4,4	3,4	4,8	4,2	4,2

UE: unidades extensográficas, R: resistência à extensão ou elasticidade, Rm: resistência máxima, E: extensibilidade e D: número proporcional.

A farinha de trigo integral controle apresentou extensogramas com aumento da resistência à extensão após 90 e 135 min, praticamente duplicando sua elasticidade (R) quando comparada à obtida aos 45 min, indicando que esta farinha apresenta tolerância a longos tempos de fermentação e as demais etapas do processamento de panificação, tais como, modelagem, colocação em formas, crescimento final e cortes, apresentando características de farinha forte, de acordo com Pizzinato (1999).

As características extensográficas da farinha integral controle estão de acordo com as encontradas por Vetrmani et al. (2005), que avaliaram as características reológicas da farinha de trigo integral, classificando-a como forte.

Entretanto, a aplicação de diferentes doses de irradiação gama promoveu redução nos valores de resistência à extensão da massa, quando comparados à farinha de trigo controle. Além disso, houve um pequeno aumento na resistência à extensão após 135 min, indicando que as doses aplicadas de radiação gama alteraram as propriedades viscoelásticas da massa, obtendo-se farinhas que não respondem ao processo de sova e fermentação, requerendo processamento rápido. O efeito deletério nas características extensográficas foi proporcional à dose aplicada.

Farinhas com estas características (baixa resistência à extensão) dão origem a pães pesados e de baixo volume por não permitirem a expansão adequada da massa durante a etapa de fermentação, podendo ser indicadas para a fabricação de biscoitos (PIZZINATO, 1999).

O efeito observado nas características extensográficas podem ser oriundos das modificações que as doses de radiação gama promoveram no glúten.

Silva (2003) observou que a aplicação de doses acima de 3,0 kGy afetaram de forma negativa nas características alveográficas da farinha de trigo.

3.3.4 Teores e índices de glúten

Todos os grãos contêm proteínas, mas somente a proteína do trigo possui a capacidade de formar glúten, o qual se constitui num filme elástico responsável pela retenção do gás produzido durante a fermentação da massa e, conseqüentemente, pelo crescimento da mesma. Portanto, a habilidade da farinha de trigo de formar uma massa viscoelástica, requerida para a produção de pão, depende amplamente das propriedades físico-químicas peculiares de suas proteínas, particularmente das proteínas do glúten (PIZZINATTO, 1999).

A quantidade e a qualidade do glúten são considerados como os parâmetros mais importantes de qualidade da farinha de trigo. Estes parâmetros de qualidade podem ser avaliados através do método do Índice de Glúten e assim ser comparado e associado com outros métodos. Curic et al. (2001), em seu trabalho caracterizando o glúten como um padrão de qualidade da farinha de trigo, observaram uma forte correlação do índice de glúten com valores extensográficos e também com o volume do produto final.

Na Tabela 2.7, estão os dados referentes às características do glúten. A aplicação de doses 0,5 e 1,5 kGy de radiação gama reduziu a formação da rede protéica de glúten proporcionalmente à dose aplicada e, nas doses acima de 2,5 kGy, impediu a formação da rede de glúten, não sendo possível mensurar o glúten úmido, seco e índice de glúten destas farinhas.

Tabela 2.7 – Características do glúten da farinha de trigo integral irradiada

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Glúten úmido (%)	29,99±1,01 ^a	28,74±2,23 ^a	28,36±0,36 ^a	-	-	-
Glúten seco (%)	11,56±1,20 ^a	9,49±0,92 ^b	9,33±0,47 ^b	-	-	-
Índice de glúten	87,92±0,75 ^a	79,17±6,29 ^b	53,73±5,18 ^c	-	-	-

- = não foi possível determinar; Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Alguns trabalhos indicam que farinhas com índice de glúten superior a 95 são muito fortes e aquelas com índice de glúten abaixo de 60 não seriam adequadas para panificação (CURIC et al., 2001). Portanto a farinha irradiada com 1,5 kGy, foi afetada a ponto de não poder ser utilizada na panificação, somente poderia ser utilizada em misturas com farinhas muito fortes.

Farinhas com índice de glúten entre 75 e 90 resultam em pães com maiores volumes e melhores propriedades sensoriais (CURIC et al., 2001).

A radiação afetou o teor de glúten seco e o índice de glúten, reduzindo a qualidade da farinha e, no caso de aplicação das doses de 2,5 a 4,5 kGy, impedindo sua aplicação na elaboração de pães, pela completa destruição do glúten. Desta forma, somente a farinha de trigo integral irradiada com 0,5 kGy poderia ser utilizada na panificação.

Neste trabalho, observou-se que a radiação gama teve forte influência sobre as propriedades do glúten, resultando em farinhas irradiadas com baixa qualidade para panificação, devido às características observadas nos parâmetros farinográficos e extensográficos das farinhas irradiadas.

3.3.5 Número de queda (Falling number)

O método *Falling number* mede a capacidade da enzima alfa-amilase em liquefazer um gel de amido, sendo realizada a tomada de tempo (em segundos) requerida à mistura para permitir a queda do agitador até uma distância fixa, sob um gel aquoso do grão triturado ou da farinha submetido a uma temperatura constante de 100 °C (COSTA et al., 2008).

Uma atividade amilolítica alta resulta em rápida liquefação e menor tempo de queda (HAJSELOVA; ALLDRICK, 2003).

Em panificação, um número de queda ideal seria em torno de 200 a 300 segundos. Abaixo de 150 segundos, resulta em pão pesado, de baixo volume, com o miolo úmido e pegajoso. E acima de 300 segundos, resulta em pão com volume reduzido e miolo seco (PIZZINATO, 1999).

Na Tabela 2.8 estão apresentados os valores de número de queda, onde pode se observar que a aplicação de radiação gama reduziu o número de queda proporcionalmente à dose aplicada, sendo mais intensa na dose de 4,5 kGy.

Tabela 2.8 – Atividade da enzima α -amilase medida através do *Falling number* da farinha de trigo integral irradiada

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Número de queda (s)	491±15 ^a	172±3 ^b	172±4 ^b	147±4 ^c	125±1 ^d	125±1 ^d

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Isto demonstra que a radiação gama modificou as características do amido, provavelmente aumentando a quantidade de amido danificado, sendo que este é mais suscetível à hidrólise, reduzindo a viscosidade, e conseqüentemente o número de queda. A amostra controle apresentou valor de 491 segundos e com a aplicação de radiação gama (doses 0,5 a 4,5 kGy) houve uma redução nos valores deste parâmetro para 172 a 125 segundos.

Uma redução no número de queda proporcional à dose aplicada também foi observada por Koxsel et al. (1996) trabalhando com doses de 1,0, 2,5 e 5,0 kGy, sendo atribuída a alterações no amido devido à radiação.

3.4 Acompanhamento da estabilidade

O acompanhamento da estabilidade da farinha de trigo integral foi realizado através das análises de umidade, acidez do extrato etéreo, contagem de bolores e leveduras e presença de insetos.

3.4.1 Umidade

Os dados referentes ao acompanhamento da umidade da farinha de trigo integral, durante o armazenamento encontram-se na Tabela 2.9, onde se observa uma pequena alteração na umidade entre os tratamentos e durante os meses de armazenamento. Apesar da variação, durante o período de armazenamento, pode-se considerar que os valores se mantiveram estáveis e estão dentro da faixa

de especificação da ANVISA para comercialização de farinha de trigo, que permite o máximo de 15% (BRASIL, 2001).

Tabela 2.9 – Teor de umidade (%) da farinha de trigo integral irradiada, armazenada durante 4 meses

Mês	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	10,43±0,10 ^{Bab}	10,29±0,06 ^{Aab}	10,45±0,14 ^{Aab}	10,18±0,09 ^{BCb}	10,23±0,16 ^{ABb}	10,64±0,24 ^{Aa}
1	10,72±0,03 ^{Aab}	10,46±0,07 ^{Ab}	10,48±0,03 ^{Ab}	10,72±0,09 ^{Aa}	10,57±0,10 ^{Aa}	10,66±0,05 ^{Aa}
2	10,76±0,06 ^{Aa}	10,51±0,10 ^{Aa}	10,58±0,07 ^{Aab}	10,47±0,15 ^{ABb}	10,28±0,15 ^{ABb}	10,41±0,05 ^{Ab}
3	10,88±0,09 ^{Aa}	9,69±0,13 ^{Bb}	9,44±0,07 ^{Cb}	9,52±0,01 ^{Cb}	9,52±0,30 ^{Cb}	9,67±0,13 ^{Bb}
4	10,00±0,22 ^{Ca}	9,87±0,21 ^{Ba}	9,93±0,16 ^{Ba}	9,82±0,27 ^{Ca}	9,89±0,23 ^{Ba}	9,99±0,07 ^{Ba}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

A partir destes dados, pode-se afirmar que as condições de armazenamento foram adequadas, com a manutenção da umidade a valores próximos ao inicial, muito importante na conservação de produtos farináceos.

De acordo com Scussel (2002), o limite mínimo para crescimento de fungos em cereais é de 13,5% de umidade, ou seja, as condições de armazenagem utilizadas neste trabalho evitaram o crescimento de fungos, restringindo mais intensamente o crescimento de bactérias, pois estas são mais sensíveis a meios com baixa atividade de água que os fungos.

3.4.2 Acidez do extrato etéreo

Os triglicerídeos do grão são passíveis de sofrerem quebra pelas lipases a ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento, especialmente quando a temperatura e a umidade estão altas e, assim, favorecer a deterioração. Este tipo

de alteração é bastante acelerado pelo crescimento fúngico, devido à alta atividade lipolítica dos fungos. A hidrólise lipídica ocorre muito mais rapidamente do que a de proteínas ou carboidratos em grãos estocados. Por esta razão, o teor de ácidos graxos livres é usado como um índice sensível de deterioração incipiente do grão (ELIAS, 2002).

Assim, além do sabor desagradável, ocorre aumento da acidez, susceptibilidade dos ácidos graxos às reações de oxidação e alterações das propriedades funcionais (GUTKOSKI; PEDÓ, 2000). Tipples & Norris (1965) relataram que o sabor indesejável em alimentos irradiados apresentou semelhança com o que era encontrado na rancidez oxidativa. Lai et al. (1959) verificaram que o trigo irradiado apresentou um forte odor, o qual persistiu quando o trigo foi moído.

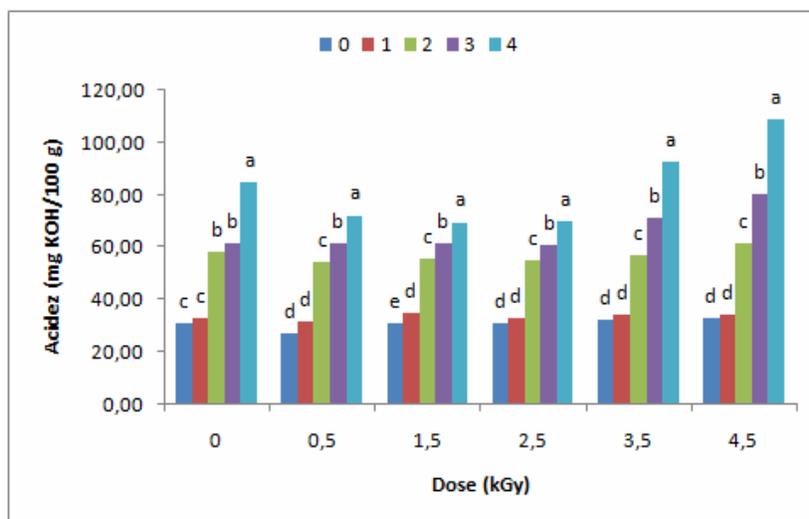
A farinha de trigo integral somente pode ser armazenada por períodos curtos, visto que ela se oxida, independentemente do seu teor de umidade (ZELENY, 1978).

Na Figura 2.1, encontram-se os dados referentes ao acompanhamento da acidez do extrato etéreo da farinha de trigo integral. Observa-se que a aplicação de doses de radiação gama de até 2,5 kGy, melhorou a estabilidade do produto.

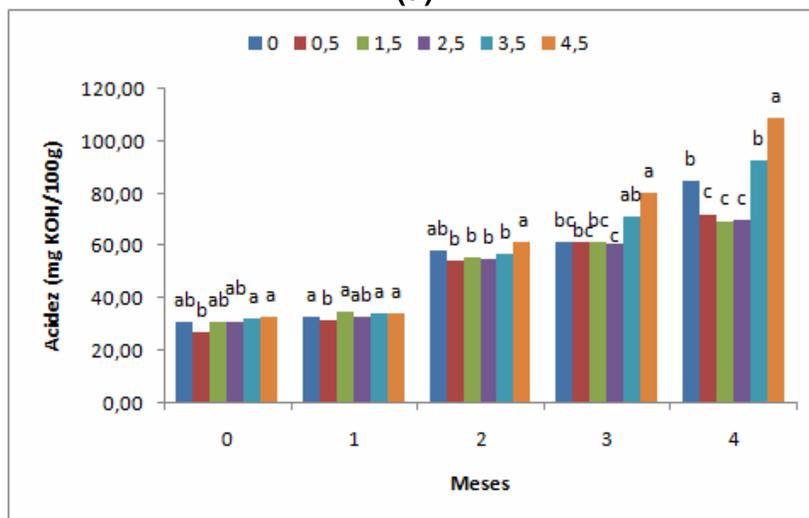
O índice de acidez do extrato etéreo aumentou durante a estocagem em todos os tratamentos, sendo mais acentuado na farinha de trigo integral irradiada na dose de 4,5 kGy. O limite aceitável de índice de acidez lipídica segundo a legislação brasileira é de 100 mg de KOH/100g de amostra para farinha de trigo integral e 50 mg de KOH/100g de amostra para farinha de trigo branca (BRASIL, 2005).

A irradiação influenciou na intensidade do aumento do índice de acidez lipídica, sendo que as doses de 0,5 até 2,5 kGy reduziram a velocidade de oxidação lipídica, prolongando a vida de prateleira da farinha de trigo integral, quando comparada com a farinha integral controle. Enquanto que a aplicação de

doses mais altas (3,5 e 4,5 kGy) aceleraram a oxidação lipídica, reduzindo sua vida de prateleira a no máximo 3 meses. A dose máxima de radiação gama permitida pela FDA para aplicação em alimentos é de 10 kGy, porém observa-se que, mesmo abaixo deste limite, pode ocorrer a degradação da farinha, sendo recomendado a utilização de doses baixas (DIEHL, 1995). Neste trabalho, se observou que doses até 2,5 kGy foram benéficas, retardando a oxidação lipídica.



(a)



(b)

Figura 2.1 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100g) das farinhas de trigo integral: (a) Acompanhamento da acidez durante os meses e (b) Comparação da acidez entre doses.

Marathe et al. (2002) também encontraram efeitos semelhantes da radiação gama sobre a estabilidade da farinha de trigo integral. Os autores observaram que a aplicação de baixas doses de radiação gama (0,25 a 1,0 kGy) reduziram a velocidade de oxidação lipídica durante os 6 meses de armazenamento.

3.4.3 Análise microbiológica

Na Tabela 2.10 encontram-se as contagens de bolores e leveduras nas farinhas de trigo integral durante o período de armazenamento. Observa-se que a farinha de trigo controle permaneceu com contagem de bolores e levedura abaixo do limite de 10^4 UFC.g amostra, estabelecidos pela ANVISA, segundo a Portaria nº 451 de 19 de setembro de 1997 (BRASIL, 1997). Todas as doses de radiação gama aplicadas foram eficientes na redução da contagem de bolores e leveduras, indicando que a utilização da dose mínima é o suficiente para reduzir a contagem a valores menores de 100 UFC. g⁻¹. Diversos trabalhos apresentaram resultados semelhantes, o que demonstra a eficiência da utilização da radiação gama para a descontaminação de materiais (HSIAO-WEI et al., 2008; AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006).

Tabela 2.10 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g⁻¹)

Mês	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	2.10 ²	<100	<100	<100	<100	<100
1	2.10 ²	<100	<100	<100	<100	<100
2	2.10 ²	<100	<100	<100	<100	<100
3	6,0.10 ²	<100	<100	<100	<100	<100
4	1,2.10 ³	<100	<100	<100	<100	<100

3.4.4 Infestação de insetos

Não foi encontrada nenhuma infestação de insetos em qualquer fase metamórfica nas amostras estocadas por 4 meses. Existe a possibilidade de que a farinha tenha sofrido algum processo de eliminação de insetos durante a sua produção. Geralmente os moinhos submetem as farinhas a um equipamento que utiliza agitação e alto impacto para destruir os ovos de insetos. Os insetos adultos são eliminados através de expurgos na matéria prima e posteriormente durante a limpeza dos grãos por passagem em peneiras, resultando em ausência de insetos em todas as amostras.

3.5 Avaliação da qualidade de panificação

Segundo Goesaert et al. (2005), a transformação de farinha em pão compreende uma série de processos químicos, bioquímicos e físicos complexos que ocorrem durante o envelhecimento e ainda não estão completamente elucidados. A farinha, o seu processamento e a qualidade do pão são afetados por uma variedade de constituintes da farinha de trigo, processamento e também por vários ingredientes e aditivos utilizados.

O efeito da radiação gama sobre as propriedades tecnológicas da farinha de trigo integral irradiada foi avaliado através da elaboração mensal de pães de forma integrais, sendo avaliado seu perfil tecnológico através dos parâmetros de volume específico no dia zero, umidade e textura durante a estocagem, nos dias 1, 4 e 7.

A elaboração de pães foi realizada até o segundo mês de armazenamento devido a evidências que demonstraram através dos resultados obtidos na performance de panificação que a aplicação de radiação gama na farinha de trigo integral provoca efeitos deletérios que impedem sua utilização em pães de forma integrais.

3.5.1 Volume específico dos pães

Na Figura 2.2 estão as fotos dos pães de forma integrais, onde observa-se claramente o efeito deletério da radiação gama sobre a qualidade tecnológica da farinha de trigo integral para a produção de pães de forma, reduzindo o volume específico drasticamente.

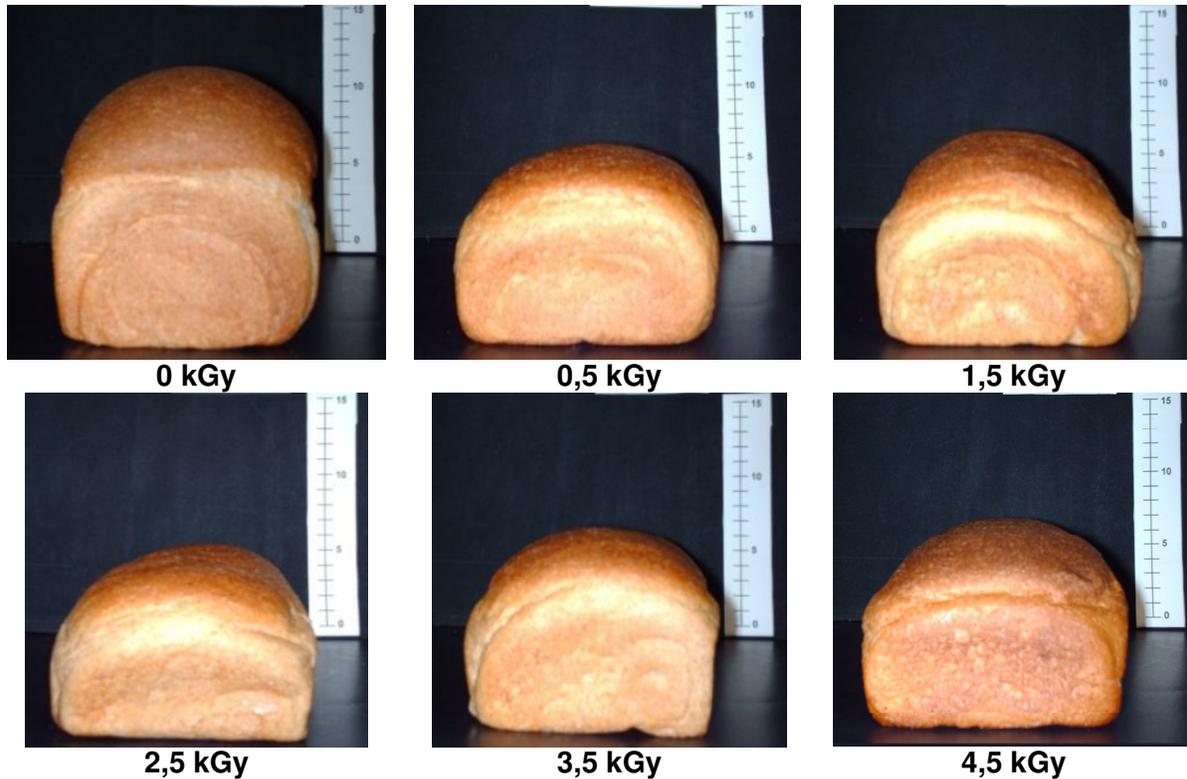


Figura 2.2 – Fotografias dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada, no início do armazenamento.

O mesmo pode ser confirmado através dos dados referentes ao volume específico dos pães (Tabela 2.11), onde se observa uma redução do volume em função da dose aplicada e em alguns casos em função do tempo de armazenamento.

Tabela 2.11 – Volume específico ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada em diferentes doses

Mês	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	5,03±0,17 ^{Aa}	4,12±0,07 ^{Ab}	3,63±0,04 ^{Ac}	3,74±0,11 ^{Ac}	3,57±0,19 ^{Ac}	4,03±0,06 ^{Ab}
1	4,74±0,12 ^{Aa}	3,45±1,15 ^{Bb}	3,08±0,08 ^{Bc}	3,47±0,04 ^{Ab}	3,52±0,04 ^{Ab}	3,52±0,07 ^{Bc}
2	4,44±0,10 ^{Aa}	3,21±0,09 ^{Bb}	2,54±0,08 ^{Cc}	2,83±0,17 ^{Bc}	3,19±0,08 ^{Bbc}	3,36±0,25 ^{Bb}

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

No mês 0, foi observado o menor volume no pão elaborado com farinha integral irradiada com 3,5 kGy, com uma redução de 29% em relação ao pão elaborado com a farinha controle, enquanto o menor efeito na redução do volume foi observado nos pães elaborados com farinha integral irradiada com 0,5 kGy, com uma redução de 18%.

O volume também reduziu em função do tempo de armazenamento das farinhas irradiadas. O mesmo comportamento não ocorreu com os pães elaborados com a farinha controle, em que não houve diferença estatística entre os meses.

Estes fatos podem ter ocorrido em função da modificação das propriedades reológicas ocorridas devido à aplicação de radiação gama, reduzindo o índice de glúten e sua qualidade e modificando o perfil de viscosidade do amido, interferindo no volume final do produto, como já foi observado por outros autores (CURIC et al., 2001).

Urbain (1986) encontrou variação no volume específico dos pães somente quando as doses foram superiores a 5 kGy, a partir da qual ele começou a diminuir gradualmente. A perda de volume chegou a 15 % quando as doses

chegaram a 6 kGy. Silva (2003) verificou um decréscimo de 30,55% no volume do pão produzido com farinhas irradiadas com doses entre 0 e 6 kGy.

3.5.2 Teor de umidade dos pães

A qualidade e a vida de prateleira de produtos panificados são normalmente limitadas por alterações físico-químicas, conhecidas como envelhecimento “*staling*”, levando a alterações na textura e “*flavor*” dos produtos e, no caso de produtos com alta atividade de água, pode ocorrer o aparecimento de bolores. O envelhecimento do pão é a maior causa do seu curto prazo de validade (3 a 7 dias) (CHINACHOTI, 2003).

Este fenômeno é causado devido à recristalização do amido, alterações das proteínas e migração da água da massa após a cocção (FESSAS; SCHIRALDI, 1998).

Na Tabela 2.12, estão apresentados os valores de umidade dos pães de forma integrais elaborados com farinha de trigo integral irradiada armazenada por 0, 1 e 2 meses, sendo realizadas avaliações de umidade nos dias 1, 4 e 7, após o processamento dos pães.

Não houve alteração no teor de umidade durante o armazenamento de 7 dias, embora os pães aparentassem estar mais secos. Este fenômeno é explicado pela retrogradação do amido, que contribui para a firmeza e aparência de seco (GUTKOSKI et al., 2005).

Os valores de umidade encontrados nos pães de forma integrais apresentam semelhança com os reportados por outros autores (WANG et al., 2002; ABDEL-AAL et al., 2008). Os menores teores de umidade foram observados nos pães elaborados com a farinha controle e com a farinha de trigo integral irradiada na dose 4,5 kGy. Os maiores teores de umidade foram observados de forma geral nos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada nas doses 0,5 a 3,5 kGy, não apresentando diferenças significativas entre as doses.

Tabela 2.12 – Acompanhamento da umidade dos pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada e armazenada durante 2 meses, avaliada mensalmente

Mês	Dia	Doses (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	1	37,32±0,51 ^{Ab}	39,32±0,36 ^{Aab}	40,00±0,97 ^{Aa}	40,03±0,83 ^{Aa}	39,15±0,70 ^{Aab}	37,66±0,17 ^{Ab}
	4	37,12±0,40 ^{Ab}	39,29±0,72 ^{Aa}	39,86±0,82 ^{Aa}	39,70±0,57 ^{Aa}	39,29±0,52 ^{Aa}	37,54±0,50 ^{Ab}
	7	36,98±0,30 ^{Ab}	38,65±1,08 ^{Aab}	39,47±0,05 ^{Aa}	39,52±0,92 ^{Aa}	38,71±0,44 ^{Aab}	37,09±0,20 ^{Ab}
1	1	36,67±0,41 ^{Ac}	39,02±0,33 ^{Aa}	38,03±0,11 ^{Ab}	37,57±0,15 ^{Ab}	37,91±0,27 ^{Ab}	37,30±0,41 ^{Abc}
	4	36,26±0,49 ^{Ac}	39,28±0,48 ^{Aa}	35,05±0,48 ^{Aab}	37,62±0,78 ^{Abc}	38,28±0,86 ^{Aab}	37,01±0,13 ^{Abc}
	7	36,09±0,13 ^{Ac}	38,93±0,49 ^{Aa}	37,50±0,94 ^{Aabc}	37,26±0,56 ^{Abc}	38,08±0,67 ^{Aab}	35,58±0,51 ^{Abc}
2	1	35,68±0,70 ^{Ab}	37,14±0,29 ^{Aa}	35,22±0,21 ^{Ab}	37,46±0,15 ^{Aa}	36,52±0,87 ^{Aab}	36,51±0,13 ^{Aab}
	4	35,44±0,19 ^{Ac}	37,36±0,16 ^{Aa}	34,79±0,75 ^{Ac}	36,80±0,26 ^{Aab}	36,28±0,26 ^{Abc}	35,81±0,38 ^{Abc}
	7	34,89±0,64 ^{Ab}	37,16±0,64 ^{Aa}	34,66±0,25 ^{Ab}	35,55±1,26 ^{Aab}	35,43±0,54 ^{Aab}	35,83±0,34 ^{Aab}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Segundo Cauvain (1998), o excesso de umidade nos pães pode aumentar a atividade microbiana, deixar os produtos grudentos e “borrachudos”, reduzindo sua qualidade. O teor de umidade dos pães influencia de forma direta a sua textura. Por esta razão, para definir a faixa ideal de umidade, os dados de umidade e textura devem ser associados.

Na Tabela 2.13 estão os teores de umidade dos pães, onde se observa o efeito do armazenamento da farinha integral na qualidade dos pães elaborados nos diferentes meses.

A elaboração de pães com farinha de trigo integral controle, armazenada por 60 dias, resultou em redução da umidade inicial dos pães. No caso de utilização da farinha de trigo integral irradiada nas doses 1,5 e 2,5 kGy, este evento foi antecipado para 30 dias. Este fato pode ser explicado pelas alterações na fração protéica ocasionada pela aplicação de radiação gama. Urbain (1986) citou que alguns cereais submetidos à radiação gama podem ter suas características sensoriais e propriedades funcionais alteradas, como em seu trabalho, em que ocorreu perda das propriedades viscoelásticas do glúten com a utilização de 2 kGy.

O envelhecimento do pão “*staling*” não está relacionado com a perda de umidade da massa. Esteller et al. (2004) observaram quando analisaram os pães após 5 dias, que eles possuíam a mesma umidade de um pão “fresco”, embora apresentando ao paladar a sensação de estar mais seco. O endurecimento estaria vinculado à retrogradação do amido e ao comportamento das proteínas e pentosanas, como observado por Stauffer (2000).

Tabela 2.13 – Influência do tempo de armazenamento da farinha de trigo na umidade (%) dos pães

Dia	Mês	Doses (kGy)*					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
1	0	37,32±0,51 ^A	39,32±0,36 ^A	40,00±0,97 ^A	40,03±0,83 ^A	39,15±0,70 ^A	37,66±0,17 ^A
	1	36,67±0,41 ^A	39,02±0,33 ^A	38,03±0,11 ^B	37,57±0,15 ^B	37,91±0,27 ^{AB}	37,30±0,41 ^A
	2	35,68±0,70 ^B	37,14±0,29 ^B	35,22±0,21 ^C	37,46±0,15 ^B	36,52±0,87 ^B	36,51±0,13 ^B
4	0	37,12±0,40 ^A	39,29±0,72 ^A	39,86±0,82 ^A	39,70±0,57 ^A	39,29±0,52 ^A	37,54±0,50 ^A
	1	36,26±0,49 ^{AB}	39,28±0,48 ^A	38,05±0,48 ^B	37,62±0,78 ^B	38,28±0,86 ^A	37,01±0,13 ^A
	2	35,44±0,19 ^B	37,36±0,16 ^B	34,79±0,75 ^C	36,80±0,26 ^B	36,28±0,26 ^B	35,81±0,38 ^B
7	0	36,98±0,30 ^A	38,65±1,08 ^A	39,47±0,05 ^A	39,52±0,92 ^A	38,71±0,44 ^A	37,09±0,20 ^A
	1	36,09±0,13 ^A	38,93±0,49 ^A	37,50±0,94 ^B	37,26±0,56 ^{AB}	38,08±0,67 ^A	36,58±0,51 ^{AB}
	2	34,89±0,64 ^B	37,16±0,64 ^A	34,66±0,25 ^C	35,55±1,26 ^B	35,43±0,54 ^B	35,83±0,34 ^B

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; e valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

3.5.3 Textura instrumental dos pães de forma integrais

As propriedades de textura do pão estão associadas à sua estrutura e especialmente às propriedades mecânicas das paredes celulares que formam as células de ar, no miolo do pão. Dentre as mudanças que ocorrem na textura do pão durante o armazenamento, podem ser citadas o endurecimento do miolo e o amolecimento da crosta. O aumento da dureza do pão pode ser devido à reorganização das macromoléculas de amido em uma estrutura cristalina estável. A retrogradação do amido afeta especialmente produtos com temperatura de armazenamento acima de sua transição vítrea (CUQ et al., 2003).

O envelhecimento é o principal fator responsável pelo endurecimento do pão durante o armazenamento. Este pode ocorrer devido à redistribuição de água entre os componentes do produto (especificamente do glúten para o amido) induzindo à formação de organizações cristalinas e fazendo com que o glúten se torne mais frágil. A velocidade com que o envelhecimento ocorre (taxa de envelhecimento) é controlada pela diferença entre a temperatura de armazenamento e a temperatura de transição vítrea do produto (BULEON et al., 1990).

Na Tabela 2.14, estão apresentados os valores de dureza dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com as farinhas de trigo integral.

Tabela 2.14 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral irradiada com diferentes doses e durante o seu armazenamento por 7 dias

Mês	Dia	Doses (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	1	2,45±0,31 ^{Cd}	4,25±0,53 ^{Cc}	4,43±0,71 ^{Bc}	5,20±0,49 ^{Bb}	4,11±0,82 ^{Bc}	6,12±0,72 ^{Aa}
	4	3,78±0,51 ^{Bd}	5,20±0,72 ^{Bc}	6,16±0,36 ^{Aab}	6,13±0,71 ^{Aab}	5,54±0,86 ^{Abc}	7,04±1,49 ^{Aa}
	7	4,95±0,59 ^{Ac}	6,09±0,46 ^{Ab}	5,98±0,63 ^{Ab}	6,42±0,66 ^{Aab}	6,08±0,50 ^{Ab}	7,06±0,90 ^{Aa}
1	1	2,58±0,23 ^{Ce}	4,41±0,21 ^{Ccd}	4,76±0,44 ^{Bc}	5,30±0,45 ^{Bb}	4,30±0,27 ^{Bd}	6,34±0,70 ^{Ba}
	4	3,31±0,22 ^{Bd}	5,32±0,47 ^{Bc}	6,50±0,40 ^{Ab}	6,22±0,76 ^{Ab}	5,97±0,72 ^{Abc}	7,41±0,72 ^{Aa}
	7	5,02±0,60 ^{Ac}	6,90±0,33 ^{Ab}	6,50±0,40 ^{Ab}	6,57±1,04 ^{Ab}	6,11±1,08 ^{Ab}	7,40±0,72 ^{Aa}
2	1	3,59±0,57 ^{Ce}	6,00±0,60 ^{Bd}	7,40±0,37 ^{Bc}	8,30±0,36 ^{Bb}	9,19±0,75 ^{Ba}	8,10±0,47 ^{Cb}
	4	4,15±0,32 ^{Bd}	8,12±0,70 ^{Ac}	7,91±0,58 ^{Bc}	9,53±0,83 ^{Bb}	11,94±1,56 ^{Aa}	9,56±0,83 ^{Bb}
	7	5,67±0,52 ^{Ad}	8,11±0,69 ^{Ac}	11,04±0,84 ^{Ab}	13,68±2,51 ^{Aa}	12,92±0,95 ^{Aa}	11,57±0,91 ^{Ab}

Cada valor representa a média de quinze repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Observa-se que o aumento da dose de radiação gama e o tempo de armazenamento dos pães promoveram um aumento na dureza, que é a força máxima necessária para produzir certa deformação nas fatias de pão de forma integral. Em geral, pode-se explicar o aumento da dureza dos pães durante a estocagem pela recristalização do amido, desnaturação das proteínas e redução da umidade da massa após a cocção (ESTELLER, et al., 2004; OVADIA; WALKER, 1996).

O aumento da dureza com a aplicação da radiação gama provavelmente está relacionada à redução do volume dos pães com o aumento da dose de radiação gama aplicada à farinha de trigo integral. E também é devido ao efeito deletério que a radiação gama provocou nas características reológicas da farinha que refletiram em menor qualidade dos pães.

Silva (2003), trabalhando com aplicação de radiação gama em farinha de trigo, também observou uma intensa redução da qualidade dos pães franceses, devido ao aumento da dureza e redução do volume dos mesmos. O efeito foi proporcional à dose aplicada e atribuído a alterações reológicas provocadas pela radiação gama.

Com relação à influência do tempo de armazenamento da farinha na textura dos pães, observou-se um aumento significativo da dureza dos pães em todos os tratamentos. A intensidade dos aumentos variou de acordo com o tempo de armazenamento e a dose de radiação gama aplicada nas farinhas. A dureza dos pães aumentou com o aumento do tempo de armazenamento da farinha de trigo integral, variando de 14,53 a 112,40% ao final de dois meses de armazenamento da farinha. A menor intensidade foi observada na farinha integral não irradiada e a maior intensidade de aumento foi observada na farinha irradiada com 2,5 kGy. Dentro das farinhas irradiadas, aquela que obteve um menor aumento, ou seja, aquela que manteve a textura estável por mais tempo foi a farinha irradiada na dose de 0,5 kGy.

Estas diferenças encontradas na elaboração de pães ao final de dois meses podem ser resultantes de alterações que ocorrem nos produtos durante o armazenamento, sendo a intensidade proporcional à dose de radiação gama aplicada. Rehman (2006) observou que o armazenamento dos cereais trigo, milho e arroz durante seis meses resultou em alterações nas características nutricionais e de qualidade, aumentando o índice de acidez e alterando a solubilidade de proteínas e carboidratos, o que pode interferir na qualidade tecnológica dos produtos derivados de grãos armazenados por determinado tempo.

4. Conclusão

A aplicação de doses de radiação gama afetou as características da farinha de trigo integral, modificando suas propriedades tecnológicas através de alterações nas características reológicas, viscosidade da pasta e acidez do extrato etéreo, observados através dos perfis farinográficos, extensográficos, índice de glúten, RVA, *Falling Number*, cor, estabilidade e performance na panificação.

Estes efeitos interferiram diretamente no emprego de farinha de trigo integral irradiada na elaboração de pães de forma integrais, resultando em pães de baixa qualidade, observado através da redução do volume, alterações na umidade e aumento da dureza dos pães.

A redução da qualidade da farinha de trigo integral, para elaboração de pão de forma, foi proporcional à dose de radiação gama utilizada e ao tempo de armazenamento.

De forma geral, todas as doses utilizadas afetaram intensamente as características da farinha. Somente as doses 0,5 e 1,5 kGy apresentaram características desejáveis em relação à melhora da estabilidade da farinha, sendo assim, a aplicação de baixas doses de radiação gama é eficiente no prolongamento da estabilidade e redução microbiológica da farinha de trigo integral.

O tempo de armazenamento da farinha de trigo integral afeta suas características tecnológicas, interferindo diretamente na qualidade dos pães de forma.

5. Bibliografia

AACC – **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**, 9ª edição, v. I e v. II, St Paul, MN, USA: The Association, 1995.

ABDEL-AAL, E.M.; RABALSKI, I. Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grains products. **Food Chemistry**, v. 111, p. 150 – 156, 2008.

AGÚNDEZ-ARVIZU, Z.; FERNÁNDEZ-RAMÍREZ, M.V.; ARCE-CORRALES, M.E.; CRUZ-ZARAGOZA, E.; MELÉNDREZ, R.; CHRENOV, V.; BARBOZA-FLORES, M. Gamma radiation effects on commercial Mexican Bread making wheat flour. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 245, p. 455 – 458, 2006.

ALMEIDA, E.L. **Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado**. 2006. 370 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Portaria nº 451, de 19 de setembro de 1997**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br> Acesso em: 20 agosto 2008.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária – ANVISA. **RDC nº 21 de 21 de fevereiro de 2001**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/218_01re.htm. Acesso em: 20 ago 2008

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DA FARINHA DE TRIGO**: aprovado pelo decreto n.3664 de 02/06/05, [Brasília], [s.d.]. 6p.

BRUCE, B.; SPILLER, G.A.; KLEVAY, L.M.; GALLAGHER, S.K. A diet high in whole and unrefined foods favorably alters lipids, antioxidant defenses, and colon function, **Journal of The American College of Nutrition**, v.19, n.1, p. 61–67, 2000.

BULEON, A.; COLONNA, P.; LELOUP, V. Les amidons et leurs derives dans les industries des cereals. **Industries Alimentaires et Agricoles**, v. 6, p. 515 – 532, 1990.

CAMPA, J.P.; GABARIN, R.V.A.; PAHISSA, M.H.H.; BASSA, L. Analisis fisicoquimico de trigo irradiado: estudio de sus características germinativas y nutricionales. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOOD IRRADIATION, Vienna, 1966 **Processing**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1966. p. 355 – 359.

CAUVAIN, S.P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 9, n.2, p. 56 – 61, 1998.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S.S.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 79, p.131 – 141, 2002.

- CHATENOUD, L.; TAVANI, A.; LA VECCHIA, C.; JACOBS, D.R.; NEGRI, E.; LEVI, F.; FRANCESCHI, S. Whole-grain food intake and cancer risk. **International Journal of Cancer**, v.77, p. 24–28, 1998.
- CHINACHOTI, P. Preventing bread staling. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making: Improving quality**. Cambridge England: CRC Press, 2003.
- CIESLA, K.; ELIASSON, A-C. DSC studies of gamma irradiation effect on the amylose-lipid complex formed in wheat and potato starches. **Acta Alimentaria**, v. 36, p. 111 – 126, 2007.
- CORWELL, P.B. The entomology of radiation desinfestation of grain. In: URBAIN, W.M. **Food irradiation**. Orlando: Academic Press Inc., 1986. cap. 1, p. 52 – 55, 74 – 78.
- CUQ, B.; ABECASSIS, J.; GUILBERT, S. State diagrams to help describe wheat bread processing. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, p. 759 – 766, 2003.
- CURIC, D.; KARLOVIC, D.; TUSAK, D.; PETROVIC, B.; DUGUM, J. Gluten as a standard of wheat flour quality. **Food Technol. Biotechnol**, v. 39, n.4, p. 353 – 361, 2001.
- DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F.V.; KÜHNE, B.; WALLE, D.V.; COURTENS, T.M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 243 – 257, 2008.
- DIEHL, H.F. **Safety of Irradiated Foods**, 2nd ed. Pp. 283 - 289. New York: Marcel Dekker Inc. 1995
- ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 311 - 359.
- ESTELLER, M.S.; OLIVEIRA, R.M.O.; AMARAL, R.L.; LANNES, S.C.S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n.4, p. 602 – 607, 2004.
- FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and 'pentosans'. **Thermochim. Acta**, v. 323, p. 17 – 26, 1998.
- GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**, v. 54, n.2, p. 62-63, 2000.
- GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W.S.; COURTIN, C.M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J.A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 12-30, 2005.
- GUTKOSKI, L.C.; BREHM, C.M.; SANTOS, E. dos; MEZZOMO, N. Efeito de ingredientes na qualidade da massa de pão de forma congelada não fermentada durante o armazenamento. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 25, n.3, p. 460 – 467, 2005.

- GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia**: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. 192 p.
- KOKSEL, H.; CELIK, S.; TUNCER, T. Note: Effects of Gamma Irradiation on Durum Wheats and Spaguetti Quality. **Cereal Chemistry**, v. 73, n.4, p. 506-509, 1996.
- HAJSELOVA, M.; ALLDRICK, A.J. Analysing wheat and flour. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making**: Improving quality. Cambridge England: CRC Press, 2003.
- HILL, D.S. Pests of Stored Products and their Control, p. 203 – 207. London: Belhaven Press, 1990.
- HSIAO-WEI, W.; HSIAO-PING, C.; YA-TING, W.; PO-CHOW, H.; I-HSIN, L. FONG-IN, C. Efficacy of gamma irradiation for protection against postharvest insect damage and microbial contamination of adlay. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 208 – 215, 2008.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY. 1976. Norm ICC N°162. **Determination of the viscosity of cereals products** – Pratical Method. Vienna, 1995.
- LAI, S.P.; FINNEY, K.F.; MILNER, M. Treatment of wheat with ionizing radiations and oxidative, physical and biochemical changes. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 401 – 411, 1959.
- MARATHE, S.A.; MACHAIAH, J.P.; RAO, B.Y.K.; PEDNEKAR, M.D.; SUDHA RAO, V.. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 163 – 168, 2002.
- MARTIN, P. Controlling the bread making processos: the role of bubbles in bread. **Cereal Foods World**, v. 49, p. 72 – 75, 2004.
- MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994. 49p.
- OVADIA, D.Z.; WALKER, C.E. Re-examination of the bread firming curve. **Starch/Staerke**, v. 48, n.4, p. 137 – 144, 1996.
- PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo**: conceitos, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle. Campinas: ITAL, 1999. 72p.
- POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.3
- REHMAN, Z.U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, v. 95, p. 53 – 57, 2006.
- SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 675 – 804.

SLAVIN, J.L. Whole grains and human health. **Nutr Res Rev**, v.17, p. 99–110, 2004.

SILVA, C.B. **Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**. 2007. 168 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

SILVA, R.C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados**. 2003. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.

STAUFFER, C.E. Emulsifiers as antistaling agents. **Cereal Foods World**, v. 45, n.3, p. 106 – 110, 2000.

TIPPLES, K.H.; NORRIS, F.W. Some effects of high level gamma irradiation on the lipids of wheat. **Cereal Chemistry**, v. 42, p. 437, 1965.

TRUSWELL, A.S. Cereal grains and coronary heart disease. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 56, p. 1 - 14, 2002.

URBAIN, W.M. Biological effects of ionizing radiation. In: **Food irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. p.52 – 55, 74-78.

VETRIMANI, R.; SUDHA, M.L.; HARIDAS RAO, P. Effect of extraction rate of wheat flour on the quality of vermicelli. **Food Research International**, v. 38, p. 411 – 416, 2005.

WANG, J.; ROSELL, C.M.; BARBER, C.B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221 – 226, 2002.

ZELENY, L. Criteria of wheat quality. In: POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. St. Paul: AACC, 1978. p. 19 – 45.

**CAPÍTULO 3 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA
NO GRÃO DE TRIGO SOBRE AS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA INTEGRAL E
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE
FORMA INTEGRAL**

CAPITULO 3

EFEITO DA APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA NO GRÃO DE TRIGO SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA INTEGRAL E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL

Resumo

As perdas de qualidade dos grãos durante o armazenamento inadequado, através de infestação de insetos e ataque de microrganismos pode chegar até 20%, além de ocorrer redução nas propriedades tecnológicas dos grãos de trigo. Uma alternativa para prolongar a estabilidade dos grãos armazenados é a aplicação de radiação gama. Neste trabalho, estudou-se o efeito da radiação gama nos grãos de trigo, avaliando a influência de diferentes doses de radiação gama e tempo de armazenamento sobre as características reológicas da farinha e na elaboração de pães integrais. No experimento foram utilizados grãos de trigo, nos quais foram aplicadas cinco doses de radiação gama (0,5, 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 kGy) e tratamento controle (grãos de trigo não irradiado), sendo avaliadas após a aplicação das doses de radiação gama, as características físico-químicas (composição centesimal e cor) e reológicas (viscosidade da pasta, farinografia, extensografia, teores e índices de glúten e *Falling Number*) das farinhas obtidas dos grãos irradiados e controle. Os grãos foram armazenados durante quatro meses e a cada mês foram realizadas análises para acompanhamento da estabilidade (acidez do extrato etéreo, microbiologia e presença de insetos), e desempenho em panificação (volume específico, umidade e dureza dos pães de forma integrais). Os resultados indicaram que a matéria prima utilizada neste estudo foi de excelente qualidade, o que contribuiu, juntamente com a baixa umidade dos grãos, para condições adequadas de armazenamento, não se observando o desenvolvimento de insetos e o crescimento microbiano. O tempo de armazenamento e as doses de radiação gama influenciaram as características dos grãos. A aplicação de doses de radiação gama afetou as características dos

grãos de trigo, modificando as propriedades reológicas da farinha, através de alterações nas características do glúten, viscosidade da pasta e acidez do extrato etéreo, observados através dos perfis farinográficos, extensográficos, índice de glúten, RVA, *Falling Number*, cor, estabilidade e performance em panificação. As alterações ocorridas foram proporcionais às doses utilizadas, sendo que a dose de 0,5 kGy foi eficiente na descontaminação microbiana e prolongamento da estabilidade, com pouco efeito nas características tecnológicas da farinha dos grãos, obtendo-se pães com características muito próximas aos pães elaborados com a farinha dos grãos controle. O tempo de armazenamento dos grãos de trigo afetou suas características tecnológicas, aumentando a acidez do extrato etéreo e interferindo diretamente na qualidade dos pães de forma, pela redução do volume e aumento da dureza. A utilização de doses acima de 0,5 kGy e de grãos armazenados por mais de três meses, de modo geral, interferiu nas características da farinha dos grãos e dos pães, resultando em efeitos deletérios, como modificações dos perfis reológicos e conseqüente perda de qualidade dos pães. A aplicação de 0,5 kGy nos grãos de trigo melhorou a estabilidade e não interferiu nas características do pão de forma integral, sendo esta a dose máxima indicada para aplicação em grãos de trigo.

Palavras-chave: grão de trigo, radiação gama, pão de forma integral, estabilidade dos grãos, propriedades reológicas.

EFFECT OF THE APPLICATION OF GAMMA RADIATION TO WHEAT GRAINS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES AND STABILITY OF WHOLE GRAIN FLOUR ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WHOLE BREAD

Abstract

Quality losses of grains during inadequate storage, through insect infestation and microorganism attack can reach 20%, where a reduction of the technological properties of the wheat grains also occurs. An alternative to improve the stability of the stored grains is the application of gamma radiation. In this work, the effect of gamma radiation on wheat grains was studied, evaluating the influence of different doses of gamma radiation and storage time on the rheological characteristics of whole grain flour and on whole bread elaboration. In the experiment, wheat grains were used, to which five doses of gamma radiation were applied (0.5, 1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 kGy) and a control treatment (wheat grains without the application of gamma radiation) were used. After the application of gamma radiation doses, the physicochemical properties (proximate chemical composition and color) and rheological characteristics (paste viscosity, farinograph, extensograph, gluten levels and index and Falling Number) of flours obtained from the radiated and control grains were evaluated. The grains were stored during four months and at each month analyses were carried out to follow stability (fat acidity, microbiology and presence of insects) and baking quality (specific volume, moisture and hardness of whole breads). The results indicated that the raw material used in this study was of excellent quality, which contributed, together with the low moisture of the grains, to adequate conditions of storage, and the development of insects and the microbiological growth were not observed. Storage time and gamma radiation doses influenced the characteristics of the grains. The application of gamma radiation doses affected the characteristics of wheat grains, modifying the rheological properties of the flour, through alterations in gluten characteristics, paste viscosity and fat acidity, observed through the farinographic and

extensographic profiles, gluten index, RVA, Falling Number, color, stability and baking quality. The alterations were proportional to the doses used, being the dose of 0.5 kGy efficient for microbiological decontamination and stability prolongation, with little effect on the technological characteristics of the grain flour, producing breads with characteristics very close to the breads elaborated with the control grain flour. The storage time of the wheat grains affected their technological characteristics, increasing fat acidity and intervening directly in the quality of baked breads, through specific volume reduction and hardness increase. The use of doses above 0.5 kGy and storage times of more than three months, generally, affected the characteristics of the grain flours and breads, resulting in deleterious effects, such as modifications of the rheological profiles and consequent loss of quality of breads. The application of 0.5 kGy to the wheat grains improved stability and did not intervene with the characteristics of the baked breads, being this the maximum dose indicated for application on wheat grains.

Keywords: wheat grain, gamma radiation, whole bread, storage effect, rheological properties.

1 Introdução

A produção mundial de trigo é de 604,96 milhões de toneladas (USDA, 2007). No Brasil a safra de 2007/2008 foi de 4,0 milhões de toneladas, sendo que o Brasil consome anualmente ao redor de 10,5 milhões de toneladas, importando o restante de países como Argentina e Estados Unidos (CONAB, 2008).

O consumo per capita brasileiro é de 53 kg de grãos de trigo por ano, distribuída no mercado, da seguinte forma: 47% padarias, 14% indústria de massas, 20% consumo doméstico, 8% indústria de biscoitos, 5% indústria de pães e 6% para outros segmentos (ABITRIGO, 2006).

O trigo como matéria-prima pode ser considerado o responsável pela qualidade da sua farinha e dos produtos resultantes (COSTA et al., 2008). A qualidade do grão de trigo é o resultado da interação das condições de cultivo (interferência do solo, clima, pragas, manejo da cultura e da cultivar), em soma à interferência das operações de colheita, secagem e armazenamento, fatores estes que influem diretamente sobre o uso industrial a ser dado ao produto final, que é a farinha de trigo (EL-DASH; MIRANDA, 2002; GUTKOSKI; NETO, 2002).

As condições de clima quente e úmido em quase todo o território brasileiro propiciam um ambiente ideal para o desenvolvimento de pragas e ataque de insetos e microrganismos durante o armazenamento do trigo, tornando necessário adotar medidas efetivas de proteção e controle, visto que os prejuízos decorrentes atingem níveis elevados, com perdas ao redor de 20% (ELIAS, 2002).

A radiação gama aplicada ao grão resulta em desinfestação de insetos e evita a utilização de controle químico. Vários trabalhos indicam a aplicação de doses de radiação gama em grãos como alternativa ao uso de produtos químicos para desinfestação de insetos (ALDRYHIM; ADAM, 1999; DELINCEE, 1998; DONAHAYE, 2000).

Estudos demonstram que a aplicação de baixas doses (0,2 a 1,0 kGy) de radiação gama é eficiente na destruição das fases metamórficas dos insetos e

esteriliza os insetos adultos que atacam os grãos armazenados (URBAIN, 1986; MARATHE et al., 2002).

A indústria moageira recebe os grãos de trigo na época da safra, armazena e processa gradualmente, de acordo com as necessidades do mercado. Este trabalho objetivou estudar o efeito da radiação gama nos grãos de trigo, avaliando a influência de diferentes doses e tempo de armazenamento sobre as características tecnológicas da farinha integral e na elaboração de pães integrais.

2 Materiais e métodos

2.1 Matérias primas

Neste trabalho foram utilizadas sementes de trigo da variedade Codetec 108, doadas pela empresa Lagoa Bonita (Itaberá-SP).

Optou-se pelo uso de sementes devido à uniformidade das mesmas, evitando interferências nos resultados. As sementes possuem qualidade superior aos grãos, pois possuem uma secagem mais branda, limpeza mais rígida e alto poder de germinação.

Para a produção dos pães foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Farinha de trigo integral – obtida pela moagem dos grãos de trigo acima mencionados em moinho de rolos, marca Brabender Quadrumat Senior;
- Ácido ascórbico - DSM Produtos Nutricionais Brasil Ltda (São Paulo - SP);
- Açúcar refinado especial – Cometa;
- Diacetil tartarato de mono e diglicerídios (DATEM) – Panodan G20-20 - Danisco (Cotia - SP);
- Fermento biológico seco instantâneo - Fleischmann® (Pederneiras/SP);
- Glúten de trigo - Labonathus Biotecnologia Internacional Ltda (São Paulo - SP);

- Gordura vegetal hidrogenada - Cargill Agrícola S/A (Mairinque - SP);
- Leite em pó integral - Itambé (Belo Horizonte - MG);
- Propionato de cálcio aglomerado - Metachem Ind. e Com. Ltda. (Higienópolis - SP);
- Sal marca Lebre (Areia Branca – RN).

2.2 Métodos

2.2.1 Definição dos tratamentos

Amostras contendo 3 kg de grãos de trigo foram armazenadas em embalagens de polietileno de alta densidade. Após foram enviadas para aplicação das doses de radiação gama na Empresa Brasileira de Radiações – Embrarad (Cotia – SP).

As doses escolhidas para o estudo foram baseadas nos artigos pesquisados (KOKSEL et al., 1996; SILVA, 2003) e na dose mínima possível de ser aplicada na Empresa Embrarad (0,5 kGy), utilizando como fonte de irradiação ^{60}Co . A dose máxima (4,5 kGy) foi baseada nos estudos de Silva (2003), que trabalhou com a aplicação de radiação gama em farinha de trigo branca e fubá. As seguintes doses foram escolhidas: Controle (sem tratamento); 0,5 kGy; 1,5 kGy; 2,5 kGy; 3,5 kGy e 4,5 kGy.

Após a aplicação das doses de radiação gama, as amostras foram armazenadas em local protegido da luz e umidade, em temperatura ambiente.

A moagem dos grãos foi realizada mensalmente com pouca antecedência (3 dias) das análises de estabilidade e produção de pães em moinho de rolos marca Brabender, modelo Quadrumat Senior.

2.2.2 Avaliações

Foram realizadas análises para caracterização da matéria-prima e acompanhamento da estabilidade durante o período de armazenamento, em intervalos regulares de 30 dias, até 120 dias (0, 30, 60, 90 e 120 dias) para a farinha integral dos grãos de trigo. Os pães de forma elaborados mensalmente foram avaliados por um período de 7 dias.

2.2.2.1 Composição centesimal

Foram realizadas determinações de umidade (AACC 44-15A, 1995), teor de proteínas (AACC 46-13, 1995), lipídeos (AACC 30-10, 1995), fibra total (AACC 32-30, 1995), cinzas (AACC 08-01, 1995) e carboidratos (calculados por diferença) na farinha de trigo integral.

2.2.2.2 Cor instrumental

Para a determinação da cor das farinhas dos grãos de trigo controle e irradiados foi utilizado o espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA) seguindo o sistema CIE-Lab, determinando-se os valores de L* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a* (verde -/vermelho +) e b* (azul -/amarelo +) (MINOLTA, 1994). A diferença total de cor (ΔE) entre a farinha do grão de trigo controle e as amostras irradiadas foi calculada através da seguinte fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

2.2.2.3 Avaliações reológicas das farinhas integrais dos grãos de trigo irradiados e controle

As propriedades reológicas das farinhas dos grãos de trigo (controle e irradiado) foram avaliadas através das seguintes determinações:

2.2.2.3.1 Viscosidade da pasta

As características de viscosidade de pasta das farinhas dos grãos de trigo controle e irradiados foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visco Analyser), utilizando o programa Thermocline for Windows, versão 2.3. (Newport Scientific Pty Ltd), segundo a metodologia nº 162 proposta pelo ICC (1995), utilizando o programa Standard 1.

Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C), viscosidade final, *breakdown* (quebra de viscosidade) e *setback* (tendência à retrogradação).

2.2.2.3.2 Farinografia

A capacidade de absorção de água e as propriedades reológicas da massa foram determinadas utilizando o farinógrafo Brabender, de acordo com o método nº 54-21 da AACC (1995). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade e índice de tolerância à mistura.

2.2.2.3.3 Extensografia

As propriedades extensográficas das farinhas dos grãos de trigo foram determinadas segundo o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender. Os parâmetros avaliados foram: resistência à extensão ou elasticidade (R), resistência máxima (Rm), extensibilidade (E) e número proporcional (D).

2.2.2.3.4 Teores e índice de glúten

Os teores de glúten úmido e seco e o índice de glúten foram determinados no sistema Glutomatic e Glutork, marca Perten Instruments, de acordo com o método nº 38-12 da AACC (1995). As equações utilizadas foram as seguintes:

Glúten úmido (%): $\frac{\text{glúten úmido (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$

Glúten seco (%): $\frac{\text{glúten seco (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$

Índice de glúten: $\frac{\text{glúten que permanece no tamiz (g)} \times 100}{\text{glúten úmido total (g)}}$

2.2.2.3.5 Falling Number

O “Falling Number”, também chamado de “número de queda” foi determinado no equipamento “Falling Number” marca Perten Instruments, modelo 1800; de acordo com o método nº 56-81B da AACC (1995), utilizando 7 gramas de farinha corrigido para 14% de umidade.

2.2.2.4 Acompanhamento da estabilidade

O acompanhamento da estabilidade dos grãos de trigo controle e irradiados foi realizado a cada 30 dias durante 120 dias através das seguintes determinações:

2.2.2.4.1 Umidade

A determinação da umidade foi realizada de acordo com o método 44-15A descrito na AACC (1995).

2.2.2.4.2 Acidez do extrato etéreo

A acidez do extrato etéreo foi avaliada através da metodologia descrita na AACC, nº 58-15 (1995). Os resultados foram expressos em mg KOH/100g de amostra. Este valor é utilizado para demonstrar a atividade da enzima lipase, a

qual degrada os triglicerídeos em ácidos graxos livres, aumentando a acidez do extrato etéreo.

2.2.2.4.3 Análise microbiológica

Foi determinada a incidência de bolores e leveduras (AACC 42-50, 1995) antes e após a aplicação dos tratamentos, para verificação de sua eficiência.

2.2.2.4.4 Presença de insetos

Foi realizada a observação visual da presença de insetos vivos ou mortos (larvas e adultos) utilizando o método da peneira (HILL, 1990).

2.2.2.5 Elaboração dos pães de forma integrais

A formulação dos pães de forma integrais utilizada neste estudo esta apresentada na Tabela 3.1, sendo descrita por Silva (2007). Em cada tratamento foram processados 3,0 kg de farinha de grão de trigo, obtendo-se 14 pães por ensaio.

Tabela 3.1 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma

Ingrediente	Quantidade (%)
Farinha de trigo integral	100
Fermento biológico	2
Sal	2
Açúcar	4
Vital Glúten	4
Propionato de cálcio	0,3
Leite em pó	4
Gordura	3
Emulsificante (DATEN)	0,3
Ácido ascórbico	0,008
Água	De acordo com a farinografia

Os pães de forma foram produzidos na planta piloto de panificação do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) – Unicamp. O preparo dos pães (Figura 3.1) consistiu na adição dos ingredientes na amassadeira HYPPOLITO automática espiral HAE10, homogeneização na velocidade lenta, e adição, aos poucos, de água gelada. Os ingredientes foram misturados na velocidade rápida para a formação da massa (até atingir o ponto de véu). Realizou-se a divisão em partes de 400 g e posteriormente o descanso da massa por aproximadamente 10 minutos. A modeladora HYPPOLITO auxiliou na modelagem dos pães, que foram em seguida colocados em formas de folha galvanizada de ferro (22 x 11 cm) e em câmara de fermentação MAQUIP nas condições de 30°C e 80% de umidade relativa, por 1 hora e 40 minutos. O forneamento foi realizado em forno HYPO, a 160°C por 40 minutos, e após 1 hora de resfriamento, os pães foram embalados em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenados à temperatura ambiente até a realização das análises.



Figura 3.1 – Ilustração das etapas da elaboração dos pães.

2.2.2.6 Avaliações dos pães de forma integrais

Foram elaborados 14 pães de forma de cada tratamento, embalados em sacos de polietileno de baixa densidade, sendo distribuídos: 3 pães para a determinação do volume específico no dia 0 (dia da produção); 3 pães para as análises de textura e umidade nos dias 1, 4 e 7, após o processamento.

2.2.2.6.1 Volume específico

Foi determinado através do método de deslocamento de sementes de painço, de acordo com o método nº 72-10 da AACC (2000). O volume específico

foi calculado pela relação entre o volume do pão assado (mL) e sua massa (g), obtida pelo emprego de balança semi-analítica.

2.2.2.7 Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem

Os pães foram embalados, estocados à temperatura ambiente e avaliados nos dias 1, 4 e 7 após o processamento, sendo realizadas análises de umidade e textura instrumental.

2.2.2.7.1 Umidade

A determinação da umidade dos pães foi realizada em triplicata, em duas fases, sendo a primeira realizada em temperatura ambiente por 24 horas e a segunda fase em estufa a 130°C por 1 hora, segundo método nº 44-15A da AACC (1995), utilizando as fatias centrais de cada pão.

2.2.2.7.2 Análise de textura instrumental

A textura dos pães, expressa pela força máxima aplicada para pressionar duas fatias centrais do pão de forma (5 cm), foi avaliada instrumentalmente utilizando-se texturômetro TA-XT2, de acordo com o método nº 74-09 da AACC (1995). Os resultados apresentados são resultantes da utilização de três pães de cada tratamento e 10 fatias centrais de cada pão, totalizando 15 repetições. As condições empregadas foram: sonda P36; modo: força de compressão: 20 g; velocidade de teste: 1,7 mm/s; 40% de compressão da amostra; velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s e velocidade de pós-teste: 3,0 mm/s.

2.2.2.8 Análise estatística

Os resultados das avaliações físico-químicas, composição centesimal e propriedades reológicas foram analisados através da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, utilizando o programa Statistica (2000).

3 Resultados e discussão

3.1 Composição centesimal

Na Tabela 3.2, encontram-se os resultados da composição centesimal dos grãos de trigo. Observa-se que o grão não irradiado apresentou umidade menor do que os grãos irradiados. Estes, por sua vez, não diferiram entre as doses.

A diferença de umidade entre as amostras pode ser explicada pelo caráter higroscópico de produtos ricos em carboidratos, respondendo a alterações da umidade ambiente.

Tabela 3.2 - Composição centesimal (base seca) das farinhas integrais de grãos de trigo submetidos a cinco doses de radiação gama

Composição (%)	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Umidade	11,34±0,27 ^b	12,37±0,05 ^a	12,29±0,10 ^a	12,19±0,06 ^a	12,31±0,14 ^a	12,04±0,12 ^a
Proteínas	11,62±0,10 ^a	11,45±0,33 ^a	11,85±0,35 ^a	11,82±0,42 ^a	11,50±0,45 ^a	11,65±0,16 ^a
Lipídeos	0,94±0,02 ^a	0,98±0,04 ^a	0,99±0,11 ^a	1,00±0,02 ^a	0,96±0,02 ^a	1,02±0,13 ^a
Cinzas	1,63±0,03 ^a	1,64±0,04 ^a	1,67±0,01 ^a	1,63±0,00 ^{ab}	1,61±0,05 ^a	1,58±0,08 ^a
Fibra total	2,29±0,02 ^a	2,27±0,01 ^a	2,29±0,02 ^a	2,28±0,02 ^a	2,28±0,03 ^a	2,28±0,01 ^a
Carboidratos*	85,09	85,16	84,69	84,84	85,21	85,10

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; *Calculado por diferença; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

A radiação gama não provocou alterações significativas nos demais componentes. O mesmo comportamento foi observado por Koxsel et al. (1996), trabalhando com aplicação de doses de radiação gama (1,00 a 5,00 kGy) em grãos de trigo.

A composição centesimal de todas as amostras está de acordo com os limites de tolerância para farinha de trigo integral, que estabelece um limite máximo de 15% de umidade, 2,5% de cinzas e no mínimo 8% de proteínas (BRASIL, 2001).

3.2 Cor instrumental das farinhas dos grãos de trigo

A cor dos alimentos é um atributo importante avaliado pelos consumidores, podendo influenciar na decisão de compra, assim como um indicador de estabilidade. No sistema CIEL*a*b*, os valores para claro e escuro são representados pelo L, o vermelho é representado por +a, o verde por -a, o amarelo por +b e o azul por -b, em um plano cartesiano (GIESE, 2000).

A cor da farinha de trigo está relacionada com a taxa de extração, tendendo a reduzir-se a luminosidade com o aumento desta. A farinha de trigo integral apresenta valores de luminosidade (L^*) menores do que os encontrados na farinha branca, pois é composta de todas as frações do grão, sendo que as partículas da camada de aleurona e gérmen contribuem para a alteração da cor, tornando-a mais escura e amarelada (PRABHASANKAER et al., 2000).

Na Tabela 3.3, encontram-se os valores da cor através dos parâmetros CIEL*a*b* e do ΔE da farinha dos grãos de trigo. Observa-se que não houve diferenças significativas nos parâmetros L^* e a^* da cor, apenas o parâmetro b^* e ΔE apresentaram diferenças, aumentando significativamente com a dose de radiação gama aplicada.

Hsiao-Wei et al. (2008) também observaram alterações no parâmetro b^* em grãos irradiados com doses de 4 e 8 kGy. Os autores relacionaram este efeito com a perda de carotenóides. Alighourchi et al. (2008) avaliaram o efeito de doses de radiação gama sobre a estabilidade de pigmentos de frutas. Os autores concluíram que o aumento das doses de radiação reduz proporcionalmente a

intensidade da cor devido à degradação do pigmento antocianina. A redução chegou até 80% do conteúdo inicial quando se utilizou 10 kGy.

Tabela 3.3 - Cor da farinha integral de grãos de trigo determinada pelo sistema CIELab

Parâmetros	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
L*	76,93±1,53 ^a	76,56±1,66 ^a	77,41±0,79 ^a	77,29±0,29 ^a	75,54±0,43 ^a	74,72±1,78 ^a
a*	3,13±0,42 ^a	3,26±0,53 ^a	2,88±0,06 ^a	3,22±0,09 ^a	3,63±0,12 ^a	3,76±0,48 ^a
b*	13,09±0,21 ^c	14,23±0,30 ^b	14,67±0,12 ^{ab}	14,83±0,17 ^a	14,53±0,22 ^{ab}	14,93±0,11 ^a
ΔE	0	2,33±0,70 ^b	1,83±0,33 ^b	2,00±0,06 ^b	2,93±0,46 ^{ab}	4,03±1,31 ^a

Cada valor representa a média de quatro repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.3 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral

Para garantir a qualidade da farinha de trigo são utilizados processos que avaliam seu potencial de panificação, através de análises como farinografia e extensografia, que determinam o seu desempenho durante a manufatura e predizem a qualidade dos produtos finais (RASPER; WALKER, 2001).

3.3.1 Viscosidade da Pasta

O volume do pão é dependente da fermentação da massa, e essa fermentação é dependente da presença de amido e do conteúdo protéico da farinha. A levedura utilizada como fermento necessita do amido, que é um dos constituintes mais sensíveis à radiação. A radiação, por sua vez, provoca uma despolimerização do amido, levando à um aumento dos teores de açúcares redutores e reduzindo o teor de amido disponível para fermentação pela levedura.

O aumento da produção autolítica de açúcares redutores no trigo irradiado é devido à maior suscetibilidade do amido à hidrólise por diástases. A desnaturação dos polissacarídeos reduz a viscosidade da pasta de amido devido à maior solubilidade da fração amido (DESCHREIDER, 1966).

A Tabela 3.4 apresenta os valores e o perfil de viscosidade medido no aparelho Rapid Visco Analyser (RVA) observados nos grãos de trigo. Nelas pode-se verificar que a irradiação teve grande efeito na redução da viscosidade, afetando intensamente as propriedades da pasta dos grãos de trigo, reduzindo em até 86,8% a viscosidade máxima, 96,3% a viscosidade mínima, 64,2% a quebra da viscosidade, 91,5% a viscosidade final, 81,7% a diferença da viscosidade mínima para final e 53,6% o tempo para alcançar a viscosidade máxima (valores máximos observados nos grãos irradiados com 3,5 kGy). O parâmetro afetado de forma menos intensa foi a temperatura de gelatinização que teve uma redução máxima de 4,1% (dose 0,5 kGy).

Tabela 3.4 – Efeito da aplicação de doses de radiação gama sobre as propriedades da pasta da farinha integral dos grãos de trigo

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Viscosidade máxima (cP)	4038±256 ^a	687±2 ^b	806±10 ^b	629±3 ^b	534±42 ^b	636±4 ^b
Viscosidade mínima (cP)	2835±198 ^a	176±2 ^b	254±5 ^b	174±3 ^b	104±14 ^b	175±1 ^b
Quebra de viscosidade (cP)	1204±59 ^a	512±2 ^{bc}	552±5 ^b	455±2 ^c	431±28 ^c	461±5 ^c
Viscosidade final (cP)	4228±276 ^a	523±3 ^b	623±3 ^b	485±5 ^b	359±17 ^b	497±3 ^b
Tendência à retrogradação (cP)	1394±79 ^a	344±2 ^b	370±8 ^b	311±8 ^b	255±3 ^c	322±4 ^{bc}
Tempo do pico (s)	6,5±0,0 ^a	4,7±0,0 ^c	4,9±0,1 ^b	5,0±0,2 ^b	3,0±0,1 ^d	4,9±0,0 ^{bc}
Temperatura de gelatinização (°C)	66,2±0,1 ^a	63,4±0,6 ^c	64,6±0,0 ^b	64,5±0,0 ^b	64,9±0,4 ^b	64,6±0,0 ^b

cP = cPoise; Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Diversos trabalhos encontrados na literatura relatam o efeito do processo de irradiação na fração amido do alimento. Ananthaswamy et al. (1971) utilizaram altas doses de radiação e estas provocaram alterações nos carboidratos do trigo, tais como a redução do teor de amido e o aumento do teor total de açúcares redutores.

Lai et al. (1959) relataram, como principais alterações de trigo irradiado, a diminuição do teor de amido, da viscosidade e da capacidade de gelatinização, aumento do teor de maltose e a diminuição da capacidade de hidratação da proteína.

Silva (2003) encontrou uma intensa redução no pico de viscosidade de amostras de farinha de trigo e fubá irradiados com doses entre 0 a 6 kGy, observando que a redução foi proporcional à dose aplicada, chegando a uma queda de 83% no tratamento com 6 kGy.

3.3.2 Farinografia

A qualidade panificável é o atributo de maior importância para a farinha de trigo. Um processo alternativo de conservação deve ter como objetivo manter ou melhorar essas propriedades (SILVA, 2003)

Por se tratar de um produto integral, é provável que a presença de fibras altere as características reológicas. Vetrmani et al. (2005) observaram diferenças nas características reológicas da farinha de trigo com diferentes taxas de extração (66 a 100%). Os autores concluíram que, à medida que aumentaram a taxa de extração até obter a farinha de trigo integral (100%), ocorreu um aumento da absorção de água de 60,4 % para 72%, o tempo de desenvolvimento da massa aumentou, porém a estabilidade foi reduzida.

A Tabela 3.5 apresenta os valores obtidos na farinografia das amostras de farinha integral obtidas dos grãos de trigo controle e irradiados. A farinografia, através de análises de absorção de água, tempo de desenvolvimento e

estabilidade, avalia a qualidade de uma farinha no que se refere à sua capacidade de absorver água e à consistência da massa durante a mistura/amassamento. Observa-se que a aplicação de radiação gama nos grãos de trigo alterou o perfil farinográfico de suas farinhas, aumentando a absorção de água e o índice de tolerância à mistura e reduzindo o tempo de desenvolvimento e a estabilidade da massa. Estes efeitos também foram reportados Agúndez-Arvizu et al. (2006) trabalhando com a aplicação de radiação gama em farinha de trigo, na dose de 1,0 kGy.

Tabela 3.5 – Parâmetros farinográficos da farinha integral dos grãos de trigo irradiado

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Absorção de água (%)	73,5	79,0	80,6	80,6	78,0	80,6
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	11,0	10,0	10,5	8,0	8,5	7,0
Estabilidade (min)	12,5	12,7	6,5	6,5	4,3	3,7
Índice de tolerância à mistura (UF)	10,0	10,0	30,0	30,0	30,0	40,0

UF = Unidades farinográficas.

As farinhas dos grãos não irradiados e dos grãos irradiados com 0,5 kGy foram classificadas como forte e as farinhas dos grãos que receberam doses entre 1,5 e 4,5 kGy foram classificados como médias, devido à redução na estabilidade.

A aplicação de radiação gama nos grãos de trigo afetou de forma menos intensa o perfil farinográfico, sendo que a dose 0,5 kGy foi a que menos interferiu, sendo considerada como farinha forte tal como a farinha dos grãos não irradiados (controle), aumentando apenas a absorção de água. O mesmo comportamento

não foi observado na aplicação de radiação gama na farinha de trigo integral, a qual foi intensamente afetada pela radiação gama.

Marathe et al. (2002) estudando o efeito da aplicação de baixas doses de radiação gama (0,25, 0,50 e 1,00 kGy) em farinha de trigo, não observaram diferenças entre os perfis farinográficos das farinhas. Enquanto que Silva (2003) observou efeitos significativos na redução da força da farinha, trabalhando com doses de 3 a 6 kGy.

A aplicação de radiação gama alterou o tempo de desenvolvimento da massa (TDM), sendo que, à medida que se aumentou a dose de radiação gama, o tempo foi reduzido. Sendo assim, pode-se dizer que a farinha dos grãos controle demorou 11,0 minutos para chegar à sua consistência máxima, enquanto que na amostra irradiada com 4,5 kGy este tempo reduziu-se para 7 minutos.

A estabilidade da massa é reconhecida como um parâmetro indicador de maior resistência ao amassamento e melhor qualidade tecnológica. Valores de estabilidade de massas dependem, em grande parte, do número de ligações químicas entre as moléculas de proteínas presentes no glúten, bem como das forças destas ligações. As pontes de hidrogênio e as ligações dissulfeto desempenham grande importância na formação da estrutura do glúten, pois formam uma rede tridimensional relacionada à extensibilidade, impermeabilidade ao gás, elasticidade e ao alto poder de absorção de água da massa (INDRANI; RAO, 2007).

A estabilidade da farinha é utilizada por algumas empresas como principal padrão de qualidade panificável de uma farinha. A irradiação com doses entre 1,5 e 4,5 kGy alterou negativamente a estabilidade da farinha dos grãos de trigo, proporcionalmente à dose aplicada. A dose de 0,5 kGy praticamente manteve a estabilidade observada na farinha dos grãos não irradiados (controle). A farinha dos grãos irradiados com 1,5 e 2,5 kGy tiveram a estabilidade reduzida para 6,5 minutos, enquanto que a farinha dos grãos irradiados com 3,5 kGy teve a

estabilidade reduzida para 4,3 minutos e a farinha dos grãos irradiados com 4,5 kGy teve a estabilidade reduzida para 3,7 minutos, uma redução de 73%.

O índice de tolerância à mistura (ITM) corresponde à diferença de consistência (UF) entre a consistência máxima e a consistência 5 minutos após o ponto de consistência máxima. Observa-se que a aplicação 0,5 kGy não alterou o índice de tolerância à mistura da farinha dos grãos de trigo.

As farinhas dos grãos irradiados com doses entre 1,5 e 3,5 kGy tiveram o índice de tolerância à mistura aumentado para 30 UF, enquanto que a farinha dos grãos irradiados com 4,5 kGy teve seu índice de tolerância à mistura aumentado para 40 UF, ou seja, um aumento de 2 a 3 vezes do valor inicial do índice de tolerância à mistura. Silva (2003) observou alteração do índice de tolerância à mistura a partir da dose de 6,0 kGy, enquanto que Agúndez-Arvizu et al. (2006), trabalhando com 1,0 kGy, não observaram nenhuma alteração neste índice.

A perda na qualidade do trigo devido à irradiação foi verificada por Campa et al. (1966), concluindo que um trigo que possui características tecnológicas de semi duro passa a ter características de um trigo mole (CAMPÁ et al., 1966).

3.3.3 Extensografia

Na Tabela 3.6, estão apresentadas as características extensográficas das farinhas dos grãos de trigo irradiados. Os extensogramas foram obtidos após 45, 90 e 135 minutos, o que permite avaliar as propriedades de extensão da massa durante a fermentação, simulando condições práticas de panificação (PIZZINATO, 1999). Observa-se que a aplicação de radiação gama nos grãos de trigo promoveu uma pequena redução nos parâmetros de resistência à extensão (R), resistência máxima (Rm) e valor proporcional (D), aumentando a extensibilidade (E), indicando alterações viscoelásticas da massa.

A resistência a extensão das massas aumentou com o tempo de descanso, indicando que estas respondem a sovas e fermentação, obtendo-se o

fortalecimento das massas, as quais apresentam boa tolerância a longos tempos de fermentação e demais etapas do processo de fermentação, como modelagem, colocação em formas, crescimento final e cortes (PIZZINATO, 1999).

Resultados similares foram encontrados por Agúndez-Arvizu et al. (2006), que também observaram poucas alterações na elasticidade, utilizando uma dose baixa de radiação gama (1,0 kGy) aplicada em farinha de trigo.

Tabela 3.6 - Parâmetros extensográficos da farinha integral dos grãos de trigo irradiados

Tempo (min)	Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
45	R (UE)	655,0	605,0	530,0	565,0	527,5	480,0
	Rm (UE)	660,0	610,0	530,0	572,5	535,0	480,0
	E (min)	91,0	102,0	104,5	103,0	100,0	105,0
	D (UE/min)	7,2	5,9	5,1	5,5	5,3	4,6
90	R (UE)	>1000	820,0	720,0	750,0	750,0	662,5
	Rm (UE)	>1000	835,0	720,0	760,0	770,0	680,0
	E (min)	67,5	89,5	97,0	91,0	85,0	90,0
	D (UE/min)	>14,83	9,2	7,4	8,3	8,8	7,4
135	R (UE)	>1000	765,0	725,0	860,0	820,0	765,0
	Rm (UE)	>1000	777,5	732,5	865,0	825,0	765,0
	E (min)	72,5	80,0	87,0	81,0	82,5	77,5
	D (UE/min)	>13,81	9,6	8,3	10,7	9,9	9,9

UE: unidades extensográficas, R: resistência à extensão ou elasticidade, Rm: resistência máxima, E: extensibilidade e D: número proporcional (R/E).

3.3.4 Teores e índices de glúten

A medida do glúten determina a qualidade funcional de uma farinha pela mensuração da porção insolúvel das proteínas gliadina, responsável pela coesão da massa, e glutenina, responsável pela propriedade de resistência à extensão (MARTINÉZ; EL-DASH, 1993; XU; BIETZ; CARRIERE, 2007), podendo ser correlacionada a valores extensográficos e ao volume do pão (CURIC et al., 2001).

O glúten é constituído por uma massa viscoelástica tridimensional que proporciona as características físicas e reológicas de plasticidade, viscosidade e elasticidade importantes para a massa de pão (HAARD, 1992; WIESIR, 2007). Farinhas com baixos teores de glúten podem propiciar a obtenção de uma massa com menor absorção de água. A quantidade e qualidade do glúten são considerados os parâmetros de qualidade mais importantes da farinha de trigo. Trigos com boa quantidade e qualidade de glúten resultam em forte absorção de água e uma elevada elasticidade da massa para confecção de pães, que é muito favorável para a retenção do dióxido de carbono durante o processo de fermentação de massas de produtos de panificação (CALDEIRA et al., 2000).

Os grãos de trigo com elevados teores de glúten úmido tendem a produzir as farinhas denominadas fortes, enquanto que os grãos de trigo com baixos teores de glúten úmido proporcionam a obtenção de farinhas denominadas fracas, as quais apresentam baixa elasticidade e baixo teor de proteínas, sendo utilizadas principalmente na elaboração de biscoitos (FARONI et al., 2007; WIESIR, 2007).

A qualidade da farinha pode ser avaliada quanto ao seu índice de glúten (IG), podendo ser classificada de fraca (IG < 40), média (IG 40 – 60), boa (IG 60 – 90) e muito boa (IG > 90) (PIZZINATO, 1999).

Na Tabela 3.7, estão apresentados os teores de glúten úmido, seco e índice de glúten, encontrado nos grãos de trigo controle e irradiados. Observa-se que a aplicação de radiação gama nos grãos teve um efeito dependente da dose

aplicada nos parâmetros porcentagem de glúten úmido e porcentagem de glúten seco, sendo que nas doses 1,5 e 2,5 kGy se obteve o máximo teor de glúten úmido e seco, e nas doses 3,5 e 4,5 kGy houve um decréscimo até chegar a valores similares aos encontrados nos grãos não irradiados (Tabela 3.7).

O índice de glúten reduziu à medida que a dose aplicada aumentou, passando de 100% nos grãos controle até 62% nos grãos irradiados com 3,5 kGy, que por sua vez, não diferiram dos grãos irradiados com 4,5 kGy, indicando que a radiação gama alterou as propriedades das proteínas, reduzindo a qualidade do glúten. Koxsel et al. (1996) atribuíram os efeitos às alterações que a radiação gama provoca na estrutura das proteínas. Os raios gama podem quebrar as ligações químicas das proteínas, resultando em degradação molecular, liberação de aminoácidos e formação de radicais livres (GRALIK; WACHALEWSKI, 2006).

A farinha integral dos grãos não irradiados foi classificada como muito boa, enquanto as farinhas irradiadas em todas as doses foram classificadas como boas, segundo Pizzinato (1999).

Tabela 3.7 – Características do glúten da farinha integral de grãos de trigo irradiados

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Glúten úmido (%)	29,10±0,08 ^c	29,83±0,54 ^{bc}	39,99±1,35 ^a	35,24±2,35 ^{ab}	30,38±0,06 ^{bc}	28,81±1,08 ^c
Glúten seco (%)	10,74±0,63 ^b	10,17±0,03 ^b	15,47±1,34 ^a	12,76±1,42 ^{ab}	10,25±0,38 ^b	9,57±0,66 ^b
Índice de glúten	100,00±0,00 ^a	85,18±1,40 ^b	81,91±3,21 ^{bc}	77,37±0,03 ^c	62,13±2,50 ^d	64,77±0,03 ^d

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

Alguns trabalhos indicam que farinhas com índice de glúten superior a 95 são muito fortes e aquelas com índice de glúten abaixo de 60 não seriam

adequadas para panificação. Farinhas com índice de glúten entre 75 e 90 resultam em pães com maiores volumes e melhores propriedades sensoriais (CURIC et al., 2001).

Costa et al. (2008) destacaram a importância dos valores mais elevados de glúten úmido e *Falling number* como parâmetros de grande importância na caracterização da qualidade de grãos de trigo.

3.3.5 Número de queda (*Falling Number*)

O *Falling Number* é medido em função do tempo que o bastão do equipamento leva para atingir a distância estabelecida pelo método. Uma atividade amilolítica alta resulta em rápida liquefação do gel de amido e menor tempo de queda (HAJSELOVA; ALLDRICK, 2003).

O número de queda, também chamado de *Falling Number*, avalia o efeito/atividade da α -amilase, bem como fornece informações sobre as propriedades viscoamilográficas do amido gelatinizado de uma suspensão farinácea durante o processo de aquecimento. A estrutura do amido de grãos de trigo danificados torna-se mais susceptível à ação de amilases, tendo como consequência uma diminuição do poder de gelatinização do amido durante o aquecimento (AL-MAHANESH; RABABEH, 2007; XU et al., 2007).

Na Tabela 3.8, são apresentados os valores de número de queda. Observa-se que a aplicação de radiação gama reduziu o número de queda de 533 segundos (grãos não irradiados) para 137 segundos (dose 2,5 kGy).

Tabela 3.8 – Atividade da enzima α -amilase medida através do *Falling Number* das farinhas integrais de grãos de trigo irradiados

Parâmetro	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Número de queda (s)	533±20 ^a	195±18 ^b	180±19 ^b	137±5 ^c	207±2 ^b	177±6 ^b

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Os valores do número de queda (NQ) das amostras de farinhas obtidas de grãos de trigo controle mostraram-se compatíveis com características de trigo melhorador (NQ mínimo 250 segundos), o qual é preferencialmente utilizado na indústria de mesclas, em diferentes proporções com farinhas de baixo valor de NQ, com a finalidade de melhorar a qualidade final do produto. Por sua vez, os valores de NQ das amostras de farinhas obtidas de grãos de trigo irradiados apresentaram, em sua maioria, compatíveis com trigo para outros usos (NQ < 200 segundos), sendo tais farinhas inadequadas para uso na panificação, somente podendo ser utilizadas em mesclas (BRASIL, 2001).

A redução do número de queda após a aplicação das doses de radiação gama provavelmente ocorreu devido a alterações no amido, como pode ser observado através dos perfis de viscosidade da pasta (RVA – Tabela 3.4), reduzindo o poder de gelatinização, facilitando a liquefação da pasta em menor tempo e não devido a mudanças na atividade da enzima α -amilase.

Koksel et al. (1996) também observaram uma redução no número de queda de farinhas de grãos de trigo irradiados nas doses de 1,0, 2,5 e 5,0 kGy. Os autores reportaram que a redução do número de queda ocorreu devido à modificações na fração do amido e que a atividade amilolítica não aumentou com a irradiação.

3.4 Acompanhamento da estabilidade

O acompanhamento da estabilidade da farinha de trigo integral foi realizado através das análises de umidade, acidez do extrato etéreo, contagem de bolores e leveduras e presença de insetos.

3.4.1 Umidade dos grãos de trigo

Na Tabela 3.9, encontram-se os dados do teor de umidade dos grãos de trigo controle e irradiados durante os quatro meses de armazenamento.

Tabela 3.9 – Teor de umidade (%) da farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados, armazenados durante 4 meses

Mês	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	11,34±0,27 ^{Ab}	12,37±0,05 ^{Aa}	12,29±0,10 ^{Aa}	12,19±0,06 ^{Aa}	12,31±0,14 ^{Aa}	12,04±0,12 ^{Aa}
1	11,19±0,15 ^{Ba}	11,74±0,03 ^{Ba}	11,83±0,15 ^{Ba}	11,29±0,07 ^{Ca}	11,43±0,71 ^{ABa}	11,45±0,01 ^{ABa}
2	11,72±0,06 ^{Ab}	11,67±0,11 ^{Bb}	12,13±0,04 ^{ABa}	11,55±0,10 ^{Bb}	11,53±0,26 ^{ABb}	11,71±0,09 ^{Ab}
3	10,06±0,03 ^{Cb}	10,35±0,09 ^{Dab}	10,49±0,12 ^{Dab}	10,59±0,08 ^{Eab}	10,58±0,53 ^{Bab}	10,74±0,11 ^{Ba}
4	10,95±0,14 ^{Ba}	11,14±0,07 ^{Ca}	11,16±0,23 ^{Ca}	10,89±0,05 ^{Da}	11,26±0,27 ^{ABa}	10,81±0,67 ^{Ba}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Durante o armazenamento houve variações no teor de umidade dos grãos, sendo o maior valor encontrado no início do armazenamento e o menor valor encontrado no terceiro mês de armazenamento. Comparando as doses, observa-se que os grãos não irradiados apresentaram umidade maior do que os grãos irradiados. Entre os grãos submetidos a diferentes doses de radiação gama não houve diferença no teor de umidade, indicando que a dose aplicada não interferiu

na umidade. As oscilações de umidade durante os meses de armazenamento podem ter ocorrido em função das mudanças da umidade relativa, pois as amostras foram armazenadas em condições ambiente e as embalagens possibilitaram o equilíbrio higroscópico.

Valores de umidade menores que 13% são recomendados tecnicamente sobre a premissa de assegurar a conservação, o empacotamento e o armazenamento satisfatório dos grãos de trigo (FARONI et al., 2007).

A armazenagem de cereais com umidade abaixo de 13,5%, restringe o desenvolvimento de fungos, pois estes necessitam de valores maiores para crescer (SCUSSEL, 2002). Desta forma, as condições de armazenamento utilizadas neste estudo foram adequadas para a conservação.

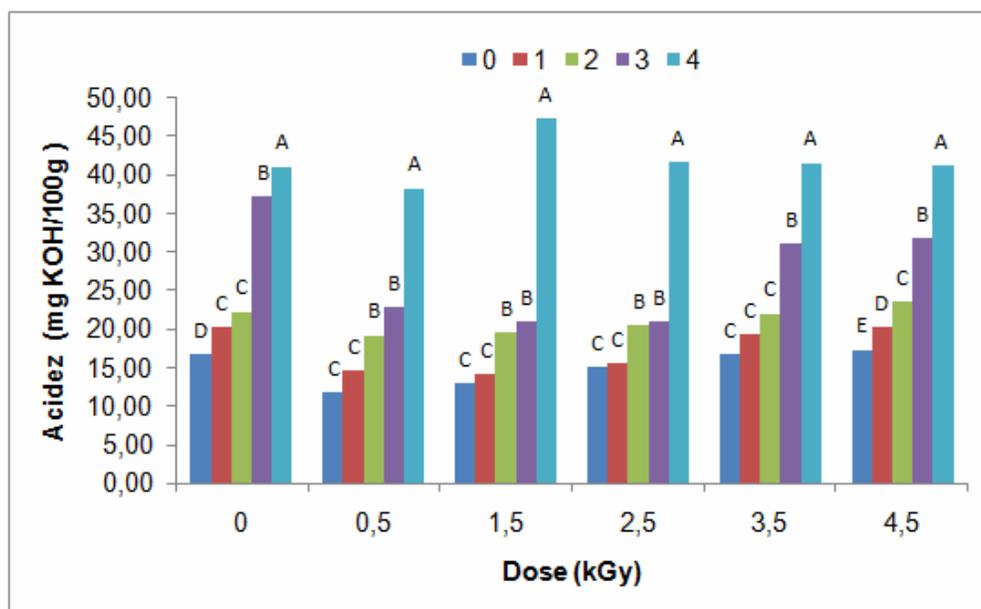
3.4.2 Acidez do extrato etéreo

Os lipídeos constituem a fração mais suscetível à deterioração durante o armazenamento, seja pela redução do seu conteúdo total ou pela suscetibilidade a alterações estruturais. O acompanhamento da variação da gordura dos grãos ao longo do armazenamento é uma medida adequada para avaliar a suscetibilidade destes (ELIAS, 2002).

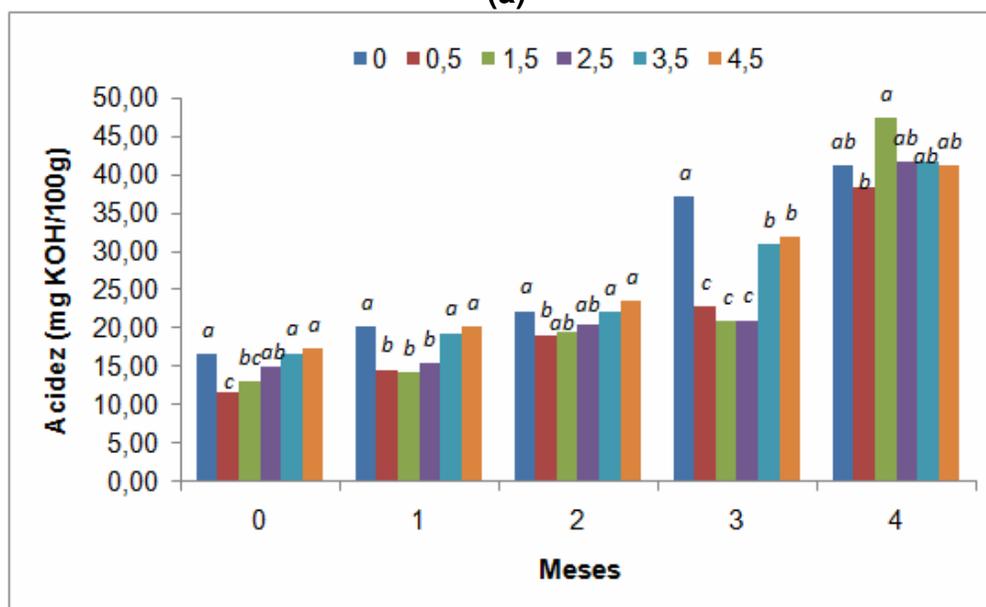
Na Figura 3.2, encontram-se os dados do acompanhamento do aumento da acidez do extrato etéreo durante o armazenamento dos grãos. Na Figura 3.2(a), observa-se que para todos os tratamentos houve um aumento da acidez durante os meses de armazenamento. A intensidade do aumento variou com a dose utilizada, sendo que as amostras irradiadas tiveram aumentos menos intensos até o terceiro mês de armazenamento.

Na Figura 3.2(b), observa-se o efeito da dose aplicada nos grãos sobre a acidez do extrato etéreo. De modo geral, a aplicação de doses baixas reduzem a acidez do extrato etéreo. Isto pode ser verificado nos grãos irradiados com 0,5 kGy em todos os meses de armazenamento. A aplicação de doses entre 1,5 e 4,5

kGy não provocou aumento da acidez quando comparada aos grãos não irradiados, comportamento diferente ao encontrado na irradiação da farinha de trigo integral (Figura 2.1) em que a aplicação de 4,5 kGy acelerou o aumento da acidez.



(a)



(b)

Figura 3.2 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100g) dos grãos de trigo irradiados: (a) Acompanhamento da acidez durante os meses e (b) Comparação da acidez entre doses.

Elias et al. (2009) também observaram aumentos da acidez durante o armazenamento de grãos de trigo e atribuíram o efeito a oxidação lipídica, levando a hidrólise dos lipídeos e liberação de ácidos graxos livres e glicerol.

3.4.3 Análise microbiológica

Na Tabela 3.10, encontram-se as contagens de bolores e leveduras nos grãos de trigo durante o período de armazenamento. Observa-se que houve baixa incidência de fungos nos grãos controle durante os primeiros meses de armazenamento, aumentando ao final deste período, porém respeitando os limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2005). A aplicação da dose mínima de radiação gama foi eficiente na redução de bolores e leveduras, sendo que a contagem se manteve baixa (<100 UFC/g) durante todo o período de armazenamento.

Tabela 3.10 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g⁻¹) na farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados, durante 4 meses de armazenamento

Mês	Doses de radiação gama (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	<100	<100	<100	<100	<100	<100
1	<100	<100	<100	<100	<100	<100
2	<100	<100	<100	<100	<100	<100
3	$2,0 \cdot 10^2$	<100	<100	<100	<100	<100
4	$1,2 \cdot 10^3$	<100	<100	<100	<100	<100

UFC= Unidades formadoras de colônia.

A baixa incidência de fungos pode ser devido às excelentes condições de armazenagem, mantendo a umidade dos grãos abaixo de 13,5% e também devido ao alto padrão de qualidade da matéria-prima inicial.

Diversos trabalhos apresentaram resultados semelhantes, o que demonstra a eficiência da utilização da radiação gama para descontaminação de materiais (HSIAO-WEI et al., 2008; AGÚNDEZ-ARVIZU et al., 2006).

3.4.4 Infestação de insetos

Não foi encontrada nenhuma infestação de insetos em qualquer fase metamórfica nas amostras estocadas por 4 meses. A possibilidade de que o trigo tenha sido expurgado antes da moagem, pode ter resultado na ausência de insetos em todas as amostras.

3.5 Avaliação da qualidade de panificação

O trigo como matéria-prima pode ser considerado o responsável pela qualidade da sua farinha e dos produtos de panificação (COSTA et al., 2008). A qualidade do grão de trigo é o resultado da interação das condições de cultivo (interferência do solo, clima, pragas, manejo da cultura e da cultivar), em soma à interferência das operações de colheita, secagem e armazenamento, fatores estes que influenciaram diretamente sobre o uso industrial a ser dado ao produto final, que é a farinha de trigo (EL-DASH; MIRANDA, 2002; GUTKOSKI; NETO, 2002).

Rehman (2006) observou que o tempo de armazenamento está associado com alterações físico-químicas dos grãos, resultando em redução da qualidade dos produtos finais.

Para avaliar o desempenho das farinhas obtidas da moagem dos grãos e o efeito da radiação gama durante o tempo de armazenagem do produto, mensalmente foram elaborados pães para avaliação do seu perfil tecnológico

através dos parâmetros volume no dia zero e acompanhamento da umidade e textura durante a estocagem.

3.5.1 Volume específico dos pães de forma integrais

Na Figura 3.3, estão apresentadas as fotografias dos pães elaborados com a farinha integral dos grãos irradiados e controle. Observa-se que houve redução do volume e alteração da aparência dos pães elaborados com as farinhas dos grãos irradiados, sendo que a aplicação de 0,5 kGy causou o menor efeito sobre a aparência dos pães.



Figura 3.3 – Fotografias dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo controle e irradiados.

O mesmo pode ser confirmado através dos dados referentes ao volume dos pães (Tabela 3.11), onde observa-se que os pães elaborados com farinha de

grãos não irradiados obtiveram melhores valores de volume no primeiro e segundo mês de armazenamento, indicando que um prazo de maturação propiciou um melhor desempenho de panificação e também que a utilização de grãos armazenados a partir do terceiro mês de armazenamento resultou em pães de menor volume. O mesmo comportamento foi observado nos pães elaborados com farinha integral de grãos irradiados, porém esta maturação ocorreu em tempos diferentes, dependendo da dose aplicada, sendo que nas doses menores, a maturação ocorreu no primeiro e segundo mês de armazenamento (doses 0,5 e 1,5 kGy) enquanto que na dose intermediária (dose 2,5 kGy) ela ocorreu no segundo mês de armazenamento e nas doses mais altas utilizadas (3,5 e 4,5 kGy) a maturação ocorreu no terceiro mês de armazenamento, onde se obteve o maior volume dos pães.

Tabela 3.11 – Volume específico ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados e armazenados durante 4 meses

Mês	Doses (kGy)					
	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	3,59±0,25 ^{Ba}	3,62±0,12 ^{Bab}	3,38±0,08 ^{Cb}	3,19±0,14 ^{Cb}	3,53±0,07 ^{Cab}	3,32±0,19 ^{Cb}
1	4,80±0,49 ^{Aa}	4,75±0,14 ^{Aa}	4,83±0,04 ^{Aa}	4,01±0,12 ^{Bb}	4,29±0,32 ^{ABab}	4,00±0,03 ^{Bb}
2	4,59±0,04 ^{Aab}	4,94±0,13 ^{Aa}	3,83±0,06 ^{Bc}	4,71±0,14 ^{Aa}	4,05±0,18 ^{BCc}	4,24±0,27 ^{ABbc}
3	3,71±0,12 ^{Bb}	3,86±0,21 ^{Bb}	3,68±0,22 ^{BCb}	4,08±0,02 ^{Bb}	4,64±0,19 ^{Aa}	4,55±0,13 ^{Aa}
4	3,71±0,11 ^{Ba}	3,61±0,06 ^{Ba}	3,63±0,08 ^{BCa}	3,15±0,09 ^{Cb}	3,31±0,12 ^{Cb}	3,15±0,09 ^{Cb}

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Avaliando o efeito das doses utilizadas, observa-se que, a utilização de farinha de grãos irradiados com doses entre 1,5 e 4,5 kGy, de modo geral, resulta

em pães de menor volume específico. A utilização de farinha de grãos irradiados com 0,5 kGy resulta em pães com volume específico semelhante ao obtido nos pães elaborados com farinha de grãos controle, não havendo diferença estatística entre os mesmos.

Marathe et al. (2002) observaram que pães elaborados com farinha de trigo integral irradiada armazenada por 6 meses foram preferidos em comparação com os pães elaborados com farinha integral não irradiada armazenada pelo mesmo período, confirmando os efeitos encontrados neste estudo, onde se observou que os pães elaborados com farinhas de grãos irradiados armazenados por maior tempo apresentaram melhores volumes.

3.5.2 Teor de umidade dos pães

A qualidade e vida de prateleira de produtos panificados são normalmente limitadas por alterações físico-químicas, conhecidas como envelhecimento (*staling*), levando a alterações na textura e flavor dos produtos e, no caso de produtos com alta atividade de água, pode ocorrer o aparecimento de bolores. O envelhecimento do pão é a maior causa do seu curto prazo de validade (3 a 7 dias) (CHINACHOTI, 2003).

Este fenômeno é causado devido à recristalização do amido, alterações das proteínas e migração da água da massa após a cocção (FESSAS; SCHIRALDI, 1998).

Na Tabela 3.12, encontram-se os valores da umidade dos pães nos dias 1, 4 e 7 de seu armazenamento e também nos meses seguintes de elaboração, comparando as diferenças entre doses e dias de armazenamento. Observa-se que os pães elaborados com farinha integral de grão de trigo irradiado e controle não apresentaram alteração no teor de umidade durante os sete dias de armazenamento.

Tabela 3.12 – Umidade (%) dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados, durante 4 meses de armazenamento dos grãos

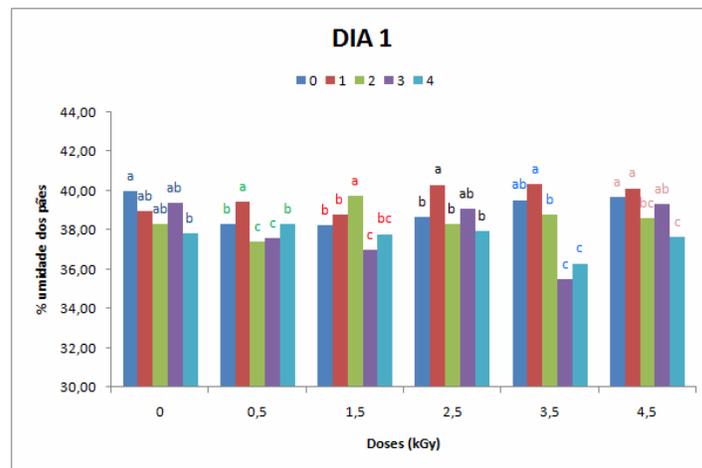
Mês	Dia	Doses (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	1	39,28±0,29 ^{Aa}	38,28±0,21 ^{Ab}	38,22±0,24 ^{Ab}	38,66±0,63 ^{Ab}	39,51±0,38 ^{Aa}	39,66±0,14 ^{Aa}
	4	39,27±0,22 ^{Aa}	37,62±0,50 ^{Ab}	38,01±0,47 ^{Aab}	38,82±1,10 ^{Aab}	39,27±0,17 ^{Aa}	38,92±0,36 ^{Aab}
	7	40,50±1,20 ^{Aa}	37,79±0,48 ^{Ab}	38,39±0,68 ^{Ab}	39,56±0,29 ^{Aab}	39,67±0,15 ^{Aab}	39,74±0,06 ^{Aab}
1	1	38,96±1,06 ^{Aab}	39,41±0,16 ^{Aab}	38,77±0,39 ^{Ab}	40,29±0,11 ^{Aab}	40,33±0,36 ^{Aa}	40,12±0,39 ^{Aab}
	4	39,54±0,53 ^{Aab}	38,68±0,24 ^{Ab}	38,17±0,09 ^{Ac}	39,95±0,27 ^{Aa}	39,30±0,22 ^{Aab}	39,41±0,57 ^{Aab}
	7	38,72±0,68 ^{Aa}	37,48±0,11 ^{Aab}	37,11±0,32 ^{Ab}	38,94±0,61 ^{Aa}	38,49±0,64 ^{Aab}	38,39±0,18 ^{Aab}
2	1	38,28±1,18 ^{Aab}	37,40±0,11 ^{Ab}	39,73±0,22 ^{Aa}	38,29±0,65 ^{Aab}	38,77±0,38 ^{Aab}	38,57±0,54 ^{Aab}
	4	38,69±0,33 ^{Aa}	37,08±0,68 ^{Aa}	38,67±0,37 ^{Aa}	37,80±1,08 ^{Aa}	37,97±0,50 ^{Aa}	37,75±0,36 ^{Aa}
	7	37,76±0,77 ^{Aa}	36,85±0,10 ^{Aa}	38,55±0,71 ^{Aa}	37,63±0,62 ^{Aa}	37,84±1,49 ^{Aa}	37,63±0,68 ^{Aa}
3	1	39,38±0,17 ^{Aa}	37,58±0,17 ^{Ab}	36,96±0,32 ^{Ab}	39,07±0,36 ^{Aa}	35,49±0,34 ^{Bc}	39,29±0,13 ^{Aa}
	4	38,56±0,40 ^{Ab}	37,72±0,39 ^{Ab}	37,61±0,14 ^{Ab}	40,06±0,64 ^{Aa}	37,47±0,50 ^{Ab}	39,89±0,46 ^{Aa}
	7	38,39±0,22 ^{Ab}	38,17±0,13 ^{Ab}	37,70±0,47 ^{Ab}	40,19±0,34 ^{Aa}	38,20±0,09 ^{Ab}	40,04±0,64 ^{Aa}
4	1	37,83±0,96 ^{Aa}	38,29±0,30 ^{Aa}	37,78±0,24 ^{Aa}	37,93±0,21 ^{Aa}	36,29±0,37 ^{Ab}	37,61±0,24 ^{Aab}
	4	37,50±0,62 ^{Aab}	37,60±0,29 ^{Aab}	38,39±0,60 ^{Aa}	37,40±0,01 ^{Aab}	36,59±0,34 ^{Ab}	38,07±0,40 ^{Aa}
	7	37,29±0,21 ^{Aa}	37,01±0,56 ^{Aa}	41,68±0,52 ^{Aa}	36,65±0,41 ^{Aa}	35,22±0,38 ^{Aa}	37,67±0,33 ^{Aa}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

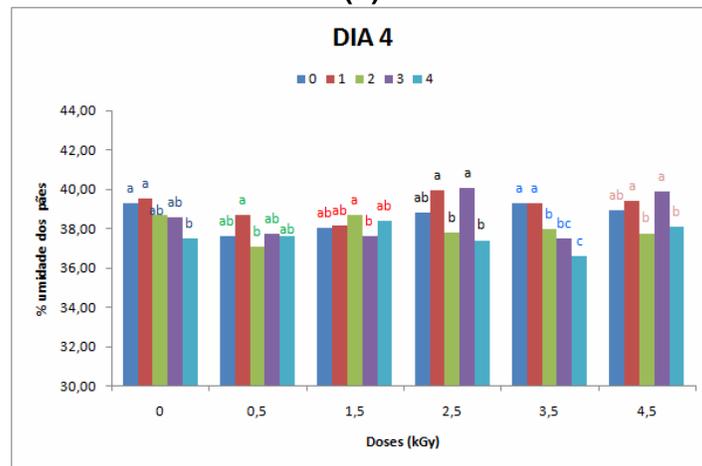
Embora os mesmos aparentassem estar mais secos, a umidade permaneceu inalterada durante o armazenamento. A aparência de seco ocorreu devido à recristalização do amido, alterações das proteínas e migração da água da massa após a cocção. O mesmo comportamento foi observado por outros autores que também reportaram mudança na aparência dos pães armazenados por sete dias, porém sem alteração de umidade (ESTELLER et al., 2004).

Os valores de umidade dos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados e controle, variaram com a dose utilizada, sendo geralmente maior nos pães elaborados com farinha de grãos controle e também nos pães elaborados com farinhas de grãos irradiados com doses 2,5 e 4,5 kGy. Os menores teores de umidade foram observados nos pães elaborados com farinhas de grãos irradiados nas doses 0,5 e 1,5 kGy. Estes resultados estão de acordo com os resultados observados por outros autores que também trabalharam com pão de forma enriquecido com fibras (GANDRA et al., 2008).

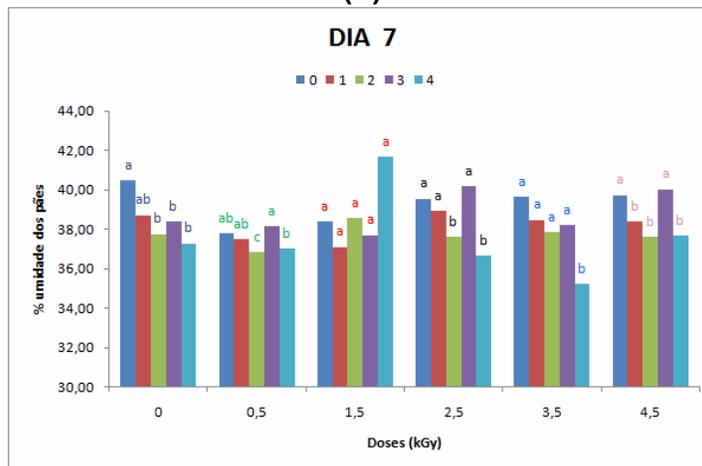
Na Figura 3.4, observa-se a comparação da umidade dos pães elaborados nos diferentes meses de armazenamento dos grãos, onde se visualiza que a utilização de farinha integral de grãos de trigo armazenado por quatro meses resultou em pães com menores teores de umidade. Esta redução de umidade dos pães foi acelerada e variou com a aplicação de doses de radiação gama, tendo uma redução de umidade a partir do terceiro mês de armazenamento dos grãos. O mesmo comportamento foi observado quando se irradiou a farinha de trigo integral, porém este fato foi adiantado para o segundo mês de armazenamento (Tabela 2.13).



(a)



(b)



(c)

Figura 3.4 – Comparação da umidade dos pães nos dias 1 (a), 4 (b) e 7 (c) elaborados com farinha integral de grãos de trigo irradiados, durante 4 meses de armazenamento

3.5.3 Textura instrumental dos pães de forma integrais

Na Tabela 3.13, encontram-se os valores de dureza obtidos dos pães durante os sete dias de armazenamento e também nos meses subseqüentes de elaboração dos pães com a farinha integral dos grãos irradiados, onde se observa que a aplicação de radiação gama nos grãos de trigo resultou em pães com maior dureza. A intensidade deste aumento variou com a dose aplicada, sendo menor nas doses 0,5 e 1,5 kGy e maior nas doses 3,5 e 4,5 kGy. Durante os sete dias de armazenamento dos pães houve um aumento na dureza, este comportamento se repetiu nos meses subseqüentes.

Estudos demonstram que o aumento da dureza ocorre devido provavelmente às transformações dos componentes do pão, principalmente devido à retrogradação do amido. E também devido ao efeito que as doses de radiação gama provocam nas características da massa resultando em pães de menor volume e mais densos e, por conseqüência, com maior dureza (FESSAS; SCHIRALDI, 1998). Silva (2003) também observou efeitos deletérios nos pães resultantes de alterações causadas pela aplicação de radiação gama na farinha de trigo, influenciando as características viscoelásticas da massa e a qualidade dos pães.

Tabela 3.13 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha integral de grãos de trigo irradiado com diferentes doses e durante o seu armazenamento por 7 dias

Mês	Dia	Doses (kGy)					
		0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
0	1	2,87±0,21 ^{Cd}	4,36±0,32 ^{Bc}	4,88±0,42 ^{Cb}	5,18±0,38 ^{Ca}	4,50±0,31 ^{Bbc}	5,67±0,51 ^{Ba}
	4	5,16±0,49 ^{Bc}	8,14±0,92 ^{Ab}	7,87±0,70 ^{Bc}	10,12±0,90 ^{Ba}	7,46±0,65 ^{Ab}	8,64±2,52 ^{Aab}
	7	6,25±0,50 ^{Ae}	8,64±0,43 ^{Ac}	9,15±0,66 ^{Ac}	10,98±0,91 ^{Aa}	7,71±0,51 ^{Ad}	9,96±0,49 ^{Ab}
1	1	1,90±0,16 ^{Cc}	2,54±0,12 ^{Cb}	3,42±0,71 ^{Ba}	2,32±0,18 ^{Cb}	2,54±0,19 ^{Cb}	3,40±0,31 ^{Ca}
	4	2,63±0,20 ^{Bd}	3,90±0,49 ^{Bb}	3,46±0,24 ^{Bc}	4,08±0,26 ^{Bb}	4,03±0,31 ^{Bb}	4,87±0,39 ^{Ba}
	7	3,33±0,34 ^{Ad}	5,31±0,34 ^{Ab}	4,85±0,31 ^{Ac}	5,60±0,29 ^{Ab}	5,50±0,40 ^{Ab}	6,67±0,59 ^{Aa}
2	1	2,17±0,18 ^{Cd}	2,64±0,26 ^{Cc}	3,35±0,25 ^{Ca}	2,61±0,60 ^{Cc}	3,14±0,18 ^{Cab}	3,01±0,16 ^{Cb}
	4	4,05±0,22 ^{Bc}	4,84±0,57 ^{Bb}	5,65±0,56 ^{Ba}	3,78±0,25 ^{Bc}	5,19±0,45 ^{Bb}	4,13±0,20 ^{Bc}
	7	5,60±0,38 ^{Ac}	6,45±0,39 ^{Ab}	6,53±0,47 ^{Aab}	4,84±0,51 ^{Ad}	6,94±0,40 ^{Aa}	5,91±0,49 ^{Ac}
3	1	3,51±0,12 ^{Ce}	4,64±0,43 ^{Cd}	5,08±0,39 ^{Cd}	6,98±0,45 ^{Bb}	8,39±0,53 ^{Ca}	6,32±0,47 ^{Cc}
	4	5,79±0,43 ^{Be}	7,38±0,47 ^{Bd}	7,65±0,29 ^{Bd}	11,04±0,65 ^{Ab}	12,08±0,56 ^{Ba}	9,31±0,70 ^{Bc}
	7	7,82±0,66 ^{Ad}	9,50±0,50 ^{Ac}	9,65±0,52 ^{Ac}	11,95±0,65 ^{Ab}	15,04±0,58 ^{Aa}	14,13±1,19 ^{Aa}
4	1	3,05±0,25 ^{Cbc}	3,46±0,12 ^{Ca}	3,16±0,21 ^{Cb}	3,37±0,31 ^{Cab}	3,53±0,17 ^{Ca}	3,37±0,22 ^{Cab}
	4	5,36±0,32 ^{Bc}	5,72±0,32 ^{Bb}	5,61±0,28 ^{Bbc}	6,15±0,23 ^{Ba}	5,58±0,34 ^{Bbc}	5,48±0,25 ^{Bbc}
	7	6,87±0,41 ^{Ab}	6,96±0,38 ^{Ab}	6,77±0,29 ^{Ab}	7,44±0,29 ^{Aa}	7,85±0,70 ^{Aa}	6,98±0,28 ^{Ab}

Cada valor representa a média de quinze repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

4 Conclusão

Os grãos de trigo utilizados como matéria-prima neste estudo foram de excelente qualidade, o que contribuiu, juntamente com o baixo teor de umidade, para condições adequadas de armazenamento, não se observando o desenvolvimento de insetos e o crescimento de bolores e leveduras fora dos limites previstos na legislação.

O tempo de armazenamento e as doses de radiação gama influenciaram nas características dos grãos. A aplicação de doses de radiação gama afetou as características dos grãos de trigo, modificando as propriedades tecnológicas da farinha, através de alterações nas características reológicas, viscosidade da pasta e acidez do extrato etéreo, observados através dos perfis farinográficos, extensográficos, índice de glúten, RVA, *Falling Number*, cor, estabilidade e performance em panificação, sendo o efeito, de modo geral, proporcional à dose aplicada.

O tempo de armazenamento dos grãos de trigo (controle e irradiados) afetou suas características tecnológicas, aumentando a acidez do extrato etéreo e interferindo diretamente na qualidade dos pães de forma, pela redução do volume e aumento da dureza.

A utilização de doses acima de 0,5 kGy e de grãos armazenado por mais de três meses, de modo geral, interferiu nas características da farinha integral dos grãos de trigo e nos pães, resultando em efeitos deletérios, como modificações dos perfis reológicos e conseqüente perda de qualidade dos pães.

A aplicação de radiação gama na dose de 0,5 kGy foi eficiente na descontaminação microbiana e prolongamento da estabilidade, com pouco efeito nas características tecnológicas da farinha integral dos grãos de trigo, obtendo-se pães com características muito próximas aos pães elaborados com farinha integral de grãos de trigo controle, sendo esta a dose máxima de radiação gama indicada para utilização em grãos de trigo.

5 Bibliografia

AACC – **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**, 9ª edição, v. I e v. II, St Paul, MN, USA: The Association, 1995.

ABITRIGO – Associação Brasileira da indústria do Trigo. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/> Acesso em: 25 março 2006

AGÚNDEZ-ARVIZU, Z.; FERNÁNDEZ-RAMÍREZ, M.V.; ARCE-CORRALES, M.E.; CRUZ-ZARAGOZA, E.; MELÉNDREZ, R.; CHRENOV, V.; BARBOZA-FLORES, M. Gamma radiation effects on commercial Mexican Bread making wheat flour. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 245, p. 455 – 458, 2006.

ALDRYHIM, Y.N.; ADAM, E.E. Efficiency of gamma irradiation against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 35, p. 225 – 232, 1999.

ALIGHOURCHI, H.; BARZEGAR, M.; ABBASI, S. Effect of gamma irradiation on the stability and anthocyanins and shel-life of various pomegranate juices. **Food Chemistry**, v. 110, p. 10136 – 1040, 2008.

AL-MAHANESH, M. A.; RABABAH, T. M. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1467-1473, 2007.

ANATHASHWAMY, H.N.; VAKI, V.K.; SREENIVASAN, A. Some physicochemical changes in gamma irradiated wheat. In: SYMPOSIUM ON BASIC MECHANISMS IN RADIATION BIOLOGY AND MEDICINE, New Delhi, 1971. **Proceedings**. New Delhi: IAEA, 1971. p. 347.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 21 de 21 de fevereiro de 2001**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/218_01re.htm. Acesso em: 20 agosto 2008)

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº263, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: www.anvisa.gov.br/e-legis/. Acesso em: 15 julho 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **IN nº7, de 15 de agosto de 2001**. Aprova o regulamento técnico de identidade e de qualidade do trigo. Disponível em: www.mapa.gov.br. Acesso em: 11 abril 2008

CALDEIRA, M.T.M; LIMA, V.L.A; SEKI, H.A; RUMJANEK, F.D. Trigo: Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.3, n. 16, p. 44-48, 2000.

CAMPA, J.P.; GABARIN, R.V.A.; PAHISSA, M.H.H.; BASSA, L. Analisis fisicoquimico de trigo irradiado: estudio de sus características germinativas y nutricionales. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOOD IRRADIATION, Vienna, 1966 **Processing**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1966. p. 355 – 359.

CHINACHOTI, P. Preventing bread staling. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making: Improving quality**. Cambridge England: CRC Press, 2003.

CONAB - **Avaliação da safra agrícola 2007 - 2008 - Segundo levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conaweb/download/safra/2levsaf.pdf>. Acesso em: 15 Novembro 2008.

COSTA, M.G.; SOUZA, E.L.; STAMFORD, T.L.M.; ANDRADE, S.A.C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220 – 225, 2008.

CURIC, D.; KARLOVIC, D.; TUSAK, D.; PETROVIC, B.; DUGUM, J. Gluten as a standard of wheat flour quality. **Food Technol. Biotechnol.** v. 39, n. 4, p. 353 – 361, 2001.

DELINCEE, H. Detection of food treated with ionizing radiation. **Trends in Food Science and Technology**. v. 9, p. 73 – 82, 1998.

DESCHREIDER, A.R. Action des rayons gama sur les elements constitutifs de la farine de blé. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOOD IRRADIATION, Vienna, 1966. **Processing** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1966. p.643 – 648.

DONAHAYE, E.J. Current status of non-residual control methods against stored product pests. **Crop Protection**, v. 19, p. 571 – 576, 2000.

ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 311 - 359.

ELIAS, M.C.; LOPES, V.; GUTKOSKI, L.C.; OLIVEIRA, M.; MAZZUTTI, S.; DIAS, A.R.G. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. “Embrapa 16”). **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 25 – 30, 2009.

EL-DASH, A; MIRANDA de M. Z. Farinha integral de trigo germinado. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 216-223, 2002.

ESTELLER, M.S.; OLIVEIRA, R.M.O.; AMARAL, R.L.; LANNES, S.C.S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 602 – 607, 2004.

FARONI, L. R. D.; BERBERT, P.A.; MARTINAZZO, A.P; COELHO, E.M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 354-357, 2002.

FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and ‘pentosans’. **Thermochim. Acta**, v. 323, p. 17 – 26, 1998.

GANDRA, K.M.; DEL BIANCHI, M.; GODOY, V.P.; QUEIROZ, F.P.C.; STEEL, C.J. Aplicação de lipase e monoglicerídeo em pão de forma enriquecido com fibras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 182-192, 2008.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**. v. 54, n. 2, p. 62-63, 2000.

GRALIK, J.; WARCHALEWSKI, J.R. The influence of gama-irradiation on some biological activities and electrophoresis patterns of wheat grain albumin fraction. **Food Chemistry**, versao on line, 2006

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para Teste Laboratorial de Panificação - Pão tipo Forma. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 873-879, 2002.

HAARD, N. F. Características de los tejidos vegetales comestibles: In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1992. p. 966-967.

HILL, D.S. **Pests of Stored Products and their Control**, p. 203 – 207. London: Belhaven Press, 1990.

HSIAO-WEI, W.; HSIAO-PING, C.; YA-TING, W.; PO-CHOW, H.; I-HSIN, L. FONG-IN, C. Efficacy of gamma irradiation for protection against postharvest insect damage and microbial contamination of adlay. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 208 – 215, 2008.

HAJSELOVA, M.; ALLDRICK, A.J. Analysing wheat and flour. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making: Improving quality**. Cambridge England: CRC Press, 2003.

KOKSEL, H.; CELIK, S.; TUNCER, T. Note: Effects of Gamma Irradiation on Durum Wheats and Spaguetti Quality. **Cereal Chemistry**, v. 73, n.4, p. 506-509, 1996.

INDRANI, D.; RAO, G.V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of *Parotta*. **Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 1, p. 100 – 105, 2007.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY. 1976. Norm ICC N°162. **Determination of the viscosity of cereals products** – Pratical Method. Vienna, 1995.

LAI, S.P.; FINNEY, K.F.; MILNER, M. Treatment of wheat with ionizing radiations and oxidative, physical and biochemical changes. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 401 – 411, 1959.

MARATHE, S.A.; MACHAIAH, J.P.; RAO, B.Y.K.; PEDNEKAR, M.D.; SUDHA RAO, V.. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 163 – 168, 2002.

MARTINÉZ, F. B.; EL DASH, A. A. Efecto de la adicción de harina instantánea de maíz en las características reológicas de la harina de trigo y elaboración de PAN III. **ALAN**, v. 43, n. 4, p. 321-326, 1993.

- MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994. 49p.
- PRABHASANKAER, P.; SUDHA, M.L.; RAO, P.H. Quality characteristics of wheat flour milled streams. **Food Research International**, v. 33, p. 2000, 381 – 386.
- PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceitos, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: ITAL, 1999. 72p.
- POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.3
- RASPER, V.F.; WALKER, C.E. Quality evaluation of cereals and cereal products. In: KULP, K.; PONTE, J.G. (2ed). **Handbook of Cereal Science and Technology**, v. 34, p. 233 – 242, 2001.
- REHMAN, Z.U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, v. 95, p. 53 – 57, 2006.
- SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 675 – 804.
- SILVA, C.B. **Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**. 2007. 168p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.
- SILVA, R.C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.
- URBAIN, W.M. Biological effects of ionizing radiation. In: **Food irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. p.52 – 55, 74-78.
- USDA Centre for Nutrition Policy and Promotion (2005) Grain Consumption by Americans. Nutrition Insight 32. Disponível em: <http://www.cnpp.usda.gov/insights.html/insight32.pdf> Acesso em: 10 fevereiro 2006.
- VETRIMANI, R.; SUDHA, M.L.; HARIDAS RAO, P. Effect of extraction rate of wheat flour on the quality of vermicelli. **Food Research International**, v. 38, p. 411 – 416, 2005.
- WIESIR, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, Illinois, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.
- XU, J.; BIETZ, J. A.; CARRIERE, C. V. Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspension. **Food Chemistry**, v. 101, n. 3, p. 1025-1030, 2007.

**CAPÍTULO 4 - EFEITO DO TRATAMENTO DO FARELO COM
RADIAÇÃO INFRAVERMELHA SOBRE AS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA DE TRIGO
INTEGRAL E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS
DO PÃO DE FORMA INTEGRAL**

CAPÍTULO 4

EFEITO DO TRATAMENTO DO FARELO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E ESTABILIDADE DA FARINHA DE TRIGO INTEGRAL E SOBRE AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO PÃO DE FORMA INTEGRAL

Resumo

A elaboração de pães com farinha de trigo integral tornou-se muito importante na indústria de panificação devido ao aumento da conscientização de um estilo de vida saudável, pela presença de compostos funcionais no farelo, como as fibras, substâncias antioxidantes, que proporcionam benefícios à saúde. Porém, a farinha integral tem sua vida de prateleira reduzida pelo aparecimento de fungos, odores e sabores desagradáveis oriundos da rancificação pela ação de enzimas. Pesquisas recentes sugerem a utilização da radiação infravermelha para prolongar a vida de prateleira de farinha de trigo integral, atuando através do aumento da temperatura e conseqüente inativação enzimática e microbiana. Neste estudo, avaliou-se o efeito da aplicação de radiação infravermelha no farelo de trigo sobre o tempo de armazenamento e as propriedades tecnológicas da farinha de trigo integral reconstituída com farelo tratado e performance dos pães integrais. No experimento, os grãos foram condicionados para 14% de umidade e moídos em moinho Brabender Quadrumat Senior, separando-se o farelo. As condições ideais de temperatura e tempo de exposição do farelo à radiação infravermelha, foram determinadas através do delineamento estatístico para análise dos resultados pela Metodologia de Superfície de Resposta (DCCR 2²), variando a temperatura de 66 (-1,41) a 94°C (+1,41), e o tempo de 8 (-1,41) a 22 minutos (+1,41). Os ensaios foram realizados em estufa projetada para o estudo, equipada com resistências infravermelhas de cerâmica, de comprimento de onda na faixa de 2,7 µm. As amostras foram colocadas em bandejas em camadas com espessura de 0,5 cm e a 10 cm de distância das resistências. A combinação de temperatura e tempo de exposição do farelo à radiação infravermelha que propiciou redução da

atividade da enzima lipase e contagem de bolores e leveduras foi reproduzida em maior escala, sendo o farelo tratado utilizado para reconstituir a farinha de trigo integral tratada. Foram avaliadas as características físico-químicas (composição centesimal e cor) e reológicas (viscosidade da pasta, farinografia, extensografia, teores e índices de glúten e *Falling Number*) das farinhas integrais obtidas pela reconstituição com o farelo tratado e controle. Estas foram armazenadas durante quatro meses e a cada mês foram realizadas análises do acompanhamento da estabilidade (acidez do extrato etéreo, microbiologia e presença de insetos), e desempenho em panificação (volume específico, umidade e dureza dos pães de forma integrais). Os resultados indicaram que o tratamento do farelo por 20 minutos a 95 °C com radiação infravermelha foi eficiente no aumento da estabilidade da farinha de trigo integral, principalmente pela redução da atividade da enzima lipase. O tratamento do farelo melhorou as características reológicas da massa, aumentando o tempo de desenvolvimento e a estabilidade e reduzindo o índice de tolerância à mistura, não afetando o índice de glúten, a extensografia e o *Falling Number*. A aplicação de radiação infravermelha prolongou a estabilidade da farinha de trigo integral, reduzindo a intensidade do aumento de acidez e mantendo baixa a contagem de bolores e leveduras. A utilização de farinha de trigo integral tratada resultou em pães de forma com características semelhantes ou superiores às encontradas nos pães elaborados com farinha de trigo integral controle, indicando que o uso de farelo tratado resulta em pães mais macios e de volume e aparência semelhantes aos pães elaborados com farinha de trigo integral controle, sendo esta tecnologia promissora, pois mostrou que mantém as características da farinha, prolongando sua estabilidade e melhorando a qualidade dos pães.

Palavras-chave: Farinha de trigo integral, pão de forma integral, estabilidade, radiação infravermelha, tratamento térmico.

**EFFECT OF THE APPLICATION OF INFRARED RADIATION ON WHEAT
BRAN ON THE RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND STABILITY OF
WHOLE GRAIN FLOUR AND ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF WHOLE BREAD**

Abstract

Bread elaboration with whole wheat flour became very important for bakery industry due to the increase of awareness of a healthy lifestyle, for the presence of functional compounds in the bran, such as fibers and antioxidant substances, that provide benefits to health. However, whole flour has its shelf life reduced due to appearance of molds, odors and strange flavors deriving from rancid due to enzymatic activity. Recent researches suggest the use of infra red radiation to improve whole wheat flour shelf life, acting through the increase of temperature and, consequently, enzymatic and microbiological inactivation. In this study, the effect of the application of infrared radiation on wheat bran on storage time and on the technological properties of whole wheat flour and whole breads was evaluated. In the experiment, the grains were conditioned to 14% moisture and milled in a Brabender Quadrumat Senior mill, separating the bran. The ideal conditions of temperature and exposure time of the bran to infrared radiation were determined through a statistical sign using the Response Surface Methodology (CCRD 2²), varying the temperature from 66 (-1.41) to 94°C (+1.41), and the time from 8 (-1.41) to 22 minutes (+1.41). The assays were carried out in an oven designed for the study, equipped with infra red ceramic resistances, with wave length in the band of 2.7 µm. The samples were placed in trays with layer thickness of 0.5 cm and distance of the resistances of 10 cm. the combination of temperature and exposure time to infrared radiation that propitiated reduction of lipase activity and molds and yeasts count was reproduced in a larger scale and the bran produces was used in the reconstitution of the whole wheat flour. The physical-chemical characteristics (proximate chemical composition and color) and rheological (paste viscosity, farinograph, extensograph, gluten levels and index and Falling Number)

of the whole flours obtained by reconstitution with the treated and control brans were evaluated. These were stored during four months and at each month analyses to follow stability (fat acidity, microbiology and presence of insects) and baking performance (specific volume, moisture and hardness of whole breads were carried out. The results indicated that the treatment of the bran for 20 minutes at 95°C with infra red radiation is efficient to increase stability of whole wheat flour, mainly due to the reduction of lipase activity. The treatment of the bran improved the rheological characteristics of the dough, increasing development time and stability and reducing the index of tolerance to the mixture, not affecting the gluten index, extensograph and Falling Number. The application of infrared radiation improved the stability of whole wheat flour, reducing the intensity of the increase of acidity and keeping the yeasts and molds count low. The use of treated whole wheat flour resulted in whole breads with similar or superior characteristics when compared to breads elaborated with the control whole wheat flour, indicating that the use of treated bran results in softer breads, with volume and appearance similar to breads elaborated with the control whole wheat flour, being this a promising technology, because it showed that it keeps the flour characteristics, improving its stability and improving bread quality.

Keywords: whole wheat flour, whole bread, stability, infrared radiation, thermal treatment, bran.

1 Introdução

Os pães elaborados com farinha de trigo integral, multi-grãos e outros ingredientes funcionais estão se tornando muito importantes na indústria de panificação devido ao aumento da conscientização de um estilo de vida saudável (MARTIN, 2004), já que estes produtos têm alto teor de fibras e substâncias antioxidantes. Estas substâncias estão associadas à redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes, obesidade e alguns tipos de câncer (LIU, 2007).

Mesmo com todos os benefícios evidenciados pelo consumo de grãos integrais, a utilização de farinha de trigo integral ainda apresenta dificuldades relacionadas à conservação e características tecnológicas, pois produtos à base de trigo integral têm sua vida de prateleira reduzida pelo aparecimento de fungos, odores e sabores desagradáveis oriundos da rancificação devido à ação de enzimas (REHMAN, 2006).

A radiação infravermelha pode ser utilizada na eliminação dos fatores deterioradores da farinha de trigo, atuando através do aumento da temperatura e conseqüente inativação enzimática e microbiana. Seu mecanismo de ação se dá através das vibrações provocadas nas ligações intra e intermoleculares dos componentes dos alimentos a uma freqüência de 60.000 a 150.000 MHz, que resulta em aumento da temperatura (FASINA et al., 2001).

Pesquisas recentes sugerem a utilização da radiação infravermelha para prolongar a vida de prateleira de alimentos, como grãos e produtos cárneos (OLSSON et al., 2005; SHERIDAN; SHILTON, 1999). Ibanoglu (2002) utilizou a energia infravermelha para prolongar a vida de prateleira do gérmen do trigo, pois este produto é rico em enzimas e microrganismos deterioradores, possuindo um prazo de validade extremamente curto. Com a aplicação do tratamento térmico por meio da radiação infravermelha foi possível melhorar as características sensoriais do gérmen e prolongar sua conservação através da inativação enzimática e destruição dos microrganismos.

Este tratamento térmico também é adequado para eliminar ácaros e insetos do trigo e da farinha, pois a radiação infravermelha tem baixo poder de penetração, não interferindo nas qualidades tecnológicas da farinha de trigo, dispensando o uso de controle químico destas pragas (MOURIER; POULSEN, 2000; POMERANZ, 1992).

Fasina et al. (2001) demonstraram que a aplicação de radiação infravermelha em leguminosas (fava, ervilha, feijão e lentilha) até a temperatura superficial alcançar 140°C provocou mudanças nas propriedades dos grãos, tais como, aumento no volume, redução do ponto de ruptura e elasticidade e redução da atividade do inibidor da tripsina. Entretanto, o tratamento não causou a desnaturação das proteínas e modificação do amido. O estudo também revelou que a qualidade das farinhas irradiadas foi superior à da farinha de grãos não tratados.

Tilley et al. (2007) avaliaram a eficiência do tratamento com radiação infravermelha na redução e mortalidade de pragas de grãos armazenados. Os autores obtiveram bons resultados na eliminação dos insetos, de acordo com as combinações de potência, tempo e temperatura estudados.

O calor pode afetar as características reológicas da farinha, este efeito pode ser positivo ou negativo, dependendo da forma e intensidade de como é aplicado. GÉLINAS & MCKINNON (2004) observaram uma melhora das características reológicas, quando aqueceram a farinha a 80°C por 15 minutos. Dependendo da intensidade do aquecimento pode ocorrer a desnaturação protéica e, conseqüentemente, uma interferência nas características do glúten e do produto final (HAYTA; SCHOFIELD, 2004).

Neste estudo, avaliou-se o efeito da aplicação de radiação infravermelha no farelo de trigo sobre o tempo de armazenamento e as propriedades tecnológicas da farinha de trigo integral reconstituída com farelo tratado e performance dos pães integrais.

2 Materiais e métodos

2.1 Matérias primas

Neste estudo foram utilizadas sementes de trigo da variedade Codetec 108, doadas pela empresa Lagoa Bonita (Itaberá/SP). Optou-se pelo uso de sementes devido à uniformidade das mesmas, evitando interferências nos resultados. As sementes possuem qualidade superior aos grãos, pois possuem uma secagem mais branda, limpeza mais rígida e alto poder de germinação.

Para a produção dos pães foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Farinha de trigo integral – obtida pela moagem dos grãos de trigo acima mencionados em moinho de rolos Brabender Quadrumat Senior (Alemanha);
- Ácido ascórbico - DSM Produtos Nutricionais Brasil Ltda. (São Paulo/SP);
- Açúcar refinado especial – Cometa;
- Diacetil tartarato de mono e diglicerídios (DATEM) - Panodan G20-20 - Danisco (Cotia/SP);
- Fermento biológico seco instantâneo - Fleischmann® (Pederneiras/SP);
- Glúten de trigo - Labonathus Biotecnologia Internacional Ltda. (São Paulo/SP);
- Gordura vegetal hidrogenada - Cargill Agrícola S/A (Mairinque/SP);
- Leite em pó integral - Itambé (Belo Horizonte/MG);
- Propionato de cálcio aglomerado - Metachem Ind. e Com. Ltda. (Higienópolis/SP);
- Sal marca Lebre (Areia Branca/RN).

2.2 Métodos

2.2.1 Definição dos tratamentos

As sementes foram condicionadas para 14% de umidade e moídas em moinho laboratorial Brabender Quadrumat Senior, obtendo a separação da camada de aleurona, pericarpo e gérmen (farelo). Nesta camada, foi aplicada a radiação infravermelha. Após a aplicação dos tratamentos no farelo, este foi embalado em pacotes de polietileno de alta densidade e armazenado, assim como a farinha branca. O farelo foi reincorporado à farinha branca para obter a farinha de trigo integral reconstituída, no momento de utilização para análises e elaboração de pães, como é normalmente realizado na indústria moageira. Visto que, a remistura da fração esterilizada com a farinha de trigo branca poderia provocar a recontaminação desta fração e gerar erros nos resultados.

Neste trabalho, a farinha de trigo integral resultante da mistura do farelo tratado com a farinha branca foi denominada “farinha de trigo integral tratada”, enquanto que a farinha de trigo integral resultante da mistura do farelo não tratado com a farinha branca foi denominada “farinha de trigo integral controle”.

A radiação infravermelha provoca o aumento da temperatura dos grãos, podendo alterar a qualidade tecnológica da farinha devido à desnaturação do glúten. Por este motivo, a aplicação foi realizada somente no farelo, pois esta fração possui maior concentração de enzimas e microrganismos. O aquecimento deste não deve alterar as características tecnológicas da farinha devido às proteínas formadoras do glúten estarem localizadas no endosperma.

Para definir as condições ideais para aplicação da radiação infravermelha, foi realizado um delineamento estatístico para análise dos resultados pela Metodologia de Superfície de Resposta do tipo DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional) 2^2 (RODRIGUES; IEMMA, 2005), variando a temperatura e o tempo de exposição do farelo à radiação infravermelha.

As faixas de tempo e temperatura utilizadas no planejamento foram baseadas em condições encontradas na literatura (FASINA et al., 2001; SAKAI; HANZAWA, 1994; IBANOGLU, 2002), sendo definidas através de pré-testes e podem ser observadas na Tabela 4.1 e Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Níveis das variáveis independentes do delineamento estatístico do tipo composto central rotacional 2^2

Variáveis		Níveis				
Codificada	Real	-1,41	-1,00	0	+1,00	+1,41
x_1	Tempo de exposição (minutos)	8	10	15	20	22
x_2	Temperatura (°C)	66	70	80	90	94

$\pm\alpha=1,41$

A condução do experimento pode ser observada na Tabela 4.2, sendo 4 ensaios nas condições experimentais, 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central.

Tabela 4.2 - Delineamento estatístico do tipo composto central rotacional

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	x_1	x_2	X_1	X_2
1	-1	-1	10	70
2	+1	-1	20	70
3	-1	+1	10	90
4	+1	+1	20	90
5	-1,41	0	8	80
6	+1,41	0	22	80
7	0	-1,41	15	66
8	0	+1,41	15	94
9	0	0	15	80
10	0	0	15	80
11	0	0	15	80

Variáveis independentes: x_1 = tempo de exposição (min); x_2 = Temperatura (°C).

Os tratamentos foram feitos em uma estufa projetada especialmente para este estudo (Tecnal – Equipamentos para laboratório – Piracicaba/SP) (Figura 4.1), equipada com duas resistências infravermelhas de cerâmica, de comprimento de onda médio, na faixa de 2,7 μm . As amostras foram colocadas em bandejas de inox, em camada de 0,5 cm de espessura e a 10 cm de distância das resistências (Figura 4.2).



Figura 4.1 – Equipamento utilizado no tratamento do farelo com radiação infravermelha.



Figura 4.2 - Modelo de bandeja e preparação de amostra usada no estudo.

2.2.2 Avaliações

Foram realizadas análises para caracterização das farinhas de trigo integrais (tratada e controle), escolha do melhor tratamento e acompanhamento do comportamento da estabilidade durante o período de armazenamento em intervalos regulares de 30 dias até 120 dias (0, 30, 60, 90 e 120 dias) para a farinha de trigo integral. Os pães de forma foram elaborados mensalmente e avaliados por um período de 7 dias.

2.2.2.1 Escolha do melhor tratamento

Para definir a melhor combinação de tempo e temperatura do tratamento do farelo, foram realizados testes para verificar a eficiência dos diferentes ensaios (Tabela 4.2), definidos através da análise estatística das variáveis: atividade da enzima lipase e contagem de bolores e leveduras. Após a seleção do ensaio mais eficiente na redução destes parâmetros, estas condições foram reproduzidas em maior escala para ser utilizado no tratamento do farelo antes da armazenagem.

2.2.2.1.1 Atividade da lipase

A atividade da lipase foi determinada de acordo com metodologia proposta por Kaur et al. (1993), através do preparo de substrato pela homogeneização de 2 g de álcool polivinílico, 40 mg de desoxicolato de sódio e 50 mL de azeite de oliva em 100 mL de tampão fosfato 0,2 M, pH 7,4 (0,5:1) por 2,5 minutos. Em 5 mL de substrato foram dispersados 2 g de farelo e dispersão foi incubada a 38°C por 24 horas. A reação foi paralisada pela adição de 20 mL de solução de álcool etílico e acetona (1:1), neutralizada. A quantidade de ácidos graxos livres foi estimada pela titulação com KOH 0,1 N até pH 8,3, e a atividade da lipase expressa em mL KOH 0,1 N/2g de farelo.

2.2.2.1.2 Contagem de bolores e leveduras

A contagem de bolores e leveduras foi realizada de acordo com o método nº 42-50 da AACC (1995).

2.2.2.2 Composição centesimal

Foram realizadas determinações de umidade (AACC 44-15A, 1995), teor de proteínas (AACC 46-13, 1995), lipídeos (AACC 30-10, 1995), fibra total (AACC 32-30, 1995), cinzas (AACC 08-01, 1995) e carboidratos (calculados por diferença), na farinha de trigo integral controle e tratada.

2.2.2.3 Cor instrumental

Para a determinação da cor das farinhas de trigo controle e tratada foi utilizado o espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA) seguindo o sistema CIE-Lab, determinando-se os valores de L* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a* (verde -/vermelho +) e b* (azul -/amarelo +) (MINOLTA, 1994). A diferença total de cor (ΔE) entre a farinha de trigo integral controle e as amostras irradiadas foi calculada através da seguinte fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

2.2.2.4 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral controle e tratada

As propriedades reológicas das farinhas de trigo integral controle e tratada foram avaliadas através das seguintes determinações:

2.2.2.4.1 Viscosidade da pasta

As características de viscosidade de pasta das farinhas de trigo integral controle e tratada foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade

(RVA - Rapid Visco Analyser), utilizando o programa Thermocline for Windows versão 2.3. (Newport Scientific Pty Ltd), segundo a metodologia nº 162 proposta pelo ICC (1995), utilizando o programa Standard 1.

Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C), viscosidade final, *breakdown* (quebra de viscosidade) e *setback* (tendência à retrogradação).

2.2.2.4.2 Farinografia

A capacidade de absorção de água e as propriedades reológicas da massa foram determinadas utilizando o farinógrafo Brabender, de acordo com o método nº 54-21 da AACC (1995). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade e índice de tolerância à mistura.

2.2.2.4.3 Extensografia

As propriedades extensográficas das farinhas de trigo integral foram determinadas segundo o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender. Os parâmetros avaliados foram: resistência à extensão ou elasticidade (R), resistência máxima (R_m), extensibilidade (E) e número proporcional (D).

2.2.2.4.4 Teores e índice de glúten

Os teores de glúten úmido e seco e o índice de glúten foram determinados no sistema Glutomatic e Glutork, marca Perten Instruments, de acordo com o método nº 38-12 da AACC (1995). As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{Glúten úmido (\%)}: \frac{\text{glúten úmido (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$$

Glúten seco (%): $\frac{\text{glúten seco (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$

Índice de glúten: $\frac{\text{glúten que permanece na tamiz (g)} \times 100}{\text{glúten úmido total (g)}}$

2.2.2.4.5 Falling Number

O “Falling Number”, também chamado de “número de queda”, foi determinado no equipamento “Falling Number” marca Perten Instruments, modelo 1800; de acordo com o método nº 56-81B da AACCC (1995), utilizando 7 gramas de farinha corrigido para 14% de umidade.

2.2.2.5 Acompanhamento da estabilidade

O acompanhamento da estabilidade da farinha de trigo integral controle e tratada foi realizado durante 120 dias através das seguintes determinações:

2.2.2.5.1 Umidade

A determinação da umidade foi realizada de acordo com o método 44-15A descrito na AACCC (1995).

2.2.2.5.2 Acidez do extrato etéreo

A acidez do extrato etéreo foi avaliada através da metodologia descrita na AACCC, nº 58-15 (1995). Os resultados foram expressos em mg KOH/100 g de amostra. Este valor é utilizado para demonstrar a atividade da enzima lipase, a qual degrada os triglicerídeos em ácidos graxos livres, aumentando a acidez do extrato etéreo.

2.2.2.5.3 Análise microbiológica

Foi determinada a incidência de bolores e leveduras (AACC 42-50, 1995) antes e após a aplicação dos tratamentos, para verificação de sua eficiência.

2.2.2.5.4 Presença de insetos

Foi realizada a observação visual da presença de insetos vivos ou mortos (larvas e adultos) utilizando o método da peneira (HILL, 1990).

2.2.2.6 Elaboração dos pães de forma integrais

A formulação de pão de forma integral utilizada neste estudo esta apresentada na Tabela 4.3, sendo descrita por Silva (2007). Em cada tratamento foram processados 3,0 kg de farinha de trigo integral, obtendo-se 14 pães por ensaio.

Tabela 4.3 - Formulação utilizada na elaboração dos pães de forma.

Ingrediente	Quantidades (%)
Farinha de trigo integral	100
Fermento biológico	2
Sal	2
Açúcar	4
Vital Glúten	4
Propionato de cálcio	0,3
Leite em pó	4
Gordura	3
Emulsificante (DATEN)	0,3
Ácido ascórbico	0,008
Água	De acordo com a farinografia

Os pães de forma foram produzidos na planta piloto de panificação do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) – Unicamp. O preparo dos pães consistiu na adição dos ingredientes na amassadeira HYPOLITO automática espiral HAE10, homogeneização na velocidade lenta, e adição, aos poucos, de água gelada. Os ingredientes foram misturados na velocidade rápida para a formação da massa (até atingir o ponto de véu). Realizou-se o descanso da massa por aproximadamente 10 minutos, e posteriormente, a divisão em partes de 400 g. A modeladora HYPOLITO auxiliou na modelagem dos pães, que foram em seguida colocados em formas de folha galvanizada de ferro (22 x 11 cm) e em câmara de fermentação MAQUIP nas condições de 30°C e 80% de umidade relativa, por 1 hora e 40 minutos. O forneamento foi realizado em forno HYPO, a 160°C por 40 minutos, e após 1 hora de resfriamento, os pães foram embalados em sacos plásticos e armazenados à temperatura ambiente até a realização das análises.

2.2.2.7 Avaliação dos pães de forma

Foram elaborados 14 pães de forma de cada tratamento, embalados em sacos de polietileno de baixa densidade, sendo distribuídos: 3 pães para a determinação do volume específico no dia 0 (dia da produção); 3 pães para as análises de textura e umidade nos dias 1, 4 e 7, após o processamento.

2.2.2.7.1 Volume específico

Foi determinado através do método de deslocamento de sementes de painço, de acordo com o método nº 72-10 da AACC (1995). O volume específico foi calculado pela relação entre o volume do pão assado (mL) pela sua massa (g), obtida pelo emprego de balança semi-analítica.

2.2.2.8 Avaliação dos pães de forma integrais durante a estocagem

Os pães foram embalados, estocados à temperatura ambiente e avaliados nos dias 1, 4 e 7 após o processamento, sendo realizadas análises de umidade e textura instrumental.

2.2.2.8.1 Umidade

A determinação da umidade dos pães foi realizada em triplicata, em duas fases, sendo a primeira realizada em temperatura ambiente por 24 horas e a segunda fase em estufa a 130°C por 1 hora, segundo método nº 44-15A da AACC (1995), utilizando as fatias centrais de cada pão.

2.2.2.8.2 Análise de textura instrumental

A textura dos pães, expressa pela força máxima aplicada para pressionar duas fatias centrais do pão de forma (2,5 cm cada), foi avaliada instrumentalmente utilizando-se texturômetro TA-XT2, de acordo com o método nº 74-09 da AACC (1995). Os resultados apresentados são resultantes da utilização de três pães de cada tratamento e 10 fatias de cada pão, totalizando 15 repetições. As condições empregadas foram: sonda P36; modo: força de compressão: 20 g; velocidade de teste: 1,7 mm/s; 40% de compressão da amostra; velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s e velocidade de pós-teste: 3,0 mm/s.

2.2.2.9 Análise estatística

Os resultados das avaliações físico-químicas, composição centesimal e propriedades reológicas foram analisados através da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa Statistica®, versão 5.5 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA).

A avaliação estatística dos resultados do delineamento estatístico foi realizada utilizando-se o programa Statistica®, versão 5.5 (StatSoft, Tulsa, OK,

EUA), para obtenção dos coeficientes de regressão, ANOVA e Superfícies de Resposta ao nível de significância de 90%.

3 Resultados e discussão

3.1 Escolha do melhor tratamento do farelo com radiação infravermelha

Para definir a combinação de tempo e temperatura ideal para estabilizar o farelo presente na farinha de trigo integral, foi realizado um delineamento estatístico do tipo DCCR 2², com variáveis independentes: tempo e temperatura, e variáveis dependentes: atividade da lipase e contagem de bolores e leveduras. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Atividade da lipase e contagem de bolores e leveduras no farelo de trigo de acordo com os ensaios realizados neste estudo

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes	
	x ₁	x ₂	Ativ. Lipase*	Contagem Bolores e Leveduras**
1	-1	-1	3,528	200
2	+1	-1	4,049	40
3	-1	+1	4,330	60
4	+1	+1	3,167	50
5	-1,41	0	4,129	20
6	+1,41	0	3,973	20
7	0	-1,41	4,049	50
8	0	+1,41	3,488	30
9 (C)	0	0	3,528	50
10 (C)	0	0	3,568	60
11 (C)	0	0	3,688	50
Controle	Sem tratamento	Sem tratamento	4,811	60

Variáveis independentes: x₁ = tempo de exposição (min); x₂ = Temperatura (°C); (C) – Ponto central; *mL KOH 0,1N/2g farelo;**UFC = unidades formadoras de colônias.

Fazendo a análise estatística dos parâmetros obtidos, somente a atividade da enzima lipase resultou em modelo significativo. Não foi possível estabelecer um modelo matemático para a contagem de bolores e leveduras ($R^2 = 0,53$), porém observa-se que a utilização de condições mínimas de tempo e temperatura promoveu um aumento da contagem de bolores e leveduras. Este mecanismo ocorre devido às condições de *stress* nas quais os microrganismos foram submetidos estimulando-os à esporulação (LACA et al., 2006).

A atividade da enzima lipase pode ser descrita sob a forma de equação matemática, conforme apresentado abaixo, para uso com valores codificados das variáveis independentes, dentro da faixa estudada:

$$\text{Atividade da enzima lipase} = 3,59 - 0,11.x_1 + 0,19.x_1^2 - 0,11.x_2 + 0,05.x_2^2 - 0,42.x_1.x_2 \quad (R^2 = 0,89; p < 0,10)$$

Onde:

x_1 = Tempo de exposição (minutos)

x_2 = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Na Tabela 4.5, estão apresentados os resultados da ANOVA para o parâmetro atividade da enzima lipase. Observando os valores, nota-se que o $F_{\text{calculado}}$ é superior ao F_{tabelado} e o percentual de explicação da regressão (R^2) é superior a 88%, sendo possível gerar a superfície de resposta (Figura 4.3).

Tabela 4.5 – ANOVA para a resposta atividade da enzima lipase

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	p-valor
Regressão	1,11	5	0,22	7,93	0,0200
Resíduos	0,14	5	0,03		
Total	1,25	10			

$R^2 = 0,89$ $F_{\text{tabelado}} = 3,45$

Conforme a Figura 4.3, observa-se que a atividade da enzima lipase é dependente do tempo e da temperatura, sendo reduzida ao máximo com o aumento das duas variáveis. O mesmo comportamento foi observado por Freitas (2005), trabalhando com inativação da lipase em aveia através de calor seco. A atividade da lipase é importante tendo em vista a estabilidade da farinha em período prolongado de estocagem ou condições adversas. Esta enzima converte a gordura presente em ácidos graxos, os quais são associados ao “off flavor” ou odores de rancidez (POMERANZ, 1988; BRUCE et al., 2000).

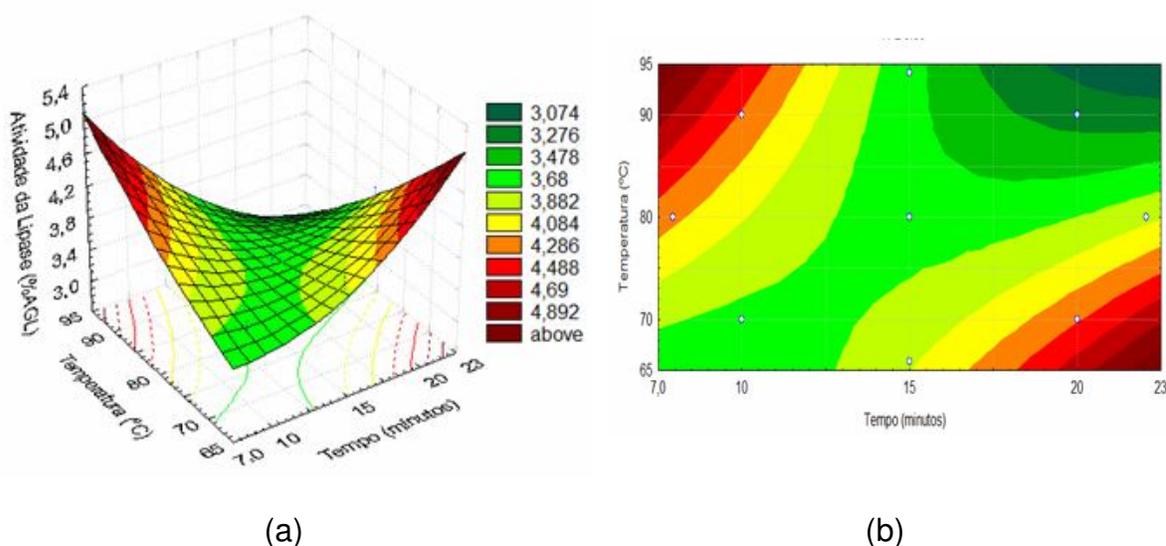


Figura 4.3 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável atividade da enzima lipase no farelo de trigo em função da variação de tempo e temperatura no processo de aplicação de radiação infravermelha.

Neste estudo, foi escolhido para otimização das condições experimentais, a combinação de tempo e temperatura que propiciou maior redução da atividade enzimática do farelo de trigo no menor tempo possível, ou seja, uma exposição de 20 minutos a 95°C, resultando numa redução de 4,81 mL KOH (farelo controle) para 3,07 mL KOH. Esta condição foi validada experimentalmente para posterior utilização em maior escala para tratamento do farelo (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Resultados dos parâmetros atividade da enzima lipase e contagem de bolores e leveduras na validação das condições definidas para tratamento com radiação infravermelha

Parâmetro	Farelo controle	Farelo tratado
Atividade da enzima lipase*	5,13	3,06
Bolores e leveduras (UFC/g amostra)	<100	<100

*mL KOH 0,1N/2 g de farelo; UFC = Unidades formadoras de colônias.

Após a validação das condições experimentais, o farelo presente na farinha de trigo integral foi separado e tratado com radiação infravermelha (20 minutos; 95°C), sendo armazenado hermeticamente em embalagens de polietileno de baixa densidade, assim como a farinha branca (endosperma). Este procedimento foi realizado para evitar possíveis recontaminações do farelo pela farinha branca. A farinha integral foi obtida pela mistura de todas as frações armazenadas, com pouca antecedência (3 dias) de sua utilização nas análises e na elaboração de pães. O mesmo procedimento foi feito para a farinha controle (não tratada).

3.2 Composição centesimal

Na Tabela 4.7, encontram-se os resultados da composição centesimal da farinha de trigo integral tratada e controle. Observa-se que a radiação infravermelha não alterou a composição centesimal da farinha integral, apenas reduziu o teor de umidade. O mesmo comportamento foi observado por Staack et al. (2008) que também observaram uma redução da atividade de água quando aplicaram radiação infravermelha em páprica. Os autores associaram a perda de água ao aquecimento e formação de um gradiente de umidade entre o produto e o ar ambiente.

A composição centesimal das farinhas apresenta valores similares aos encontrados por Silva (2007), cujo trabalho também avaliou a composição centesimal da farinha de trigo integral.

Tabela 4.7 - Composição centesimal (base seca) das farinhas de trigo integral tratada com radiação infravermelha e controle

Composição (%)	Controle	Tratada
Umidade	13,03±0,01 ^a	11,95±0,05 ^b
Proteínas	11,65±0,16 ^a	11,63±0,10 ^a
Lipídeos	1,42±0,09 ^a	1,47±0,04 ^a
Cinzas	1,86±0,01 ^a	1,82±0,03 ^a
Fibra total	2,60±0,01 ^a	2,58±0,02 ^a
Carboidratos*	82,47	82,50

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$); *Calculado por diferença.

3.3 Cor instrumental das farinhas de trigo integral

Na Tabela 4.8, estão apresentados os valores de L*, a* e b* da cor, encontrados nas farinhas integrais. Observa-se que a aplicação de radiação infravermelha provocou uma redução da luminosidade da farinha de trigo integral, não afetando os valores de a* e b*. Esta redução de luminosidade resultou numa pequena diferença de cor total (ΔE) entre as amostras, de 2,20. No entanto, esta diferença de cor foi imperceptível à visão.

Outros autores também reportaram alterações na cor, como escurecimento quando utilizaram calor, na forma de vapor, microondas ou infravermelho, atribuindo este efeito a reações de escurecimento associadas ao calor, como Reação de Maillard e caramelização (WEBER et al., 2002; FREITAS, 2005).

Tabela 4.8 – Valores de L*, a* e b* das farinhas de trigo integral controle e tratada

Parâmetros	Controle	Tratada
L*	76,93±1,53 ^a	74,74±0,80 ^b
a*	3,13±0,42 ^a	3,35±0,48 ^a
b*	13,09±0,21 ^a	13,26±0,12 ^a
ΔE	0	2,20

Cada valor representa a média de quatro repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.4 Avaliações reológicas das farinhas de trigo integral

As características reológicas da massa são importantes, pois afetam sua maquinabilidade e qualidade do produto final (INDRANI; RAO, 2007).

3.4.1 Viscosidade da pasta

Na Tabela 4.9, estão apresentadas as propriedades viscoamilográficas das farinhas de trigo integral. Observa-se que não houve diferença significativa entre as amostras. Este resultado já era esperado, pois a aplicação da radiação infravermelha foi realizada somente no farelo, justamente para evitar danificações no amido e proteínas.

Segundo Sahlstram et al. (2003), as propriedades de pasta (viscosidade mínima, viscosidade final, *breakdown*, *setback*) são parâmetros do amido que influenciam na qualidade do pão. Para obter um pão de boa qualidade, a farinha deve ter amido com as seguintes propriedades: alta viscosidade mínima, alta viscosidade final, pequeno *breakdown*, pequeno *setback*.

Os valores encontrados neste estudo estão de acordo com os reportados por Silva (2007), que avaliou as propriedades reológicas da farinha de trigo de grão inteiro.

Tabela 4.9 – Viscosidade da pasta da farinha de trigo integral controle e tratada

Parâmetro	Controle	Tratada
Viscosidade máxima (cP)	3313,00±85 ^a	3233,00±65 ^a
Viscosidade mínima (cP)	2317,00±92 ^a	2406,00±72 ^a
Quebra de viscosidade (cP)	1259,00±60 ^a	1178,00±79 ^a
Viscosidade final (cP)	3911,00±84 ^a	4006,00±93 ^a
Tendência à retrogradação (cP)	1730,00±37 ^a	1689,00±41 ^a
Tempo do pico (s)	6,07±0,18 ^a	6,33±0,22 ^a
Temperatura de gelatinização (°C)	65,35±2,10 ^a	66,70±1,90 ^a

cP = cPoise; Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.4.2 Farinografia

A análise farinográfica é importante para descrever as propriedades reológicas da massa, assim como determinar parâmetros como absorção de água, força e possíveis indicações de uso (VETRIMANI et al., 2005).

Na Tabela 4.10, estão apresentados os resultados dos farinogramas das farinhas de trigo integral tratada e controle. Observa-se que o tratamento do farelo melhorou as características reológicas da farinha de trigo integral, melhorando sua estabilidade e o índice de tolerância à mistura e mantendo a mesma absorção de água. Resultados semelhantes foram obtidos por Uribe (1997), estudando a aplicação de radiação infravermelha em farinha de trigo. A autora observou que a aplicação de radiação infravermelha proporcionou um aumento no tempo de desenvolvimento da massa e na estabilidade, reduzindo o índice de tolerância à mistura.

Estudos demonstram que o tratamento térmico do farelo melhora as características reológicas da farinha, através da inativação de enzimas lipolíticas e

desnaturação da glutathiona, um tripeptídeo que interfere nas propriedades reológicas da massa (KOCK et al., 1999).

Tabela 4.10 – Parâmetros farinográficos da farinha de trigo integral tratada e controle

Parâmetro	Controle	Tratada
Absorção de água (%)	70,0	69,5
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	12,5	14,0
Estabilidade (min)	11,5	>20,0
Índice de tolerância à mistura (UF)	20	10

UF- unidades farinográficas.

3.4.3 Extensografia

Na Tabela 4.11, estão apresentadas as características extensográficas das farinhas de trigo integral tratada e controle. Os parâmetros extensográficos foram avaliados em intervalos de 45, 90 e 135 minutos. Observa-se que o tratamento do farelo não alterou as características extensográficas da farinha de trigo integral. Somente foi observada uma pequena redução na extensibilidade da massa após 135 minutos. Este resultado demonstra que o tratamento do farelo não interfere na qualidade tecnológica da farinha de trigo integral.

Os extensogramas das farinhas indicam um aumento na resistência à extensão após 90 e 135 minutos, verificando que estas farinhas apresentam tolerância a longos períodos de fermentação e demais etapas do processo de panificação, apresentando características de farinha forte. Estes resultados são semelhantes aos encontrados na farinha de trigo integral por Vetrmani et al. (2005), que avaliou as características reológicas de farinhas de trigo com diferentes taxas de extração.

Tabela 4.11 – Parâmetros extensográficos da farinha de trigo integral tratada e controle

Tempo (min)	Parâmetro	Controle	Tratada
45	R (UE)	655,0	650,0
	Rm (UE)	660,0	650,0
	E (min)	91,0	87,5
	D (UE/min)	7,2	7,44
90	R (UE)	>1000	1000
	Rm (UE)	>1000	>1000
	E (min)	67,5	67,5
	D (UE/min)	>14,83	>14,83
135	R (UE)	>1000	935
	Rm (UE)	>1000	>1000
	E (min)	72,5	58,5
	D (UE/min)	>13,81	>16,0

UE: unidades extensográficas, R: resistência à extensão ou elasticidade, Rm: resistência máxima, E: extensibilidade e D: número proporcional.

3.4.4 Teores e índices de glúten

Na Tabela 4.12, estão os dados referentes às características do glúten das farinhas estudadas. Observa-se que o tratamento do farelo não afetou o glúten. Este comportamento já era previsto, pois apenas o farelo foi tratado com radiação infravermelha, para evitar o aquecimento e possível desnaturação das proteínas formadoras do glúten. Este mesmo comportamento foi confirmado pelas análises de farinografia e extensografia.

Tabela 4.12 – Características do glúten da farinha de trigo integral tratada com radiação infravermelha e controle

Parâmetro	Controle	Tratada
Glúten úmido (%)	29,89±1,05 ^a	30,90±0,90 ^a
Glúten seco (%)	10,11±0,30 ^a	10,37±0,25 ^a
Índice de glúten	100,00±0,00 ^a	100,00±0,00 ^a

Cada valor representa a média de três repetições; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

De acordo com Curic et al. (2001), farinhas com índice de glúten entre 75 e 90 resultam em pães com maior volume e melhores características sensoriais. Portanto, a utilização das farinhas avaliadas neste trabalho podem ser consideradas boa qualidade para panificação.

3.4.5 Número de queda (*Falling Number*)

O valor de *Falling Number* mede indiretamente a atividade da enzima α -amilase, sendo um indicativo de qualidade da farinha para panificação. Altos valores de *Falling Number*, na faixa de 400 segundos, indicam pouca atividade de alfa amilase para panificação. Em geral, as farinhas utilizadas em panificação apresentam valores de *Falling Number* em torno de 330 segundos (POSNER; HIBBS, 1999).

Na Tabela 4.13, estão apresentados os valores de *Falling Number* da farinha tratada e controle. Observa-se que não houve variação estatística entre os valores, indicando que a aplicação de radiação infravermelha no farelo não influenciou a atividade da enzima α -amilase.

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Vetricmani et al. (2005) e Silva (2007), que também estudaram a atividade da enzima α -amilase em farinha de trigo integral e observaram valores em torno de 400 segundos, classificando-as como farinhas com baixa atividade amilolítica.

Tabela 4.13 – Atividade da enzima α -amilase medida através do *Falling Number* das farinhas de trigo integral tratada e controle

Parâmetro	Controle	Tratada
Número de queda (s)	450 \pm 15 ^a	460 \pm 24 ^a

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.5 Acompanhamento da estabilidade

As frações farinha branca e farelo tratado e/ou controle foram armazenadas separadamente por 4 meses, sendo misturadas para obter a farinha de trigo integral reconstituída, no momento de utilizar para as análises e elaboração dos pães integrais. Foram realizadas análises mensais de umidade, acidez do extrato etéreo, contagem de bolores e leveduras e avaliação de infestação de insetos.

3.5.1 Umidade

Os dados referentes ao acompanhamento da umidade da farinha de trigo integral, durante o armazenamento, encontram-se na Tabela 4.14. Verifica-se que a farinha de trigo integral tratada, apresentou menor teor de umidade (12%), enquanto a farinha de trigo integral controle apresentou teor de umidade maior (13%). Este comportamento ocorreu devido ao efeito da radiação infravermelha sobre o farelo, reduzindo sua umidade por meio de aquecimento e formação de gradiente de umidade entre a superfície da amostra e o ar ambiente.

A absorção do infravermelho caracteriza-se por sua pouca penetração, por isso há aquecimento rápido da superfície dos alimentos, resultando em evaporação da água da camada superficial, reduzindo a umidade relativa e criando um gradiente de pressão de vapor que favorece a passagem da água do interior para a superfície do alimento (DATTA; ALMEIDA, 2005).

Apesar de pequenas variações na umidade, durante o período de armazenamento, os valores se mantiveram estáveis e estão dentro da faixa de especificação da ANVISA para comercialização de farinha de trigo, que permite no máximo 15% de umidade (BRASIL, 2001).

Tabela 4.14 – Teor de umidade (%) da farinha de trigo integral tratada e controle, durante os 4 meses de armazenamento

Mês	Controle	Tratada
0	13,00±0,02 ^{Ba}	12,00±0,06 ^{Bb}
1	13,20±0,07 ^{ABa}	12,70±0,09 ^{Ab}
2	13,39±0,07 ^{Aa}	12,07±0,05 ^{Bb}
3	12,13±0,13 ^{Ca}	11,84±0,18 ^{Bb}
4	13,22±0,14 ^{ABa}	12,64±0,06 ^{Ab}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

As condições de armazenamento podem ser consideradas adequadas para a conservação das farinhas, pois houve pouca variação no conteúdo de umidade entre os meses de armazenamento. De acordo com Scussel (2002), o limite mínimo para crescimento de fungos em cereais é de 13,5% de umidade, ou seja, as condições de armazenagem utilizadas neste trabalho não propiciaram o crescimento de fungos, restringindo mais intensamente o crescimento de bactérias, pois estas são mais sensíveis a meios com baixa atividade de água que os fungos.

3.5.2 Acidez do extrato etéreo

Os triglicerídeos do grão são passíveis de sofrerem hidrólise pelas lipases a ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento, especialmente quando a

temperatura e a umidade estão altas e assim favorecem a deterioração. Este tipo de alteração é bastante acelerado pelo crescimento fúngico, devido à alta atividade lipolítica dos fungos. A hidrólise lipídica ocorre muito mais rapidamente do que a de proteínas ou carboidratos em grãos estocados. Por esta razão, o teor de ácidos graxos livres é usado como um índice sensível de deterioração incipiente do grão (ELIAS, 2002).

A farinha de trigo integral apresenta curto período de armazenamento, independente do seu grau de umidade, pois possui alta atividade da enzima lipase, que altera as características sensoriais, como odor e sabor a ranço (MARATHE et al., 2002). Estudos demonstram que ocorrem alterações na percentagem de ácidos graxos livres durante o armazenamento de grãos, propiciando a deterioração (REHMAN, 2006). Desta forma, é de fundamental importância o estudo de processos que conservem por mais tempo a farinha de trigo integral.

Na Tabela 4.15, encontram-se os dados de acidez do extrato etéreo referentes ao acompanhamento da estabilidade das farinhas de trigo integral. Observa-se que, durante o armazenamento, houve um aumento significativo na acidez do extrato etéreo da farinha de trigo integral controle, enquanto que na farinha de trigo integral tratada não houve alterações significativas, indicando uma melhor conservação desta farinha, e que a aplicação de radiação infravermelha no farelo foi eficiente no controle do aumento da acidez, prolongando sua estabilidade.

Este fato pode ter ocorrido em função da inativação da enzima lipase e conseqüente redução da produção de ácidos graxos livres, devido à sensibilidade da enzima lipase ao calor emitido pelos raios infravermelhos.

Tabela 4.15 – Acidez do extrato etéreo (mg KOH/100 g) das farinhas de trigo integral controle e tratada durante 4 meses de armazenamento

Mês	Controle	Tratada
0	51,79 ^{Ca}	47,07 ^{Aa}
1	61,41 ^{Ba}	47,37 ^{Aa}
2	65,39 ^{Ba}	51,43 ^{Ab}
3	75,20 ^{Aa}	54,33 ^{Ab}
4	82,18 ^{Aa}	57,17 ^{Ab}

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Ao final do período de armazenamento, a farinha de trigo integral controle teve um aumento de 58,7% em sua acidez, enquanto que a farinha de trigo integral tratada aumentou apenas 21,5%, mantendo-se estável ao longo do período. Ambas estão de acordo com os limites de tolerância do índice de acidez do extrato etéreo para farinha de trigo integral da Instrução Normativa nº8 de 02/06/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que estabelece o máximo de 100 mg de KOH/100g (BRASIL, 2005). No entanto, verifica-se que a farinha controle possivelmente seria considerada inadequada para o consumo no 5º mês, devido à intensidade do aumento da acidez, enquanto que a farinha tratada provavelmente se manteria estável por mais tempo, sendo adequada para o consumo.

3.5.3 Análise microbiológica

Na Tabela 4.16, encontram-se as contagens de bolores e leveduras nas farinhas de trigo integrais durante o período de armazenamento. Observa-se que as farinhas de trigo permaneceram dentro dos limites aceitos pela legislação (BRASIL, 2005). Os valores encontrados foram baixos, possivelmente devido às

condições de armazenamento com baixo teor de umidade, evitando o desenvolvimento de microrganismos, pois estes necessitam de no mínimo 13,5% de umidade para se desenvolver (SCUSSEL, 2002).

A aplicação de radiação infravermelha no farelo foi eficiente na redução da contagem de bolores e leveduras na farinha de trigo integral tratada, não havendo alterações durante o armazenamento e mantendo-a em valores menores de 100 UFC/g. No caso da farinha de trigo integral controle, esta também permaneceu com baixas contagens, porém no último mês de armazenamento ocorreu um aumento. Este pode ter ocorrido devido a alterações ambientais, como mudança de temperatura ou umidade relativa, favorecendo o seu crescimento.

Tabela 4.16 - Contagem de bolores e leveduras (UFC.g⁻¹) na farinha de trigo integral controle e tratada durante o armazenamento

Mês	Controle	Tratada
0	<100	<100
1	<100	<100
2	<100	<100
3	<100	<100
4	1,8.10 ¹	<100

UFC= Unidades formadoras de colônias

Estudos indicam que a radiação infravermelha reduz a carga microbiana através das vibrações provocadas nas ligações intra e intermoleculares dos componentes dos alimentos a uma frequência de 60.000 a 150.000 MHz, que resulta em aumento da temperatura e conseqüente desnaturação protéica e desidratação.

Ibanoglu (2002) utilizou a energia infravermelha para prolongar a vida de prateleira do gérmen do trigo, pois este produto é rico em enzimas e

microrganismos deterioradores, possuindo um prazo de validade extremamente curto. Com a aplicação do tratamento térmico por meio da radiação infravermelha foi possível melhorar as características sensoriais do gérmen e prolongar sua conservação através da inativação enzimática e destruição dos microrganismos.

3.5.4 Infestação de insetos

Não foi encontrada nenhuma infestação de insetos em qualquer fase metamórfica nas amostras estocadas por 4 meses. A possibilidade de que o trigo tenha sido expurgado antes da moagem, pode ter resultado na ausência de insetos em todas as amostras.

Segundo Tilley et al. (2007), a aplicação de radiação infravermelha é eficiente na desinfestação de insetos em grãos armazenados, podendo substituir o uso de inseticidas químicos, evitando problemas de intoxicação dos manipuladores e dos consumidores.

3.6 Avaliação da qualidade de panificação

O efeito da radiação infravermelha aplicada no farelo sobre as propriedades tecnológicas da farinha de trigo integral foi avaliado através da elaboração mensal de pães de forma integrais, sendo avaliado seu perfil tecnológico através dos parâmetros de volume específico no dia zero, umidade e textura durante a estocagem, nos dias 1, 4 e 7.

3.6.1 Volume específico dos pães

Na Figura 4.4, estão apresentadas as fotos dos pães de forma integrais. Observa-se uma semelhança entre os pães elaborados com as farinhas de trigo integral tratada e controle, indicando que a aplicação de radiação infravermelha no farelo é eficiente no prolongamento da estabilidade, sem afetar a aparência dos pães.

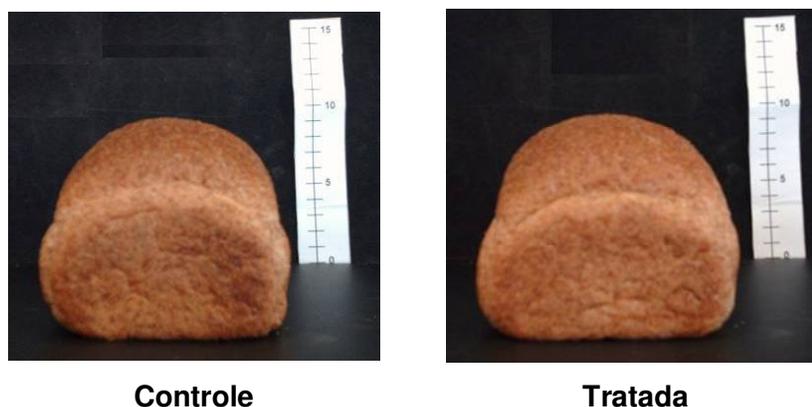


Figura 4.4 – Fotografias dos pães elaborados com farinha de trigo integral controle e tratada com radiação infravermelha

O mesmo pode ser confirmado através dos dados referentes ao volume específico dos pães (Tabela 4.17), onde se observa que os pães elaborados com farinha de trigo integral tratada apresentaram, de modo geral, volumes específicos semelhantes aos pães elaborados com farinha de trigo integral controle.

Durante os meses de armazenamento das farinhas, praticamente não houve variação no volume específico dos pães.

Tabela 4.17 – Volume específico dos pães ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral controle e tratada durante 4 meses de armazenamento

Mês	Controle	Tratada
0	$3,76 \pm 0,02^{\text{Db}}$	$3,95 \pm 0,11^{\text{BCa}}$
1	$4,68 \pm 0,04^{\text{Aa}}$	$4,64 \pm 0,06^{\text{Aa}}$
2	$4,47 \pm 0,12^{\text{Ba}}$	$4,17 \pm 0,04^{\text{Bb}}$
3	$4,15 \pm 0,07^{\text{Ca}}$	$3,88 \pm 0,08^{\text{Cb}}$
4	$3,58 \pm 0,10^{\text{Da}}$	$3,81 \pm 0,13^{\text{Ca}}$

Cada valor representa a média de três repetições \pm desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.6.2 Teor de umidade dos pães

A qualidade e vida de prateleira de produtos panificados são normalmente limitadas por alterações físico-químicas, conhecida como envelhecimento (*staling*), levando a alterações na textura e “*flavor*” dos produtos e, no caso de produtos com alta atividade de água, pode ocorrer o aparecimento de bolores. O envelhecimento do pão é a maior causa do seu curto prazo de validade (3 a 7 dias) (CHINACHOTI, 2003). Este fenômeno é causado devido à recristalização do amido, alterações das proteínas e migração da água da massa após a cocção (FESSAS; SCHIRALDI, 1998).

Os valores de umidade dos pães encontram-se na Tabela 4.18. Observa-se que os valores obtidos neste estudo estão de acordo com os encontrados por outros autores, que também trabalharam com pães integrais (GANDRA et al., 2008; ABDEL-AAL et al., 2008).

Observa-se que, de maneira geral, não houve diferença significativa entre a umidade dos pães elaborados com farinha tratada e controle, indicando que a utilização de farinha de trigo integral tratada não interferiu na umidade dos pães. Durante os dias de armazenamento dos pães não houve redução na umidade, embora estes aparentassem estar mais secos. Isto ocorreu devido à retrogradação do amido, que contribui para a firmeza e aparência de seco (GUTKOSKI et al., 2005).

Tabela 4.18 – Acompanhamento da umidade(%) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral tratada e controle, durante 4 meses de armazenamento

Mês	Dia	Controle	Tratada
0	1	37,83±0,96 ^{Aa}	35,05±0,80 ^{Ab}
	4	37,06±0,17 ^{Aa}	35,88±0,12 ^{Ab}
	7	37,29±0,21 ^{Aa}	35,35±0,20 ^{Ab}
1	1	37,76±1,94 ^{Aa}	37,86±1,63 ^{Aa}
	4	34,94±1,08 ^{Ab}	37,25±0,18 ^{Aa}
	7	34,82±0,19 ^{Ab}	35,55±0,29 ^{Aa}
2	1	43,02±2,73 ^{Aa}	38,85±0,27 ^{Aa}
	4	38,16±0,26 ^{Aa}	38,85±0,46 ^{Aa}
	7	36,25 ±0,20 ^{Ab}	36,67±0,18 ^{Aa}
3	1	36,72±2,03 ^{Aa}	40,51±1,72 ^{Aa}
	4	38,19±0,11 ^{Aa}	38,08±0,26 ^{Aa}
	7	37,45±2,56 ^{Aa}	37,70±0,66 ^{Aa}
4	1	39,87±1,62 ^{Aa}	39,68±2,27 ^{Aa}
	4	38,18±0,13 ^{Aa}	38,46±0,20 ^{Aa}
	7	36,85±1,21 ^{Aa}	37,19±0,24 ^{Aa}

Cada valor representa a média de três repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

3.6.3 Textura instrumental dos pães de forma integrais

O envelhecimento é o principal fator responsável pelo endurecimento do pão durante o armazenamento. Este pode ocorrer devido à redistribuição de água entre os componentes do produto (especificamente do glúten para o amido) induzindo a formação de organizações cristalinas e fazendo com que o glúten se torne mais frágil. A velocidade com que o envelhecimento ocorre (taxa de envelhecimento) é controlada pela diferença entre a temperatura de

armazenamento e a temperatura de transição vítrea do produto (BULEON et al., 1990; CUQ et al., 2003).

Na Tabela 4.19, estão apresentados os valores de dureza dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com as farinhas de trigo integral tratada e controle. Observa-se que a dureza de todos os pães aumentou durante os dias de armazenamento. Isto provavelmente ocorreu devido à redistribuição de umidade e retrogradação do amido no período de estocagem.

Tabela 4.19 – Valores da dureza (N) dos pães elaborados em intervalos de 30 dias com farinha de trigo integral tratada e controle, durante 4 meses de armazenamento

Mês	Dia	Controle	Tratada
0	1	3,09±0,14 ^{Ca}	2,80±0,12 ^{Cb}
	4	5,36±0,32 ^{Ba}	5,18±0,30 ^{Ba}
	7	6,87±0,41 ^{Aa}	6,59±0,38 ^{Aa}
1	1	3,85±0,22 ^{Ca}	2,86±0,11 ^{Cb}
	4	6,72±0,43 ^{Ba}	5,14±0,20 ^{Bb}
	7	8,18±0,40 ^{Aa}	6,11±0,25 ^{Ab}
2	1	3,80±0,28 ^{Ca}	3,26±0,18 ^{Cb}
	4	6,52±1,84 ^{Ba}	5,84±0,36 ^{Bb}
	7	8,81±0,28 ^{Aa}	7,51±0,34 ^{Ab}
3	1	4,30±0,27 ^{Ca}	3,35±0,14 ^{Cb}
	4	6,52±0,31 ^{Ba}	5,17±0,59 ^{Bb}
	7	9,48±0,53 ^{Aa}	7,75±0,30 ^{Ab}
4	1	3,76±0,20 ^{Ca}	3,07±0,30 ^{Cb}
	4	6,28±0,14 ^{Ba}	5,33±0,12 ^{Bb}
	7	8,33±0,18 ^{Aa}	6,99±0,17 ^{Ab}

Cada valor representa a média de quinze repetições ± desvio padrão; valores seguidos da mesma letra maiúscula na mesma coluna e da mesma letra minúscula na mesma linha não são estatisticamente diferentes (p≤0,05).

Comparando os pães elaborados com farinha de trigo integral tratada com os pães elaborados com farinha de trigo integral controle, observa-se que a utilização de farinha tratada reduziu a dureza dos pães, tornando-os mais macios. Este comportamento foi observado durante todos os meses de elaboração dos pães. Este efeito também foi reportado por Kock et al. (1999), que utilizaram tratamento térmico com vapor para estabilizar o farelo de trigo. Os autores relataram que houve uma melhora significativa da qualidade dos pães, quando se utilizou o farelo tratado, associando este efeito à redução da ação da lipase, uma enzima lipolítica que hidrolisa os triglicerídeos a ácidos graxos livres que, subseqüentemente, são oxidados pela enzima lipoxigenase, reduzindo o volume dos pães e aumentando a dureza. E também devido à inativação térmica da glutathione, um tripeptídeo de baixo peso molecular que causa uma redução das forças de coesividade da massa através da quebra das ligações dissulfeto e conseqüente redução da força da massa e diminuição da qualidade de panificação.

De modo geral, os pães elaborados com farinha de trigo integral apresentaram características iguais ou superiores aos pães elaborados com farinha de trigo integral controle. Este comportamento indica que o tratamento térmico foi eficiente no controle dos fatores relacionados com a redução da qualidade dos pães, como a atividade da enzima lipase e possivelmente do tripeptídeo glutathione. Este efeito também foi observado por Kock et al. (1999). Poucos estudos relatam a utilização de tratamento térmico com radiação infravermelha no farelo ou farinha de trigo integral e seu efeito nos pães de forma. Por esta razão há poucos dados para associar com os resultados encontrados neste trabalho, sendo necessários mais estudos para consolidar esta tecnologia promissora.

4 Conclusão

A qualidade da farinha de trigo integral e a qualidade dos pães de forma foram influenciadas pelo estado oxidativo e conseqüente estabilidade do farelo.

A eficiência da aplicação da radiação infravermelha depende da combinação de tempo e temperatura, sendo que através de um planejamento estatístico do tipo DCCR 2² se observou que o tratamento do farelo por 20 minutos a 95°C foi eficiente na redução da atividade da enzima lipase, obtendo-se a farinha de trigo integral tratada.

O tratamento do farelo melhorou as características reológicas da massa, aumentando o tempo de desenvolvimento e a estabilidade e reduzindo o índice de tolerância à mistura, não afetando o índice de glúten, a extensografia e o número de queda.

A aplicação de radiação infravermelha no farelo de trigo prolongou a estabilidade da farinha de trigo integral, reduzindo a intensidade do aumento da acidez e mantendo baixa a contagem de bolores e leveduras durante os 4 meses de armazenagem da farinha.

A utilização de farinha de trigo integral tratada resultou em pães de forma com características semelhantes ou superiores às encontradas nos pães elaborados com farinha de trigo integral controle, indicando que o uso de farelo tratado resulta em pães mais macios e de volume e aparência semelhantes aos pães elaborados com farinha de trigo integral controle.

A utilização desta tecnologia é promissora, pois mostrou que mantém as características da farinha, prolongando sua estabilidade e melhorando a qualidade dos pães.

5 Bibliografia

AACC – **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**, 9ª edição, v. I e v. II, St Paul, MN, USA: The Association, 1995.

ABDEL-AAL, E.M.; RABALSKI, I. Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grains products. **Food Chemistry**, v. 111, p. 150 – 156, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **RDC nº 21 de 21 de fevereiro de 2001**. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/218_01re.htm. Acesso em: 20 agosto 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DA FARINHA DE TRIGO**: aprovado pelo decreto n.3664 de 02/06/05, [Brasília], [s.d.]. 6p.

BRUCE, B.; SPILLER, G.A.; KLEVAY, L.M.; GALLAGHER, S.K. A diet high in whole and unrefined foods favorably alters lipids, antioxidant defenses, and colon function, **J Am Coll Nutr**, v.19, p. 61–67, 2000.

BULEON, A.; COLONNA, P.; LELOUP, V. Les amidons et leurs derives dans les industries des cereals. **Industries Alimentaires et Agricoles**, v. 6, p. 515 – 532, 1990.

CHINACHOTI, P. Preventing bread staling. In: CAUVAIN, S.P. **Bread Making: Improving quality**. Cambridge England: CRC Press, 2003.

CUQ, B.; ABECASSIS, J.; GUILBERT, S. State diagrams to help describe wheat bread processing. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, p. 759 – 766, 2003.

CURIC, D.; KARLOVIC, D.; TUSAK, D.; PETROVIC, B.; DUGUM, J. Gluten as a standard of wheat flour quality. **Food Technol. Biotechnol**, v. 39, n. 4, p. 353 – 361, 2001.

DATTA, A.K.; ALMEIDA, M. Properties relevant to infrared heating of foods. In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H.; DATTA, A.K. **Engineering Properties of Foods**. New York: Taylor & Francis Group, 2005, p. 209-235.

ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 311 - 359.

FASINA, O.; TYLER, B.; PICKARD, M.; ZHENG, G. H.; WANG, N.. Effect of infrared heating on the properties of legume seeds. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 36. p. 79-90. 2001.

FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and 'pentosans'. **Thermochim. Acta**, v. 323, p. 17 – 26, 1998.

- FREITAS, D.G.C. **Desenvolvimento e estudo da estabilidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico**. 2005. 187 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.
- GANDRA, K.M.; DEL BIANCHI, M.; GODOY, V.P.; QUEIROZ, F.P.C.; STEEL, C.J. Aplicação de lipase e monoglicerídeo em pão de forma enriquecido com fibras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 182-192, 2008.
- GELINAS, P.; MCKINNON, C.M. Effect of flour heating on dough rheology. **LWT**, v. 37, p. 129-131, 2004.
- GUTKOSKI, L.C.; BREHM, C.M.; SANTOS, E. dos; MEZZOMO, N. Efeito de ingredientes na qualidade da massa de pão de forma congelada não fermentada durante o armazenamento. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 25, n. 3, p. 460 – 467, 2005.
- HAYTA, M.; SCHOFIELD, J.D. Heat end additive induced biochemical transitions in gluten from good end poor breadmaking quality wheats. **Journal of Cereal Science**, v. 40, p. 245-256, 2004.
- HILL, D.S. **Pests of Stored Products and their Control**, p. 203 – 207. London: Belhaven Press, 1990.
- IBANOGLU, E. Kinetic study on colour changes in wheat germ due to heat. **Journal of Food Engineering**. v.51. p. 209-213. 2002.
- INDRANI, D.; RAO, G.V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of parotta. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 100 – 105, 2007.
- KAUR, J.; RAMAMURTHY, V.; KOTHARI, R.M. Characterization of oat lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biootechnology Letters**, v.15, n. 3, p. 257-262, 1993.
- KOCK, S.; TAYLOR, J. TAYLOR, J.R.N. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. **LWT**, v. 32, p. 349 – 356, 1999.
- LACA, A.; ZOE, M.; DÍAZ, M.; WEBB, C.; PANDIELLA, S.S. Distribution of microbial contamination within cereal grains. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 332 – 338, 2006.
- LIU, R.H., Whole grain phytochemicals and Health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 207-219, 2007.
- MARATHE, S.A.; MACHAIAH, J.P.; RAO, B.Y.K.; PEDNEKAR, M.D.; SUDHA RAO, V.. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 163 – 168, 2002.
- MARTIN, P. Controlling the bread making processos: the role of bubbles in bread. **Cereal Foods World**, v. 49, p. 72 – 75, 2004.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994. 49p.

MOURIER, H.; POULSEN, K. P. Control of insects and mites in grain using a high temperature/short time (HTST) technique. **Journal of Stored Products Research**. v.36. p. 309-318. 2000.

OLSSON, E.E.M.; TROGORDH, A.C.; AHRNO, L.M. Effect of Near-infrared Radiation and Jet Impingement Heat Transfer on Crust Formation of Bread. **Food Engineering and Physical Properties**. v. 70, n. 8. p. 484-491. 2005.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo**: conceitos, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle. Campinas: ITAL, 1999. 72p.

POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota: American Chemistry Incorporation, 1988. v.3

POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. (Ed.), **Storage of Cereal Grains and their Products**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, 1992, pp. 145–217.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat flour milling**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1999. 341 p.

REHMAN, Z.U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Food Chemistry**, v. 95, p. 53 – 57, 2006.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. 1ª edição. Campinas: Casa do Pão, 2005.

SAHLSTRAM, S.; BÆVRE, A.B.; BRÅTHEN, E. Impact of Starch Properties on Hearth Bread Characteristics. I. Starch in Wheat Flour. **Journal of Cereal Science**, v. 37, p 275-284, 2003.

SAKAI, N.; HANZAWA T. Applications and advances in far infrared heating in Japan. **Trends Food Sci. Tech.**, v.5. p. 357-362.1994

SHERIDAN, P.; SHILTON, N. Application of far infra-red radiation to cooking of meat products. **Journal of Food Engineering**. v. 41. p.203-208. 1999.

SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**, 1ª Ed. Campinas, IBG, 2002, p. 675 – 804.

SILVA, C.B. **Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**. 2007. 168 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

STAACK, N.; AHRNE, L.; BORCH, E.; KNORR, D. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 17 – 24, 2008.

TILLEY, D.R.; CASADA, M.E.; ARTHUR, F.H. Heat treatment for disinfestation of empty grain storage bins. **Journal of Stored Products Research**, v.43, p. 221–228, 2007.

URIBE, M.E.B. **Infrared radiation effects on some functional characteristics of wheat flour**. 1997. 112 f. Thesis (Master of science) – Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Manitoba – Winnipeg

VETRIMANI, R.; SUDHA, M.L.; HARIDAS RAO, P. Effect of extraction rate of wheat flour on the quality of vermicelli. **Food Research International**, v. 38, p. 411 – 416, 2005.

WEBER, F.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Processo de estabilização de farinha de aveia por imersão das cariopses em água quente. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, n. 103, p. 225-235, 2002

YADAV, D.N.; PATKI, P.E.; SHARMA, G.K.; BAWA, A.S. Effect of microwave heating of wheat grains on the browning of dough and quality of chapattis. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 1217-1225, 2008.

CONCLUSÃO GERAL

A qualidade da farinha de trigo integral e dos pães de forma é influenciada por sua estabilidade e características reológicas.

Neste estudo foram avaliados três métodos para estabilizar a farinha de trigo integral, sendo: aplicação de radiação gama na farinha de trigo integral, aplicação de radiação gama nos grãos de trigo e aplicação de radiação infravermelha na fração farelo (camada de aleurona e gérmen) da farinha de trigo integral.

Os efeitos da radiação gama na farinha de trigo integral são dependentes da dose de radiação gama aplicada, sendo que se utilizou doses entre 0,5 e 4,5 kGy e todas elas afetaram de modo negativo nas características reológicas e qualidade dos pães, devido a modificações causadas na fração amido e proteína. No entanto a utilização de baixas doses (0,5 e 1,5 kGy) melhorou a estabilidade, porém devido aos efeitos adversos na massa, esta técnica não é recomendada.

Os efeitos da radiação gama nos grãos de trigo também são dependentes da dose utilizada, sendo que foram utilizadas as mesmas doses aplicadas na farinha de trigo integral, no entanto, observou-se que os efeitos no grão não são tão intensos como aqueles observados na farinha de trigo integral. Entretanto, a dose 0,5 kGy, foi eficiente na estabilização dos grãos e farinha resultante, não interferindo significativamente nas características reológicas e na qualidade dos pães, sendo eficiente na redução de bolores e leveduras, podendo ser uma alternativa para prolongamento da estabilidade dos mesmos.

A utilização de radiação infravermelha demonstrou ser eficiente nos propósitos deste trabalho, pois, prolongou a estabilidade da farinha de trigo integral e melhorou a qualidade dos pães de forma integrais. A eficiência da aplicação depende das condições de tempo e temperatura utilizadas, sendo verificado que a utilização de 90°C por 20 minutos foi eficiente para reduzir a atividade da enzima lipase e contagem de bolores e leveduras, melhorando a estabilidade da farinha de trigo integral e qualidade dos pães.

