CAROLINA SOBRAL SINGER

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, REOLÓGICAS, ENTÁLPICAS E
DE PANIFICAÇÃO DA FARINHA OBTIDA DE TRIGO IRRADIADO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

São Paulo
2006

CAROLINA SOBRAL SINGER

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, REOLÓGICAS, ENTÁLPICAS E DE
PANIFICAÇÃO DA FARINHA OBTIDA DE TRIGO IRRADIADO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Química

Orientadora: Prof. Livre-Docente
Carmen Cecília Tadini

São Paulo
2006

À minha mãe e ao meu
pai, com muito carinho

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Carmen Cecília Tadini pela dedicação e pela importante participação na realização deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Susy Frey Sabato do CTR - IPEN pela importante contribuição durante a elaboração desse trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Fernanda Paula Collares e à técnica Alessandra Silva Coelho da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP pela concessão de equipamentos e auxílio na parte experimental.

À Prof^a. Dr^a. Duclerc Fernandes Parra do CQMA – IPEN pela viabilização das análises de DSC.

Ao Moinho Pacífico, especialmente ao Eng. Paolo Boldrin e à Christiane D’Ávila pelo fornecimento da farinha de trigo e auxílio na parte experimental.

À Capes pelo apoio financeiro.

À Danisco Cultor pelo fornecimento de enzima α -amilase e CSL.

Aos queridos colegas Áurea, Bruno, Cynthia, Denise, Fabiana, Ivan, Jorge, Kátia, Lucia, Nathália, Pricila, Tati M., Tati T. e Vanessa, pela amizade, companhia, e por toda a ajuda durante o trabalho.

À Denise e ao Klauss pela importantíssima ajuda na parte experimental, e à Tati Matuda por toda a “consultoria” prestada.

À minha mãe e ao meu pai por terem sempre me dado tudo e pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

À minha irmã pelo apoio, e por me divertir tanto.

Ao Gui por estar ao meu lado sempre, me apoiar em tudo e me fazer tão feliz.

Aos meus amigos Fil, Ligia, PJ, Maren, Carlão, Edu, Pedro, Bia, Fê Morena e Fê Loira pelos momentos que fazem tudo valer à pena.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	4
2	Revisão da Literatura	5
2.1	Radiação ionizante em alimentos	5
2.2	Pão francês	11
2.3	Trigo e farinha de trigo	13
2.4	Efeitos da irradiação no trigo, farinha e pão	21
2.5	Aceitação dos pães produzidos a partir de trigo e farinha irradiados	32
3	Materiais e Métodos	34
3.1	Materiais	34
3.2	Metodologia	34
3.2.1	Análises na farinha de trigo	37
3.2.2	Fabricação do pão francês	47
3.2.3	Avaliação do pão francês	49
3.2.4	Forma de análise dos resultados	54
4	Resultados e discussão	55
4.1	Análises na farinha de trigo	55
4.1.1	Análises físico-químicas	55
4.1.2	Análises reológicas	64
4.1.3	Análises entálpicas	72
4.1.4	Análises microbiológicas	80
4.2	Fabricação do pão francês	83
4.3	Avaliação do pão francês	87

4.3.1	Análises físicas	87
4.3.2	Análise de textura	90
4.3.3	Análise sensorial.....	92
5	Conclusões.....	94
6	Sugestões para trabalhos futuros	96
7	Lista de Referências.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de trigo e derivados no Brasil	2
Figura 2: Consumo per capita de pão (kg/ ano)	2
Figura 3: Estrutura das cadeias de amilose e amilopectina presentes da farinha de trigo	18
Figura 4: Fluxograma das etapas do projeto de pesquisa.	35
Figura 5: Exemplo de um farinograma.....	38
Figura 6: Foto do colorímetro Color Quest XE.....	39
Figura 7: Exemplo de um extensograma	40
Figura 8: Foto do Reofermentômetro utilizado	41
Figura 9: Exemplo de curva de desenvolvimento de massa	42
Figura 10: Exemplo de curva de liberação de gás	43
Figura 11: Analisador de textura TA-XT2i utilizando acessório A/KIE.....	44
Figura 12: Exemplo de curva de textura do pão, em método de simples compressão.	51
Figura 13: Exemplo da ficha apresentada aos provadores para análise sensorial	53
Figura 14: Farinograma obtido para a amostra irradiada a 0,5 kGy.....	58
Figura 15: Representação da escala Hunter <i>L</i> , <i>a</i> , <i>b</i> de cor.....	60
Figura 16: Variação do <i>Falling Number</i> em função da dose absorvida pelo trigo.....	62
Figura 17: Curvas médias de desenvolvimento da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	66
Figura 18: Curvas médias de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	68
Figura 19: Curvas médias de textura da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo....	71
Figura 20: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,0 kGy.....	73

Figura 21: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,0 kGy.....	73
Figura 22: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,5 kGy.....	74
Figura 23: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,5 kGy.....	74
Figura 24: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 1,0 kGy.....	75
Figura 25: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 1,0 kGy.....	75
Figura 26: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 2,0 kGy.....	76
Figura 27: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 2,0 kGy.....	76
Figura 28: Curvas médias do ciclo de aquecimento de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	77
Figura 29: Picos de gelatinização nas curvas médias de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	78
Figura 30: Foto dos ingredientes para a preparação dos pães pesados e separados	83
Figura 31: Foto dos ingredientes sendo misturados na masseira	84
Figura 32: Foto do ponto de véu atingido pela massa após o batimento.....	84
Figura 33: Foto dos pães passando pela divisora e modeladora.....	85
Figura 34: Foto dos pães modelados, antes da fermentação.....	85
Figura 35: Foto dos pães após saírem da câmara de fermentação.....	86
Figura 36: Foto dos pães dentro do forno.....	86

Figura 37: Foto dos pães prontos.....	87
Figura 38: Curvas médias de textura do pão de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	91
Figura 39: Foto da bandeja entregue ao provador na análise sensorial.....	92
Figura 40: Foto das cabines onde foi realizada a análise sensorial	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Massa de suspensão de farinha utilizada em cada ensaio de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo	46
Tabela 2: Dosagem recomendada de enzima na formulação do pão.....	48
Tabela 3: Médias dos resultados de umidade de acordo com a dose absorvida pelo trigo	55
Tabela 4: Médias dos resultados obtidos para o teor de proteína total da farinha de acordo com a dose absorvida pelo trigo	56
Tabela 5: Médias dos parâmetros obtidos através dos farinogramas de acordo com a dose absorvida pelo trigo	57
Tabela 6: Médias dos resultados da análise de cor da farinha de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	59
Tabela 7: Médias dos valores de <i>Falling Number</i> (FN) de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	61
Tabela 8: Médias dos parâmetros obtidos após 45 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo	64
Tabela 9: Médias dos parâmetros obtidos após 90 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo	64
Tabela 10: Médias dos parâmetros obtidos após 135 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo	65
Tabela 11: Parâmetros extensográficos característicos de acordo com a classificação da farinha, após 135min de descanso da massa	65
Tabela 12: Médias dos parâmetros de desenvolvimento da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo	67

Tabela 13: Médias dos parâmetros H'_m , T'_1 (altura e tempo de liberação) e T_x (porosidade), obtidos da curva de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	69
Tabela 14: Médias dos parâmetros V_T , V_{CO_2} , V_R (volumes total, liberado e retido) e CR (coeficiente de retenção), obtidos da curva de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo	69
Tabela 15: Médias dos parâmetros obtidos a partir do ensaio de textura da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo	72
Tabela 16: Médias dos parâmetros obtidos através do equipamento DSC para os picos de gelatinização de acordo com a dose absorvida pelo trigo	79
Tabela 17: Padrões microbiológicos sanitários para farinha de trigo de acordo com a legislação brasileira	80
Tabela 18: Resultados das contagens de <i>Bacillus cereus</i> , Coliforme a 45°C, <i>Estafilococos</i> <i>coagulase</i> positiva e <i>Salmonella</i> spp. para todas as doses e ao longo do período de armazenamento da farinha.....	81
Tabela 19: Resultados das contagens de bolores e leveduras das amostras de farinha, de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do armazenamento	81
Tabela 20: Resultados das contagens de coliformes a 35°C das amostras de farinha, de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do armazenamento	82
Tabela 21: Médias dos valores obtidos para a massa de dois pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo	87
Tabela 22: Médias dos valores obtidos para o volume de dois pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo	88
Tabela 23: Médias dos valores obtidos para o volume específico dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo.....	89

Tabela 24: Médias dos valores obtidos para o conteúdo de água dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo	90
--	----

Tabela 25: Médias dos valores obtidos para a firmeza dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo	91
---	----

RESUMO

A maioria dos métodos conhecidos e atualmente utilizados para preservação de alimentos teve sua origem nos tempos antigos. A estes métodos foram adicionados novos processos considerados não térmicos, cujos princípios tendem a melhorar a qualidade dos alimentos durante seu processamento. Entre eles, a tecnologia de irradiação é um desafio com grande potencial de contribuição para melhorar a preservação, armazenamento e distribuição de alimentos. Diversos estudos da literatura internacional reportam a eficiência do processo de irradiação no controle microbiológico de grãos e derivados. Devido à baixa qualidade tecnológica do trigo nacional, o Brasil é atualmente dependente da importação desse grão, principal ingrediente do pão, que é, por sua vez, um dos mais importantes produtos da cesta básica do brasileiro. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da radiação ionizante em trigo sobre as propriedades físico-químicas, reológicas e entálpicas da farinha de trigo produzida a partir dele e, conseqüentemente, seu desempenho na fabricação do pão francês. Os experimentos foram conduzidos em escala de laboratório. Trigo de mesmo lote foi submetido à irradiação em diferentes doses (0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy) e a farinha produzida foi avaliada quanto aos aspectos físico-químicos, reológicos, entálpicos e microbiológicos. O desempenho da panificação da farinha foi medido através da avaliação da qualidade do pão produzido. Nenhum dos parâmetros físico-químicos, reológicos ou entálpicos foi influenciado pela irradiação, com exceção do *Falling Number*, que diminuiu significativamente com o aumento da dose, indicando o efeito da irradiação sobre o amido do trigo, e conseqüentemente sobre o processo de gelatinização. Os pães produzidos também não apresentaram diferença significativa nos parâmetros analisados, e análise sensorial mostrou que pães produzidos de trigo irradiado e não irradiado não apresentaram diferença perceptível no sabor.

ABSTRACT

Most of the methods that are nowadays used for food preservation derive from old times. Besides these methods, new non-thermal methods have been developed in order to improve food quality during its processing. Irradiation technology has a great contribution potential to improve preservation, storage and distribution of foods. Several studies from international literature have reported the efficiency of irradiation process on microbiological control of grains and their products. Due to the low technological quality of national wheat, Brazil depends on its import. Wheat is the main ingredient of bread which is one of the most important products of Brazilian people's diet. The objective of this work was to study the effect of ionizing radiation on wheat on physicochemical, rheological, and thermal properties of flour produced from this wheat, and consequently, its performance on bread making. All experiments were conducted on laboratory scale. Wheat was submitted to irradiation on different doses (0.0; 0.5; 1.0 and 2.0 kGy) and flour produced underwent physicochemical, rheological, thermal and microbiological analyses. Flour bread making performance was measured through quality of bread. None of the physicochemical, rheological or thermal parameters was influenced by irradiation, with the exception of Falling Number, which decreased significantly with the increase of irradiation dose, indicating the effect of irradiation on wheat starch, and consequently on dough's gelatinization. Bread quality parameters did also not show significant differences, and sensory analysis showed that bread produced from irradiated and non irradiated wheat did not present perceivable flavor differences.

1 Introdução

Supõe-se que o trigo seja consumido há mais de 12 mil anos, e que seu cultivo tenha começado no Crescente Fértil, uma hipotética meia-lua que vai do Norte do Vale do Nilo até a Mesopotâmia, hoje Iraque, Kuwait, passando por Líbano, Israel, Síria e Jordânia. Assim, a agricultura teria sido inventada nessa região a partir do cultivo de trigo. Já o início da produção de pão de massa fermentada é atribuído aos egípcios, 20 ou 30 séculos antes de Cristo. Com o passar do tempo, aperfeiçoou-se a técnica de fabricação, controlando-se melhor a fermentação. A ação de microrganismos e enzimas, transformando amido em açúcar e este em álcool, resulta na formação de gás carbônico. Quando a massa em fermentação contém farinha de trigo, depois de crescer com a formação do gás, não decresce, como as dos outros amidos, porque contém glúten, um conjunto de proteínas que aprisiona o gás, mantendo a estrutura fixa (ABITRIGO, 2005).

A atividade da panificação no Brasil se expandiu com os imigrantes italianos. Os pioneiros da indústria de panificação surgiram em Minas Gerais. Nos grandes centros proliferaram as padarias típicas, sendo que na cidade de São Paulo até hoje existem, em alguns bairros, como no Bixiga, padarias que fabricam pães italianos muito apreciados (ABIP, 2005).

O pão francês é o principal derivado do trigo consumido no país, conforme pode ser observado na Figura 1, e detém 85% de todo o mercado de pães no Brasil, sendo o produto preferido em todas as classes sociais (ABIP, 2005).

Fonte: Programa de Apoio à Panificação (PROPAN, 2005).

Figura 1: Consumo de trigo e derivados no Brasil

Atualmente, o setor de panificação no Brasil possui 52 mil empresas em todo o país, fatura cerca de R\$ 25 bilhões por ano e está entre os seis maiores segmentos industriais do país (PROPAN, 2005). Apesar de mais de 35 milhões de brasileiros frequentarem empresas de panificação diariamente, o consumo per capita de pão ainda está muito abaixo da meta estipulada pela Organização Mundial de Saúde, conforme pode ser observado na Figura 2 (PROPAN, 2005).

Fonte: Programa de Apoio à Panificação (PROPAN, 2005).

Figura 2: Consumo per capita de pão (kg/ ano)

Segundo Rostellato (2005), no sudoeste do estado de São Paulo o plantio de trigo vem recentemente tomando o lugar de áreas antes ocupadas com feijão e algodão. Apesar do preço não ser atrativo, os agricultores da região optaram pelo trigo por produzir bem no inverno e preparar o solo para o milho e a soja, culturas de verão. O clima do sudoeste paulista, com boa distribuição de chuvas no inverno torna o cultivo do trigo favorável à região. Atualmente, já são 35 mil hectares cultivados com trigo na região, ou quase a metade de toda a área paulista.

Nas safras de trigo de 2003 e 2004 o Brasil alcançou uma média próxima de 6 milhões de toneladas, o que representou mais que o dobro da média do quinquênio anterior. A qualidade do trigo nacional, em média, melhorou muito, mas, no mercado as exigências cresceram mais ainda. A liberação da comercialização e industrialização do trigo tornou a clientela dos moinhos cada vez mais específica quanto aos requisitos das farinhas. Emergiram problemas novos. Por exemplo, nas zonas tritícolas é comum chover na época da colheita, o que desencadeia um processo de germinação do grão na espiga e prejudica a qualidade do glúten da farinha posteriormente obtida (ABITRIGO, 2005).

O trigo tem a particularidade de as importações terem sido, ao longo do tempo, cerca de três a quatro vezes superiores às produções nacionais. Apenas em 2003, a produção nacional quase se igualou ao volume importado, ambos em torno de 6 milhões de toneladas. O motivo é que, freqüentemente, o trigo importado é de melhor qualidade e produzido a um custo menor, o que motiva as panificadoras brasileiras a preferirem o produto importado ou a utilizarem misturas das farinhas de trigo nacional e importada. A Argentina é o grande exportador para o Brasil que, além de ser competitiva nessa lavoura, contou, no período analisado, com as vantagens tarifárias possibilitadas pelo Mercosul. Também Canadá e EUA exportam trigo para o Brasil (BRASIL, 2005b). Atualmente, cerca de 95% do trigo consumido no Brasil é importado, a um custo médio de US\$ 130,00 por tonelada (HALFEN, 2005).

O tratamento de alimentos por irradiação constitui, hoje, uma das formas mais modernas, seguras e eficientes para sua preservação. A técnica de irradiação é aprovada pela FAO (Food and Agriculture Organization), órgão das Nações Unidas para a agricultura e alimentação, pelo Codex Alimentarius e pelo Food and Drugs Administration (FDA) e usada em mais de 30 países em todo o mundo. O processo de irradiação não induz radioatividade ao alimento (IPEN, 2003). A Organização Mundial de Saúde incentiva a utilização do processo e o descreve como uma técnica para preservação e melhoria da segurança do alimento (SUÍÇA, 1999).

O processo de irradiação promove a desinfestação, esterilização, aumenta o tempo de prateleira, mantendo os nutrientes do produto. Estudos relatados na literatura internacional indicam que a irradiação na farinha de trigo, além do benefício da redução microbiológica e entomológica em doses relativamente baixas (até 2,0 kGy), pode afetar positivamente seu desempenho na panificação.

1.1 Objetivo

Considerando-se a importância que o processo de irradiação pode ter num futuro próximo e dada a importância do pão francês na alimentação da população brasileira; este estudo teve como objetivo avaliar a influência do processo de irradiação (doses de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy) do trigo na qualidade de panificação através de métodos analíticos e da fabricação de pão francês.

2 Revisão da Literatura

2.1 Radiação ionizante em alimentos

A maioria dos métodos conhecidos e atualmente utilizados para preservação de alimentos teve sua origem nos tempos antigos. Tradicionalmente, os alimentos são preservados utilizando-se transferência de calor (resfriamento, congelamento, esterilização, pasteurização), conservantes, ou alterando-se alguma característica do ambiente do microrganismo, como o pH (fermentação) ou a disponibilidade de água (desidratação, concentração). Apesar da efetividade atingida através destas tecnologias do ponto de vista microbiológico, há também uma perda nutricional e sensorial nos alimentos (ÁUSTRIA, 1992). A estes métodos foram, então, adicionados novos processos considerados não térmicos, cujos princípios tendem a diminuir esta perda de qualidade dos alimentos durante seu processamento, por exemplo: armazenamento em atmosfera controlada e/ ou embalagem com atmosfera modificada, liofilização, pulsos elétricos, alta pressão, irradiação e ultra-som (BARBOSA-CÁNOVAS; RODRIGUEZ, 2002); (ÁUSTRIA, 1992).

A radiação ionizante tem uma longa história de sucesso de aplicações industriais pelo mundo como a esterilização de materiais médicos descartáveis. Apesar disto, a aplicação desta tecnologia em alimentos ainda é um desafio com grande potencial de contribuição para melhorar a preservação, armazenamento e distribuição de alimentos saudáveis (DEL MASTRO, 1999).

A idéia de utilizar radiação ionizante na conservação de alimentos surgiu quase que imediatamente após a descoberta da radioatividade por Becquerel em 1895. A era moderna de pesquisas aplicadas sobre irradiação de alimentos começou após a Segunda Guerra Mundial, quando fontes de ionização mais práticas ficaram disponíveis. A irradiação de alimentos tornou-se então um processo técnico e comercialmente viável e pesquisas sobre segurança e

aplicações começaram a tomar lugar nos Estados Unidos da América (DEL MASTRO, 1999). Segundo Stevenson (1994) apud Giroux; Lacroix (1998), há dez anos mais de 26 países já utilizavam o processo de irradiação em alimentos em escala comercial. Atualmente existem mais de 160 irradiadores comerciais em funcionamento em 37 países de todo o mundo, e o processo de irradiação de diversos alimentos já é aprovado pelo Governo de 42 países (FUNDEP, 2004). No entanto, especiarias e temperos são os únicos grupos de produtos irradiados ao redor do mundo numa escala significativa, já que existem grupos ativistas anti-irradiação, e a aceitação de produtos irradiados pelos consumidores é incerta. A irradiação de quantidades significativas de aves, camarão e rãs limita-se a poucos países, como França e Bélgica (DIEHL, 2002).

O processo de irradiação em alimentos possui várias aplicações. Pode ser utilizado na desinfestação de insetos em cereais, farinhas, frutas frescas e secas e outros alimentos que não tenham sido quimicamente fumigados. A irradiação pode também inibir o brotamento de tubérculos e bulbos, retardar o amadurecimento de frutas e vegetais, reduzir a carga microbiológica de carnes, frutas, legumes e especiarias e melhorar as propriedades tecnológicas de alguns alimentos. Além disso, altas doses de irradiação (10 a 50 kGy) são utilizadas para atingir esterilização comercial, eliminando vírus e permitindo aos alimentos a estocagem à temperatura ambiente em embalagem adequada. Estudos intensivos conduzidos ao redor do mundo mostraram que a técnica de irradiação é efetiva, não tem efeitos na saúde humana, e pode ser aplicada com segurança na preservação de alimentos (THOMAS, 1988); (SKALA; MCGOWN; WARING, 1987). Testes relativos à alimentação de animais foram devidamente conduzidos e os resultados obtidos não revelaram nenhum indicativo de danos à saúde associados ao consumo de alimentos irradiados com doses de até 10kGy (ÁUSTRIA, 1992). Mais recentemente, uma revisão de dados relacionados a aspectos toxicológicos, microbiológicos, nutricionais, físicos e químicos de alimentos irradiados em doses acima de

10 kGy foi realizada, concluindo não ser necessário estabelecer limite superior de dose para alimentos. O alimento irradiado a qualquer dose apropriada para alcançar o objetivo tecnológico pretendido é seguro para consumo e adequado nutricionalmente. No entanto, poucos alimentos toleram doses acima de 10kGy sem perda de qualidade sensorial (SUÍÇA, 1999).

Na década de 80, trinta anos após o início dos estudos sobre os efeitos da irradiação na conservação de alimentos, a Food and Drug Administration dos Estados Unidos (FDA) aprovou a irradiação como método de controle de insetos em frutas, verduras, grãos e farinha de trigo (NEWSOME, 1987).

A irradiação em alimentos é utilizada atualmente visando a desinfestação, como alternativa ao tratamento com fumigantes como o brometo de metila, cujo uso será proibido no Brasil a partir de 2006, já que se trata de um composto halogenado que pode comprometer a camada de ozônio (PSZCSZOLA, 1997). Além disso, cada vez mais os consumidores buscam produtos livres de resíduos químicos, o que favorece a utilização da irradiação como método de eliminação de pragas e controle microbiológico em alimentos (ALDRYHIM; ADAM, 1999). O trabalho de Sommers et al. (2004), uma revisão a respeito da redução da carga microbiológica de alimentos prontos para o consumo irradiados a doses baixas (0,12 a 3,00 kGy), cita vários trabalhos que comprovam a eficácia do processo de irradiação no controle microbiológico de alimentos.

Os processos metabólicos dos insetos podem aumentar o conteúdo de água do grão a um nível que permita o crescimento microbiano, o que pode danificar o cereal. Por isso, o principal interesse do processo de irradiação tem sido na segura desinfestação de insetos (URBAIN, 1986). Tunçbilek; Akif Kansu (1997) e Aldryhim; Adam (1999) comprovaram através de seus estudos a eficácia do processo de irradiação em doses baixas (de até 0,5 kGy) na desinfestação de grãos e derivados. Mayer (1969) apud Rao et al. (1975) reportaram que

irradiação de trigo em doses de 0,20 a 0,25 kGy são suficientes para prevenir o crescimento da maioria das espécies de insetos que infestam os grãos. Köksel; Celik; Tuncer (1996), com base nos resultados de seu estudo, concluíram que a dose de irradiação de 1,0 kGy é adequada para o controle de insetos em grãos, sem afetar sua qualidade.

Hilsenrath (2005) conduziu estudos para avaliar o benefício da irradiação na redução da carga microbiológica e entomológica da farinha de trigo em diferentes etapas de seu processo de fabricação. Irradiação gama em 4 doses (0, 0,5, 1,0 e 2,0 kGy) foi aplicada em trigo de mesmo lote, e seguida de moagem em escala de laboratório. Do mesmo lote de trigo, após moagem em escala de laboratório, a farinha foi irradiada também em 4 doses (0, 0,5, 1,0 e 2,0 kGy). No trigo, análises físico-químicas e entomológicas foram realizadas. Na farinha de trigo, análises físico-químicas, reológicas, entomológicas e microbiológicas foram conduzidas. O objetivo deste projeto, conduzido no Laboratório de Engenharia de Alimentos da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), foi estudar o impacto da irradiação sobre o trigo e sobre a farinha de trigo e indicar qual etapa do processo de obtenção da farinha é a mais adequada para aplicar a irradiação. Foram observadas alterações nos parâmetros farinográficos e extensográficos com o aumento da dose de irradiação tanto para a farinha irradiada quanto para a farinha obtida de trigo irradiado. Em ambos os casos, a dose de 2,0 kGy foi a que mais influenciou os parâmetros em relação à farinha controle (não irradiada), e apenas essa dose foi suficiente para alterar a classificação da farinha em relação à sua força. Além disso, foi possível observar a eficácia do processo de irradiação, nas doses utilizadas, na redução da carga microbiológica e entomológica da farinha. De acordo com os resultados obtidos não foi possível determinar a etapa do processo mais indicada para a aplicação da irradiação. Seriam necessárias outras análises, e um estudo das condições específicas do processo de fabricação da farinha.

A irradiação tem efeito mínimo no sabor, textura e valor nutritivo dos alimentos, já que é um processo “a frio”, ou seja, não provoca aumento significativo da temperatura, e se conduzida à temperatura mais baixa que a ambiente, garante melhor preservação das características nutritivas e propriedades físico-químicas (URBAIN, 1986). No entanto, alguns autores relatam efeitos no valor nutritivo de alimentos irradiados (MARATHE et al., 2002); (SKALA; MCGOWN; WARING, 1987).

A radiação não tem efeito significativo na digestibilidade de proteínas e carboidratos. Gorduras irradiadas, no entanto, podem ser mais suscetíveis à oxidação, mas os efeitos podem ser controlados com a irradiação a baixas temperaturas e/ ou na ausência de oxigênio (NEWSOME, 1987).

A radiação ionizante passa através do material de embalagem quando penetra no alimento. Por isso, o material não deve ser afetado pelo tratamento, nem deve afetar o alimento que está sendo tratado. Além disso, deve ser suficientemente forte para resistir à produção comercial, transporte e estocagem. A FDA (Food and Drug Administration) dos Estados Unidos aprova vários materiais de embalagem para uso em irradiação de alimentos (THOMAS, 1988).

Radiação é uma forma de energia, caracterizada por sua habilidade de mover-se de um local para outro. Na irradiação de alimentos, um tipo particular de radiação é usado: a radiação ionizante. Dos diversos tipos de radiação ionizante, apenas dois são utilizados em alimentos: radiação eletromagnética, especificamente raios gama e X; e fonte de feixe de elétrons. Radiação eletromagnética é uma energia na forma de onda, e a radiação por elétron é corpuscular, isto é, consiste de partículas de matéria, nomeadas elétrons, que são aceleradas até altas velocidades e durante seu movimento transmitem energia. Acelerando elétrons até velocidades suficientemente altas, eles adquirem altos níveis de energia cinética. Outras partículas elementares de matéria podem também adquirir altos níveis de energia, mas a única

radiação corpuscular utilizada em irradiação de alimentos é a fonte de feixe de elétrons (ÁUSTRIA, 1992).

A radiação ionizante de suficiente conteúdo de energia, quando absorvido por matéria, interage para produzir excitação ou ionização. O aspecto chave dessa interação é a transferência de energia carregada pela radiação para o absorvedor. Excitação e ionização envolvem apenas os elétrons externos dos átomos; isto é, aqueles que estão ligados com menor força ao núcleo, e que estão envolvidos em ligar dois ou mais átomos juntos para formar compostos químicos. As moléculas ionizadas formam produtos secundários, principalmente radicais livres e peróxidos. Como resultado, o efeito de tal excitação e ionização está limitado a mudanças químicas. Uma transformação nuclear (alteração no átomo) só acontece quando os elétrons mais internos e por sua vez mais ligados ao núcleo são ativados. Cabe ressaltar que no processo de irradiação de alimentos, o nível de energia envolvido não é suficiente para alterar o núcleo dos átomos, e, portanto, não há risco de induzir radioatividade ao alimento (ÁUSTRIA, 1992); (THOMAS, 1988).

Dos parâmetros do processo de irradiação, o mais importante é a quantidade de energia absorvida pelo material alvo. Este é conhecido como “dose absorvida”. A unidade de dose absorvida é o Gray (Gy). Um Gy corresponde à absorção de um Joule por quilograma de material. A dose empregada depende do objetivo do tratamento, sendo importante que o alimento receba a mínima dose requerida para atingir o efeito desejado e que a razão de uniformidade seja mantida em um nível apropriado (ÁUSTRIA, 1991).

O “International Consultative Group on Food Irradiation” (ICGFI) estabeleceu em 1991 sob a égide da “Food and Agriculture Organization of the United Nations” (FAO), “International Atomic Energy Agency” (IAEA) e “World Health Organization” (WHO), o Código de Boas Práticas de Irradiação para desinfestação de insetos de grãos de cereais. De

acordo com o “Codex General Standard for Irradiated Foods”, a radiação ionizante que pode ser empregada para irradiar alimentos está limitada a:

- (a) Raios gama do radioisótopo ^{60}Co ou ^{137}Cs ;
- (b) Raios X gerados por fontes que trabalham com energias de até 5 MeV;
- (c) Elétrons gerados por fontes que trabalham com energias de até 10 MeV.

A Resolução – RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta a irradiação de alimentos e a define como um processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidade sanitária, fitossanitária ou tecnológica. A radiação é considerada ionizante se ioniza átomos a ela submetidos utilizando energia inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade ao alimento irradiado. A resolução ainda permite as fontes citadas anteriormente para qualquer tipo de alimento tratado por irradiação (BRASIL, 2001b). A legislação brasileira não limita a dose a ser aplicada ao alimento, apenas determina que a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida, e a máxima deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais do alimento.

Em 1999, o “World Health Organization Study Group” determinou que o alimento irradiado é seguro ao longo de toda a faixa de doses de irradiação tecnologicamente utilizável. Portanto, não há necessidade de estipular um limite superior de doses de tratamento por razões de segurança alimentar, e as doses limite devem ser determinadas de acordo com os efeitos na qualidade do alimento (ÁUSTRIA, 2003).

2.2 Pão francês

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria, o setor de Panificação e Confeitaria no Brasil representa 2% do PIB nacional, com faturamento anual

ao redor de R\$ 25 bilhões, e está entre os seis maiores segmentos industriais do país. O pão francês detém 85% de todo o mercado de pães no Brasil, sendo o produto preferido em todas as classes sociais. No entanto, o consumo per capita anual é de 27 kg, índice muito abaixo do recomendado pela OMS (Organização Mundial de Saúde) que é de 60 kg (ABIP, 2005).

O pão francês é um produto da cesta básica, de uso diário, e complementa a ingestão de carboidratos, lipídios e proteínas. Resultados de análise de pão francês, quando comparados com as recomendações diárias para crianças de 4 a 6 anos, demonstram a eficiência do valor alimentar deste produto. Dois pães diários de 50 g na alimentação contêm 269,0 kcal e representam, por exemplo, 38,75% (9,3g) das necessidades diárias de proteínas, 8,9% (0,08mg) das necessidades de Tiamina e 12% (1,2mg) das necessidades de Ferro, atendendo à Portaria nº33 – SVS/MS de 13 de janeiro de 1998 que estabelece os níveis de Ingestão Diária Recomendada para as Vitaminas, Minerais e Proteínas para Lactentes e Crianças (BRASIL, 1998); (FRANCO, 1992).

De acordo com a Resolução RDC nº 90 – ANVISA de 18 de outubro de 2000 que estabelece o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Pão, o pão francês é um produto fermentado, preparado obrigatoriamente com farinha de trigo, sal e água, que se caracteriza por apresentar crosta crocante, de cor uniforme castanho-dourada e miolo de cor branco-creme de textura e granulação fina não uniforme (BRASIL, 2000). De acordo com Carr et al. (2006), o pão francês fresco apresenta crosta atrativa e crocante, aroma agradável e miolo de textura macia e elástica. No entanto, pão fresco é um produto com curta vida de prateleira, e durante seu armazenamento ocorrem alterações físicas e químicas que caracterizam seu envelhecimento.

O pão francês comercializado no mercado brasileiro possui forma, peso e formulação diferentes dos pães encontrados em outros países. A qualidade do pão, como a maioria dos produtos alimentícios, depende em grande parte das suas matérias-primas, portanto é

importante ressaltar suas principais características (EL-DASH; CAMARGO; MANCILLA, 1985).

As características externas freqüentemente avaliadas em pães são a dimensão do produto, volume, aparência, cor e formação da casca. As internas são distribuição, tamanho e número de alvéolos do miolo, cor e textura. Na avaliação sensorial são verificados parâmetros de sabor e aroma (CAUVAIN; YOUNG, 1998).

O volume específico, ou razão entre volume e massa, é um parâmetro de qualidade que indica se a fermentação do pão foi excessiva resultando num volume específico muito grande ou se ocorreram problemas na formação do glúten ou na fermentação, resultando num baixo volume específico. Para o pão francês produzido comercialmente na cidade de São Paulo, o valor do volume específico encontrado variou de 3,89 a 7,48 cm³/g (KOWALSKI; CARR; TADINI, 2002).

2.3 Trigo e farinha de trigo

O Brasil consome cerca de 10 milhões de toneladas de trigo por ano, mas produz apenas 3 milhões. Os sete milhões restantes são importados a um custo médio de US\$ 150,00 a tonelada (TOMAZELA, 2002). O grão de trigo é composto de três partes principais: endosperma, casca e germe, que correspondem à cerca de 83%, 14,5% e 2,5% do grão, respectivamente (CIACCO; CHANG, 1986).

Existem vários tipos de trigo e cada espécie possui características diferentes e atua de diversas maneiras quando utilizada na fabricação de pães, bolos, biscoitos, etc. A farinha de trigo é um pó resultante da moagem de grãos de trigo, e é responsável pela estrutura, forma e consistência da massa. A moagem do trigo é um processo mecânico muito complicado e, dependendo do grau de extração, a farinha pode atuar também de diversas maneiras na produção de massas. O grau de extração encontra-se normalmente em torno de 70-75%. Caso

a extração fosse perfeita, a quantidade máxima que se poderia extrair dos grãos seria 85% (porcentagem relativa ao endosperma) (CHEFTEL; CHEFTEL, 1983); (CALVEL, 1987).

De acordo com a Resolução RDC n•263 de 22 de setembro de 2005, “farinha” é o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados. O produto é designado “farinha”, seguido do nome do vegetal de origem: “farinha de mandioca”, “farinha de milho” (BRASIL, 2005a).

RDC n•263 de 22 de setembro de 2005 cita que a farinha de trigo é o produto obtido pela moagem do grão de trigo *Triticum aestivum* L., ou de outras espécies do gênero *Triticum* reconhecidas (exceto *Triticum durum*), beneficiado. A farinha de trigo deve ser fabricada a partir de grãos sãos e limpos, isentos de matéria terrosa, e em perfeito estado de conservação, respeitando as Boas Práticas de Fabricação. Não pode estar úmida, fermentada, nem rançosa. O teor de umidade do produto deve ser regulado pelas Boas Práticas de Fabricação e não deve exceder 15% (BRASIL, 2005a). Além da importância econômica, já que a farinha é comercializada em base úmida, o teor de umidade é um parâmetro relevante devido à sua importância no processamento. A umidade da farinha deve estar em torno de 13% para se obterem resultados satisfatórios. As farinhas com umidade acima de 14% têm tendência a formar grumos e não fluem uniformemente (CIACCO; CHANG, 1986). Segundo a Resolução RDC n•263 de 22 de setembro de 2005, a farinha de trigo deve ter cor branca, com leves tons de amarelo, marrom ou cinza conforme o trigo de origem (BRASIL, 2005a).

A farinha de trigo deve ter propriedades tecnológicas específicas para a fabricação de diferentes produtos. Dentre essas características, uma das principais é a força da massa, que está relacionada à quantidade e qualidade das proteínas formadoras do glúten e à atividade da enzima α -amilase. Os fatores que determinam a qualidade da farinha podem ser inerentes ao trigo, que resultam das condições de cultivo, ou induzidos pelo processamento de conversão do trigo em farinha (PIZZINATO, 1997).

A farinha de trigo, em base seca, é composta por aproximadamente 12% de proteínas, 72 a 78% de carboidratos, 2,5% de lipídios e menos de 0,5% de cinzas (STAUFFER, 1998).

Das quatro principais classes de proteínas presentes no trigo, as albuminas e globulinas representam 15% do total, enquanto as gliadinas e gluteninas constituem os 85% restantes. O glúten é um complexo protéico formado pelas gliadinas e gluteninas, que, quando a farinha é misturada com água, se rearranjam, e, através de ligações formam uma rede com propriedades viscoelásticas (CIACCO; CHANG, 1986). De todos os grãos cultivados, o trigo é praticamente o único cujo conteúdo protéico, o glúten, possui uma propriedade especial de se entrelaçar e formar uma massa forte, coesa, que retém o gás formado durante a fermentação e fornece a característica de esponja sólida aos pães durante o assamento. Muita importância é dada ao nível de proteína, porém a qualidade do glúten que se desenvolve quando se trabalha a massa, embora muito difícil de ser medida, é provavelmente a característica mais importante na fabricação de massas (CHEFTEL; CHEFTEL, 1983). De acordo com Pomeranz (1987), o conteúdo de proteína do trigo está diretamente relacionado ao volume do pão produzido a partir dele.

Algumas análises reológicas foram desenvolvidas buscando medir a qualidade do glúten e elas pertencem basicamente a três grupos principais:

- ✓ as que mostram o efeito da água na consistência da massa e são utilizadas para medir a absorção de água pela farinha;
- ✓ as que estendem uma quantidade de massa até que se rompa para medir sua resistência e extensibilidade;
- ✓ as que aplicam calor medindo a perda de consistência da massa e determinando o valor de sua atividade enzimática.

Equipamentos de testes físicos em massa são utilizados para avaliar características de força e desempenho de farinhas para a fabricação de pães sob condições mecanizadas. O

farinógrafo é um equipamento que registra a potência necessária para misturar farinha a uma velocidade constante. A resistência oferecida à massa pelas pás do misturador é transmitida através de um dinamômetro para uma caneta que traça uma curva resposta. A parte ascendente inicial do gráfico mostra um aumento na resistência com o tempo de mistura e é interpretada como o tempo de desenvolvimento da massa (TDM). O ponto de máxima resistência é geralmente identificado como o desenvolvimento ótimo da massa, e é seguido de uma diminuição na consistência e resistência à mistura. A partir do aparelho obtém-se também a absorção de água (A) que representa a quantidade de água necessária para que a massa atinja a consistência ótima de 500 unidades Brabender (BU). A absorção de água aumenta com o aumento da quantidade de proteína, melhorando a qualidade do glúten. O farinograma também fornece informação a respeito do tempo ótimo de mistura, estabilidade da massa (E), que é o tempo que a massa permanece consistente durante o batimento, e o índice de tolerância à mistura (ITM), que é o tempo decorrido após um intervalo de 5 min do ponto de consistência máxima da massa, para sua perda total (POMERANZ, 1987).

O extensógrafo foi introduzido em 1936 para complementar as informações fornecidas pelo farinógrafo. O extensógrafo é particularmente útil no estudo dos efeitos de oxidantes nas propriedades da massa. Ele mede e registra a resistência da massa à extensão, enquanto é estendida à velocidade constante. Os parâmetros medidos são: resistência à extensão, que é representada pela altura do extensograma em BU, medida 50 mm após o início do ensaio; extensibilidade, que representa quanto a massa estende antes que se rompa; e resistência máxima à extensão (POMERANZ, 1987).

A α -amilase é uma enzima sintetizada nos grãos de trigo no início de sua germinação. Por isso, a atividade de α -amilase na farinha indica que é proveniente de trigo germinado. Essa enzima quebra as moléculas de amilose e amilopectina do amido danificado em cadeias menores, denominadas dextrinas. As dextrinas, por sua vez, são quebradas pela enzima β -

amilase em maltose, que melhora o desempenho da farinha e retarda o envelhecimento do pão. Abaixo de 55°C, a atividade de α -amilase é mínima e depende da quantidade de amido danificado na farinha. Entre 58° e 78°C o amido gelatinizado é atacado rapidamente. Acima dessa faixa de temperatura, a taxa de conversão diminui devido à desnaturação da proteína. Entretanto, teores altos de α -amilase podem provocar a degradação do amido durante o processo de fabricação do pão, afetando de modo negativo a qualidade de cozimento de massas. O método de número de queda (*Falling Number*) é o mais indicado para estimar a atividade da enzima α -amilase em farinhas. Esse método fundamenta-se na rápida gelatinização do amido presente numa suspensão aquosa de farinha, quando submetido a tratamento térmico em banho-maria fervente e na subsequente liquefação do gel formado pela ação da enzima α -amilase presente na amostra. O teste consiste em determinar o tempo que uma haste viscosimétrica leva para afundar até uma determinada profundidade em uma dispersão de farinha aquecida a 100°C. A presença da enzima α -amilase na farinha provoca uma diminuição na viscosidade de sua solução aquosa. Portanto, quanto maior o valor do *Falling Number*, ou seja, quanto maior o tempo que o pino demora a afundar devido à alta viscosidade da solução, menor a atividade da enzima na farinha. A farinha de trigo considerada boa para panificação possui valor de *Falling Number* entre 200 e 400 (CIACCO; CHANG, 1986); (STAUFFER, 1998); (PATERAS, 1998).

A farinha de trigo com 72% de extração possui de 72 a 78% de carboidratos, dos quais o conteúdo de amido varia entre 65 a 71%, aumentando de acordo com o grau de extração da farinha (CIACCO; CHANG, 1986); (D'APPOLONIA et al., 1964). O amido é relativamente inerte durante a mistura, mas participa como um “enchimento” que contribui para o aumento da viscoelasticidade da massa (STAUFFER, 1998).

Na farinha de trigo, aproximadamente 15% dos grãos de amido estão danificados, ou seja, foram deformados durante a moagem e contém rachaduras ou fissuras. Grãos de amido

danificado absorvem aproximadamente 4 vezes mais água que os grãos intactos, aumentando a absorção de água pela massa. Além disso, amido danificado é muito mais suscetível à ação da enzima α -amilase, o que pode modificar as propriedades da massa durante o processamento (STAUFFER, 1998).

O amido é composto principalmente por dois polissacarídeos estruturalmente diferentes: amilose (23%) e amilopectina (77%). A amilose é um polímero essencialmente linear e aparentemente amorfo. A amilopectina é um polissacarídeo ramificado e parcialmente cristalino (PATERAS, 1998). A Figura 3 mostra as estruturas das cadeias de amilose e amilopectina presentes na farinha de trigo.

Figura 3: Estrutura das cadeias de amilose e amilopectina presentes da farinha de trigo

A complexidade do comportamento térmico de amidos deve-se às alterações físico-químicas que ocorrem durante o aquecimento, como a gelatinização, transição vítrea, cristalização, alteração na estrutura cristalina, expansão de volume, degradação molecular e mobilidade de água (YU; CHRISTIE, 2000).

Alguns dos fatores que afetam a gelatinização e dispersão de amidos durante o processamento de alimentos são: umidade, duração do processo e condições térmicas (WANISKA; GOMEZ apud SEETHARAMAN et al., 2002).

A gelatinização do amido em excesso de água durante o aquecimento é resultado de uma série de alterações estruturais. As cadeias de macromoléculas possuem uma orientação que resulta no surgimento de uma fase cristalina e uma distribuição ordenada das regiões cristalinas e amorfas nos grãos de amido. Grãos de amido não são solúveis em água fria, porém, quando aquecidos em um meio aquoso, absorvem água e incham. O entumescimento se torna irreversível com o aumento da temperatura, e a estrutura do grão é alterada significativamente. À medida que a temperatura aumenta, os polímeros de amido vibram vigorosamente, quebrando as ligações intermoleculares e permitindo a incorporação de moléculas de água. A água provoca a separação das cadeias de amido, o que aumenta a desordem dos grãos e diminui o número e tamanho das regiões cristalinas. O aquecimento provoca a perda total de cristalinidade, e a viscosidade do sistema é semelhante à de um sistema semi-sólido. Esse ponto é conhecido como ponto de gelatinização. Como a gelatinização provoca a destruição da estrutura ordenada dos grãos de amido, a entalpia mais baixa do processo é um fator que indica um grau reduzido de ordenação dos grãos. Na gelatinização do amido, espera-se um pico endotérmico entre 50 e 80°C, e a entalpia de transição pode variar de 7 a 11 J/g dependendo da origem do amido e da concentração da suspensão (METTLER-TOLEDO, 1998); (CIEŚLA; ELIASSON, 2003); (PATERAS, 1998).

Processos como o assamento de pão, extrusão de grãos e espessamento de molhos são baseados na gelatinização de amidos. Em alimentos com carboidratos, a calorimetria exploratória diferencial (DSC) é utilizada para a caracterização da gelatinização e retrogradação do amido. Através do DSC é possível determinar propriedades do amido como a razão amido/ água e entalpia de transição (METTLER-TOLEDO, 1998).

Provavelmente, a mudança mais notável na suspensão de amido durante o aquecimento contínuo é o aumento na consistência, ou viscosidade aparente, resultante da dificuldade encontrada pelos grânulos inchados em se movimentarem (D'APPOLONIA et al., 1964).

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é um tipo de análise térmica que mede a diferença entre os fluxos de calor de uma amostra e uma referência sujeitas ao mesmo programa de temperatura. O fluxo de calor corresponde à potência transmitida e é medido em watts (W) ou miliwatts (mW) (METTLER-TOLEDO, 1998).

Medidas de DSC fornecem informações sobre os efeitos térmicos que são caracterizados por uma alteração entálpica e faixa de temperatura, tais como cristalização, transições sólido-sólido e reações químicas (METTLER-TOLEDO, 1998).

A gelatinização do amido é a principal transformação no amido da farinha de trigo que sofre assamento. Por esse motivo, o grau de gelatinização é um parâmetro confiável para descrever o progresso do assamento. Esse processo é muito importante tanto para a textura como para as propriedades nutricionais do produto final: amido gelatinizado pode ser degradado pela amilase, enquanto porções não gelatinizadas podem permanecer quase totalmente não digeridas (FESSAS; SCHIRALDI, 2000).

Com o repouso do gel de amido, a região cristalina cresce, causando o encolhimento do gel e a separação de uma parte da água. Esse retorno da estrutura cristalina é denominado retrogradação. A retrogradação provoca um aumento na rigidez e opacidade do alimento (D'APPOLONIA et al., 1964).

Segundo Seetharaman et al. (2002) a retrogradação do amido corresponde à perda de frescor e aumento da firmeza em produtos de panificação. A preservação de características frescas nesses produtos parece se relacionar inversamente com as alterações no amido.

2.4 Efeitos da irradiação no trigo, farinha e pão

Os raios gama com energia entre 100kV e 10 MeV podem afetar todos os componentes do alimento, ao contrário da radiação ultravioleta, que só afeta os compostos que absorvem energia no comprimento de onda da radiação. A irradiação de alimentos resulta em produtos radiolíticos. No entanto, a maioria dos produtos detectados em alimentos irradiados pode também ser encontrada em alimentos não irradiados, que podem ser originários de outras técnicas de processamento (THOMAS, 1988); (MACARTHUR; D'APPOLONIA, 1982).

A presença de radicais livres como produtos radiolíticos derivados da irradiação é comum em todas as alterações físicas, químicas, biológicas e nutricionais ocorridas em alimentos submetidos a esse processo. Estudos mostraram que existem três espécies de radicais induzidos pela irradiação no trigo, e a irradiação provoca aumento na quantidade desses radicais (KORKMAZ; POLAT, 1999).

Segundo Köksel et al. (1998), além de desempenhar a função de proteção aos alimentos, a irradiação gama tem também efeitos importantes na qualidade de grãos de cereal. Conduziram-se experimentos para estudar os efeitos da radiação gama nos vários aspectos da qualidade do pão de trigo, tais como características de moagem, propriedades da massa e qualidade de panificação (LAI; FINNEY; MILNER, 1959); (LEE, 1959); (NG; BUSHULK; BORSA, 1989). Mudanças químicas, físicas e bioquímicas ocorrem nos constituintes do trigo exposto à radiação gama e essas mudanças dependem da origem do trigo e da dose de irradiação (TIPPLES; NORRIS, 1965).

Paredes-López; Covarrubias-Alvarez (1984) e Rao et al. (1975) reportaram que as propriedades reológicas da massa alteram quando é produzida a partir de trigo irradiado. Em ambos os trabalhos foi reportada uma diminuição na viscosidade da massa produzida a partir de trigo irradiado em relação à massa controle, de trigo não irradiado.

Rosa et al. (2002) utilizaram microondas como um método alternativo para a secagem do trigo branco (*T. Aestivum*, L.). Tratamentos com três minutos de secagem em microondas reduzem significativamente a atividade da enzima devido ao aumento da temperatura do grão (70°C). A eficiência das microondas na inativação da enzima foi comprovada pelo aumento do *Falling Number*. Os resultados no alveograma demonstraram que a relação entre a resistência da massa à deformação (P) e a abscissa média de ruptura (L), ou seja, a relação P/L e a força do glúten dada pela energia de deformação (W) aumentam com o tempo de tratamento por microondas. Estes resultados podem ser explicados, pois quando o dano do amido aumenta, a massa fica mais rígida e o comprimento da curva do alveograma diminui e a altura e a área sob a curva aumentam. Portanto, o condicionamento por microondas é eficiente para inativar a α -amilase, mas causa danos ao glúten, alterando propriedades reológicas importantes como a extensibilidade da massa e induz relações de P/L incompatíveis com a boa panificação.

O efeito de diferentes doses de radiação gama (0,0; 3,0; 4,5; 6,0 kGy) em farinha de trigo foi estudado por Silva; Regitano-d'Arce; Spoto (2002) avaliando-se as características da massa através do farinograma, alveograma, *Falling Number* e análise sensorial da farinha. Os resultados obtidos através do farinograma mostraram que a absorção de água e o índice de tolerância à mistura aumentaram com a dose aplicada, atingindo em ambos os parâmetros, o valor máximo na dose de 6,0 kGy. O tempo de chegada, obtido ainda com a mesma análise, diminuiu com o aumento da dose; e a estabilidade, apesar de manter-se praticamente constante nas doses de 3,0 e 4,5 kGy foi prejudicada pela irradiação na dose de 6,0 kGy. Os parâmetros encontrados no farinograma na dose de 6,0 kGy caracterizaram a farinha inicialmente considerada forte segundo os parâmetros farinográficos, em farinha fraca. Os resultados do alveograma mostraram que a energia de deformação (W) não foi alterada pela dose de 3,0 kGy sofrendo, porém uma queda com o aumento da dose a partir da citada. A

resistência da massa à deformação (P) não foi alterada e a abscissa média de ruptura (L) diminuiu com o aumento da dose. O *Falling Number* sofreu um decréscimo com o aumento da dose, embora nas doses de 3,0 e 4,5 kGy o valor encontrado ainda estivesse dentro da faixa considerada boa para panificação. Por fim, a dose de 3,0 kGy não alterou significativamente nenhuma das características sensoriais, no entanto, as doses de 4,5 e 6,0 kGy apresentaram diferença significativa, de cerca de 5% em todas as características em relação ao controle. Os autores concluem, portanto, que a dose de irradiação de 3,0 kGy não promoveu grandes alterações na farinha e nas suas qualidades tecnológicas podendo ser classificada como ótima para panificação. As doses de 4,5 e 6,0 kGy não devem ser indicadas para irradiação da farinha de trigo pois, nestes níveis suas propriedades tecnológicas são drasticamente afetadas.

MacArthur; D'Appolonia (1983) estudaram os efeitos da irradiação de grão de trigo (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 kGy) nas propriedades da massa. Não foram observadas alterações no conteúdo de proteína, cinzas e umidade. Os valores de *Falling Number* diminuíram com o aumento da dose. A absorção de água pela farinha aumentou levemente com o aumento da exposição à radiação. O tempo de desenvolvimento, estabilidade, extensibilidade e resistência à extensão diminuíram com o aumento da dose.

Argúndez-Arvizu et al. (2005) estudaram os efeitos da radiação gama na dose de 1,0 kGy em farinha comercial mexicana. Os autores observaram que a irradiação não alterou os parâmetros umidade, conteúdo de proteína, e cinzas. Os parâmetros obtidos através de ensaios farinográficos também não foram influenciados pela irradiação, com exceção do tempo de desenvolvimento da massa, que aumentou 29% em relação à amostra controle (não irradiada). O valor de *Falling Number* obtido para a amostra irradiada foi 11% menor do que o da amostra não irradiada. Foram produzidos pães com as farinhas irradiada e não irradiada e não foi observada alteração em seu volume. Conduziu-se também uma análise microbiológica na

farinha, em que foi observada a redução da quantidade total de microrganismos aeróbios, bolores e leveduras.

Paredes-López; Covarrubias-Alvarez (1984) discutem sobre uma controvérsia na literatura a respeito dos efeitos da irradiação em dose baixa e média (até 1 kGy e de 1 a 10 kGy respectivamente) especificamente nas propriedades físico-químicas, tecnológicas e funcionais em pães de trigo. Os autores citam estudos que observaram um aumento da quantidade de açúcares redutores em níveis de até 10 kGy, um aumento no volume do pão de forma em doses de até 2 kGy e deterioração organoléptica de pães manufaturados com trigo ou farinha irradiadas em níveis baixos e médios. Os autores citados estudaram os efeitos da radiação gama sobre as propriedades funcionais e reológicas de duas variedades de trigo: uma média-forte e uma fraca. Neste estudo observou-se que a radiação causou considerável redução no *Falling Number* em doses de 5 a 10 kGy. Para ambas as variedades de trigo, o farinograma mostrou ligeiras diferenças na absorção de água para doses de radiação de até 2 kGy, aumentando significativamente para a dose de 10 kGy. Nos níveis de doses utilizados no estudo há mudanças de leve para média para ambos os trigos em termos de tempo de desenvolvimento e estabilidade de mistura. É interessante notar que uma mudança na curva do farinógrafo é observada em todos os níveis de radiação ao apresentar um segundo pico de desenvolvimento. Com doses de radiação de até 2 kGy, o volume do pão de forma produzido com a farinha média/forte foi praticamente o mesmo, ou apresentou uma ligeira melhora; em todas estas doses, a aparência geral do pão foi avaliada como satisfatória. Por outro lado, o trigo fraco apresentou melhora no desempenho ao assar; e a qualidade geral do pão avaliada como não satisfatória no controle foi alterada para satisfatória ou até muito satisfatória. Para ambos os trigos, doses de radiação de 5 a 10 kGy reduziram em geral a qualidade do pão de forma.

Para a produção de pão, a farinha de trigo deve fornecer à massa determinadas características reológicas, que são dependentes da presença de componentes específicos de amidos e proteínas. Altas doses de irradiação podem afetar essas propriedades funcionais não sendo, portanto, indicadas para a utilização em grãos de cereais (URBAIN, 1986).

De acordo com MacArthur; D'Appolonia (1982), pouca ou nenhuma diferença é observada no desempenho de moagem do trigo depois de tratado com irradiação. No entanto, algumas mudanças ocorrem na farinha. As alterações observadas nas proteínas e amido têm um efeito no produto derivado dessa farinha. Baixos níveis de radiação gama provocam uma melhoria no trigo ou farinha, o que resulta em pães com maior volume.

MacArthur; D'Appolonia (1983) não observaram diferenças significativas no volume de pães produzidos a partir de trigo irradiado em doses de até 3,0 kGy. No entanto, os pães produzidos com farinha de trigo irradiado armazenada durante 6 meses tinham volume menor que o controle (de trigo não irradiado). Os mesmos pães, de farinha armazenada durante 6 meses, apresentaram volume maior que os pães produzidos a partir de farinha de trigo irradiado na mesma dose, mas armazenada durante 1 mês.

Lee (1959) mostrou que há uma diminuição no volume de pães produzidos a partir de farinha de trigo irradiada em doses entre 2,5 e 10,0 kGy. No entanto, doses moderadas (até 2,0 kGy) podem provocar o aumento no volume do pão. Isso pode ser explicado pela produção de açúcares a partir da degradação do amido provocada pela radiação, que aumentam a produção de gás na massa, gerando pães maiores em volume (URBAIN, 1986). Resultados similares foram reportados por Rao et al. (1978), que relataram que o volume do pão aumentou com o aumento da dose de irradiação até 2 kGy. Entretanto, para doses acima de 5 kGy, o volume e outras características do pão foram deteriorados.

Blinic (1959) apud MacArthur; D'Appolonia (1982) reportou que na ausência de açúcar adicionado, requerido para ótima qualidade do pão, baixas doses de irradiação na farinha

forneem, através da quebra do amido, carboidratos fermentáveis que causam o aumento no volume do pão, quando comparado aos produtos assados com farinhas não tratadas e sem aditivos.

Análises químicas conduzidas por Zaied; Abdel-Hamid; Attia (1996) num estudo sobre as características químicas e tecnológicas de pães preparados com trigo irradiado mostraram um aumento na porcentagem de açúcares redutores com a irradiação. Não se observou, no entanto, alteração significativa na quantidade de açúcares não redutores e amido. Ananthaswamy; Vakil; Sreenivasan (1970) observaram que a quantidade de amido danificado no trigo aumentou com o aumento na dose de irradiação, levando ao aumento dos níveis de açúcares redutores. O aumento na quantidade de amido danificado provocou diminuição da viscosidade de gelatinização.

Silva (2003) avaliou os efeitos da irradiação (3,0; 4,5 e 6,0 kGy) na qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa da farinha de trigo. As farinhas irradiadas apresentaram aumento na capacidade de absorção de água com a dose de irradiação, característica que provoca um ganho de rendimento da massa. Porém, a estabilidade e o tempo de desenvolvimento da massa (TDM) diminuíram com o aumento da dose de irradiação, resultando em perda de qualidade. Os lotes de farinha irradiados a 3 e 4,5 kGy, apesar da perda de qualidade, ainda foram classificadas como “fortes”, entretanto, a farinha do lote irradiado a 6 kGy foi considerada “fraca” e não indicada para utilização em panificação. O Índice de Tolerância à Mistura (ITM) não foi alterado pelos tratamentos a 3 e 4,5 kGy, porém apresentou valores desfavoráveis quando a dose de irradiação aplicada foi de 6 kGy. Além disso, a irradiação afetou a atividade da α -amilase na farinha de trigo. Nos tratamentos até 4,5 kGy, a faixa de α -amilase ainda foi considerada ótima para panificação, porém, a amostra irradiada a 6 kGy apresentou valor de baixa atividade da α -amilase, o que produziria pães pesados com baixo volume, miolo úmido e pegajoso.

O trabalho de Fifield; Golumbic; Pearson (1967) sobre os efeitos da radiação gama nas propriedades de panificação do trigo mostrou que doses de 0,1 a 1,75 kGy não têm efeitos imediatos nas propriedades físicas da massa medidas pelo farinógrafo. Durante o armazenamento da farinha, entretanto, houve alteração gradual em algumas propriedades reológicas e na absorção de água. O tempo de desenvolvimento da massa era geralmente maior após seis meses de armazenamento. Esse aumento pode indicar uma melhoria nas propriedades físicas da massa. Os dados do extensógrafo indicaram que as doses de até 1,75 kGy não alteraram significativamente a resistência da massa após 12 meses de armazenamento. Os pães produzidos a partir do trigo irradiado em todas as doses apresentaram boa qualidade. O volume dos pães, absorção e características internas não foram alterados.

Kanemaru et al. (2005) estudaram a influência da radiação gama nas propriedades físico-químicas e reológicas da farinha de trigo. Doses de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy foram aplicadas ao trigo antes e após a moagem. A farinha de trigo irradiada e a farinha obtida de trigo irradiado foram submetidas a análises físico-químicas e reológicas. Os resultados obtidos nos dois casos foram similares. O conteúdo de água variou em torno de $15,6 \pm 0,6\%$ e $15,5 \pm 0,5\%$ para grãos e farinha, respectivamente, e os valores obtidos não apresentaram diferença significativa em relação à dose de irradiação. A ANOVA indicou que as diferentes doses de irradiação não influenciaram o conteúdo de proteína das farinhas irradiada e de trigo irradiado, que variaram em torno de $10,32 \pm 0,41\%$ e $10,54 \pm 0,40\%$. Esses resultados mostram que a irradiação não alterou a eficiência da moagem, que forneceu a mesma taxa de extração. Tanto nos grãos quanto na farinha a irradiação provocou uma diminuição acentuada no valor do *Falling Number* para a dose de 2,0 kGy. Em relação às análises farinográficas, a absorção de água da farinha aumentou com o aumento da dose de irradiação nos grãos de trigo. No entanto, esse efeito não influenciou essa propriedade na farinha irradiada. O

parâmetro extensibilidade medido pelo extensógrafo não apresentou variação significativa para os grãos irradiados, mas diminuiu com o aumento da dose de irradiação na farinha irradiada. O valor da altura máxima obtida na curva de desenvolvimento da massa (H_m), medido pelo reofermentômetro, diminuiu com o aumento da dose de irradiação na farinha e no trigo irradiados. Esse parâmetro está relacionado com o volume do pão, portanto esses resultados sugerem que os pães produzidos a partir de farinha irradiada ou grãos de trigo irradiados teriam volume menor. A irradiação provocou um aumento no coeficiente de retenção, que representa a quantidade de gás retida pela massa ao final da fermentação. Esse parâmetro está relacionado com a qualidade da massa. Então, os resultados sugerem que a irradiação melhora a resistência da rede de glúten.

Sabe-se que a irradiação gama altera as propriedades físico-químicas das macromoléculas em alimentos (KÖKSEL et al., 1998). Resultados contraditórios foram reportados a respeito dos efeitos da irradiação nas proteínas do trigo. Alguns sugerem que a irradiação de trigo resulta na degradação molecular de proteínas (SRINIVAS et al., 1972). Por outro lado, reportou-se que as proteínas do trigo e suas solubilidades não são afetadas pela irradiação (MACARTHUR; D'APPOLONIA, 1983; FIFIELD; GOLUMBIC; PEARSON, 1967).

Köksel et al. (1998) estudaram os efeitos da radiação gama nas proteínas do glúten do trigo. Os resultados mostram que a irradiação provoca um enfraquecimento nas propriedades de mistura da massa de farinha de trigo, e uma diminuição na quantidade de glutenina insolúvel na farinha, ambos acentuados em níveis acima de 10 kGy. De acordo com esse estudo, é provável que o efeito direto da irradiação seja na glutenina, que resulta na deterioração das propriedades reológicas e qualidade funcional.

Chung; Finney; Pomeranz (1967) reportaram que a radiação gama em trigo em doses de até 10 kGy não tiveram efeito na extração da farinha. No entanto, a irradiação alterou as

propriedades reológicas e de panificação da farinha. Os lipídios foram alterados somente em doses muito altas.

Marathe et al. (2002) estudaram os efeitos da irradiação em farinha de trigo em termos das propriedades nutricionais, alterações físico-químicas, qualidade do pão não fermentado, avaliação organoléptica e alteração na qualidade da farinha de trigo estocada à temperatura ambiente durante 6 meses. Não houve alteração significativa no conteúdo de água ou em quaisquer outros macronutrientes.

Os resultados dos estudos de Silva (2003) mostraram que não houve alteração significativa na umidade da farinha em nenhum nível de irradiação. Houve, porém, alterações sutis na coloração: a farinha tornou-se levemente mais escura conforme o incremento na dose de irradiação. Reportou-se que o valor de luminosidade (*L*) da farinha variou de 92,86 para a farinha não irradiada a 92,65 para a farinha irradiada a 6,0 kGy, devido à possível ocorrência da reação de Maillard. Marathe et al. (2002), entretanto, não encontraram nenhuma alteração significativa na cor de farinhas de trigo integrais irradiadas com doses entre 0,25 e 1,0 kGy. MacArthur; D'Appolonia (1983) reportaram uma diminuição progressiva na aceitação da cor dos pães produzidos a partir de trigo irradiado em doses de 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 kGy. Kanemaru et al. (2005) também estudaram a influência da dose de irradiação em trigo na cor da farinha. Observaram apenas leves alterações no parâmetro luminosidade, no entanto, não foi verificada nenhuma tendência.

No estudo sobre o efeito da radiação gama nas propriedades de panificação no trigo, Rao et al. (1975) citam além dos dados reportados, estudos de outros especialistas que, utilizando uma formulação rica, demonstraram que não existe diferença de desempenho no assamento de pães produzidos de farinha irradiada nas mesmas doses dos citados. Os autores afirmam que há coerência nos estudos ao constatar que doses acima de 5 kGy, independentemente do tipo de formulação usada nos pães, causaram uma redução no seu

volume e pioraram sua qualidade no assamento. Em seus experimentos, os autores irradiaram dois tipos de trigo com teores diferentes de proteína e observaram as mesmas tendências para ambos os casos. O farinograma demonstrou que a absorção de água aumentou enquanto que a estabilidade da massa diminuiu com o acréscimo da irradiação. O mixograma mostrou similar redução na estabilidade da massa e no tempo de mistura com o aumento da dose de irradiação. Testes físicos indicaram que tanto 2 quanto 10 kGy de irradiação alteraram as propriedades da farinha, porém apenas com 10 kGy observou-se dano suficiente para impactar negativamente a absorção de umidade no assamento. O volume e os alvéolos do miolo do pão manufaturado com farinha de trigo irradiado diminuíram quando a dose de irradiação aumentou de 2 para 10 kGy. Os grãos do miolo do pão foram satisfatórios a 2 kGy, mas em doses mais altas foram danificados. Segundo o autor, a diminuição do volume dos pães produzidos a partir de trigo irradiado pode ser atribuída principalmente à destruição das proteínas do glúten.

De acordo com Urbain (1986), a irradiação pode ser aplicada tanto aos ingredientes quanto ao produto, com o objetivo de desinfestar produtos de panificação. Irradiação de pão à dose de 5,0 kGy suprime o crescimento de mofo durante várias semanas. Com a irradiação do pão a 65°C, ou aquecendo-o antes ou após a irradiação, a dose pode ser reduzida a 0,5 kGy. Geralmente, essas doses não reduzem a aceitação do consumidor.

As alterações que podem ocorrer em carboidratos resultam da influência do ar e água e das reações associadas com a radiólise (THOMAS, 1988). A irradiação gama induz transformações físico-químicas nos grãos de amido. A destruição das ligações e decomposição de macromoléculas acompanhada pelo surgimento de macromoléculas de cadeias menores são as principais reações que ocorrem sob influência da irradiação (GHALI et al., 1979 apud CIEŚLA; ELIASSON, 2002).

Os processos de gelatinização e retrogradação podem ser influenciados pelas possíveis alterações nas moléculas de amido ou imediações causadas pela degradação resultante da

irradiação gama (CIEŚLA; ELIASSON, 2003). Cieśła; Eliasson (2003) estudaram, através de DSC, a influência da irradiação gama na gelatinização e transformação do complexo amilose-lipídio que ocorrem no amido de trigo puro. A irradiação foi aplicada a uma dose relativamente alta (30 kGy) a fim de aumentar sua influência. Através do DSC encontraram-se diferenças entre as amostras controle e irradiada de amido de trigo em relação à gelatinização, retrogradação e transição do complexo amilose-lipídio. Essas diferenças revelaram as alterações estruturais ocorridas nos polissacarídeos do amido após a irradiação. A transição do complexo amilose-lipídio do amido irradiado ocorre à temperatura mais baixa e com menor entalpia em relação à amostra controle, o que explica o rearranjo na estrutura dos complexos decorrente da irradiação. Rao et al. (1975) reportaram que a viscosidade de gelatinização diminuiu com o aumento da dose de irradiação em trigo irradiado a 0,2; 2,0 e 10,0 kGy, aparentemente devido ao aumento da susceptibilidade do amido à amilase provocado pela irradiação. Os resultados indicaram que as doses de 2,0 e 10,0 kGy aplicadas ao trigo afetaram as propriedades reológicas da farinha, mas só a 10 kGy houve dano suficiente para prejudicar o assamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Kang et al. (1999) e Ananthaswamy; Vakil; Sreenivasan (1970). Segundo esses últimos autores, no endosperma do trigo, devido ao tratamento de irradiação, o amido é degradado em oligossacarídeos que são mais suscetíveis à hidrólise enzimática. Marathe et al. (2002) reportaram que a quantidade de amido danificado aumentou com o aumento da dose de irradiação de 0,25 a 1,00 kGy, provocando aumento nos níveis de açúcares redutores e diminuição da viscosidade de gelatinização.

MacArthur; D'Appolonia (1984) estudaram os efeitos de baixas doses de irradiação de trigo (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 kGy) nas propriedades do amido. Reportaram que a irradiação provocou um aumento da viscosidade de gelatinização, e, com o aumento da dose, o pico de

viscosidade foi atingido antes. Os valores das alturas dos picos diminuíram com o aumento da dose, o que pode indicar uma diminuição na taxa de retrogradação.

Cieřla; Eliasson (2002) conduziram estudos em que se observa menor entalpia de gelatinização numa amostra de amido de batata irradiada a uma dose de 20 kGy em relação a uma amostra controle não irradiada, o que indica uma diminuição na ordenação das macromoléculas amilose e amilopectina devido à irradiação. Além disso, mostrou-se que as alterações estruturais provocadas pela irradiação diminuem a possibilidade do amido irradiado associar-se à água, resultando em menores índices de cristalização para amostras irradiadas em relação às não irradiadas.

Estudos mostraram que a digestibilidade enzimática do amido de batata aumentou com a dose de irradiação até a dose de 10 kGy (THOMAS, 1988).

Lewandowicz; Jankowski; Fornal (2000) estudaram os efeitos da radiação por microondas nas propriedades físico-químicas e estruturais do amido de trigo. A radiação por microondas provocou maiores temperaturas de gelatinização e uma diminuição na solubilidade e cristalinidade.

2.5 Aceitação dos pães produzidos a partir de trigo e farinha irradiados

Zaied; Abdel-Hamid; Attia (1996) estudaram a aceitação de pães produzidos a partir de farinha de trigo irradiada em doses de 2, 4 e 8 kGy. As amostras irradiadas a 4 e 8 kGy apresentaram índices de aceitação mais baixos, mas ainda assim foram consideradas aceitas.

Avaliações sensoriais de pão doce preparado com trigo irradiado (0,2 – 10,0 kGy), revelaram que apesar de não serem observadas alterações de características sensoriais em doses até 2,0 kGy, em altas doses, a preferência do consumidor foi baixa devido à casca escura e um *off-flavour* peculiar dado pela irradiação. O tratamento por irradiação foi efetivo na desinfestação do trigo, porém gerou certas alterações na farinha (RAO et al., 1978). Rao et

al. (1975) reportaram que pães produzidos a partir de trigo irradiado a 10 kGy apresentaram cores da casca e miolo escuras e sabor peculiar.

Lai; Finney; Milner (1959) relataram que o uso da irradiação em trigo em doses entre 1,0 e 10,0 kGy provoca deterioração no sabor dos pães proporcionalmente à dose.

Fifield; Golumbic; Pearson (1967) observaram que pães produzidos a partir de trigo irradiado em doses de até 1,75 kGy apresentaram odor de queimado durante o assamento. No entanto, uma avaliação com provadores treinados mostrou que não foram encontradas diferenças significativas no odor e sabor dos pães prontos.

Marathe et al. (2002) mostraram em seu estudo que pães não fermentados produzidos a partir de farinha de trigo irradiada a 1 kGy tiveram aceitação levemente mais baixa que a amostra controle (pães de farinha não irradiada). No entanto, após 3 meses de armazenamento da farinha à temperatura ambiente, a aceitação das amostras controle diminuiu significativamente em relação à das amostras irradiadas, que obtiveram melhor aceitação. Após 6 meses de estocagem as amostras irradiadas a 0,25 kGy ainda apresentavam alta aceitação, enquanto que as amostras controle já haviam deteriorado.

Estudos mostraram que pães produzidos com farinha de trigo irradiada à dose de 0,75 kGy tiveram um aumento de 50% em sua vida útil, mesmo à temperatura de 30°C. (URBAIN, 1986).

Doses baixas de irradiação (aproximadamente 0,5 kGy) produzem pouca ou nenhuma alteração no odor ou no aroma. O contrário, no entanto, pode ocorrer com doses mais altas. A estocagem da farinha por um período após a irradiação pode diminuir esse efeito em pães (URBAIN, 1986).

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Trigo, da variedade *Triticum aestivum* L., procedente da Argentina, foi fornecido pelo Moinho Pacífico Ind. e Com. Ltda.. Foram fornecidos pelo Moinho 60 kg de grãos de trigo.

Os outros ingredientes utilizados para a manufatura dos pães foram: água destilada, sal refinado extra iodado tradicional (Cisne), fermento biológico seco (Hollandia Instant Yeast, DSM Bakery Ingredients), gordura vegetal hidrogenada (Bunge), açúcar refinado (União), amido de milho (Maizena), polisorbato Poli80 Aline 800K (Oxitenor Nordeste M. Cassab), ácido ascórbico p.a., enzima alfa-amilase, Grindamyl A 500-B (Danisco), estearoil-lactilato de cálcio (CSL), Grindsted CSL P 2522 (Danisco).

3.2 Metodologia

A parte experimental do trabalho constituiu de uma matriz de experimentos na qual a irradiação em 4 doses (0, 0,5, 1,0 e 2,0 kGy) foi aplicada no trigo antes da fabricação da farinha de trigo, conforme ilustrado na Figura 4. Os experimentos foram conduzidos de um mesmo lote de trigo.

Figura 4: Diagrama de blocos das etapas do projeto de pesquisa.

O processo de irradiação e a moagem do trigo foram realizados em escala de laboratório.

O trigo, doado pelo Moinho Pacífico, proveniente da Argentina e sem nenhuma aditivação, foi dividido em quatro grupos de 15 kg, fracionado em porções de 0,5 kg e acondicionado em sacos de polietileno. Os níveis de irradiação citados acima foram aplicados, sendo o nível zero, ou seja, a amostra sem tratamento por irradiação, considerada como controle. Cada porção de 15 kg de trigo recebeu uma dose de irradiação. A irradiação do trigo foi realizada no CTR (Centro de Tecnologia das Radiações) do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), à temperatura ambiente. Utilizou-se a fonte de Co^{60} Gamma cell AECL procedente do Atomic Energy of Canadá Ltd. com taxa de dose atual de 4,29 kGy/h. A uniformidade de dose é a razão entre as doses máxima e mínima absorvidas pelo alimento irradiado, e é medida através de dosímetros que são espalhados pelo alimento enquanto é irradiado (DIEHL, 1995). A uniformidade de dose dada pelo fornecedor do equipamento é de

1,15 e a dosimetria foi acompanhada pelo Laboratório de Dosimetria do CTR do IPEN, sob orientação da pesquisadora Dra. Susy F. Sabato. O Laboratório de Dosimetria está num programa de comparação IDAS (International Dosimetry Assurance System) da IAEA (International Atomic Energy Agency), Viena (ÁUSTRIA, 2004). O desvio das medições realizadas pelo laboratório em relação às realizadas pelo IAEA foi de 1%, enquanto a tolerância é de até 5%. Os níveis de irradiação foram definidos de acordo com os resultados obtidos por Hilsenrath (2005).

Após o tratamento por irradiação, o trigo foi hidratado com água destilada, com homogeneização realizada na Maseira (Supremax, modelo AL-25 IM) até atingir umidade de 15%.

O trigo irradiado foi moído em farinha no moinho experimental (Brabender Quadrumat) existente no Laboratório de Controle de Qualidade do Moinho Pacífico.

Após o término do processo de irradiação e moagem, foram conduzidas as análises biológicas, físico-químicas, reológicas, entálpicas e microbiológicas nas amostras de farinha, e análises nos pães produzidos a partir dessa farinha. Foram realizadas duas repetições em todas as análises.

A farinha foi armazenada em condições ambientes, ao abrigo da luz durante todo o período do estudo.

Das amostras da farinha obtida do trigo irradiado nas diferentes doses e não irradiado (controle) foram manufaturados pães tipo francês com formulação e processo comerciais, e determinados seus parâmetros físico-químicos e de textura. Dados de desempenho da massa também foram obtidos.

A partir das farinhas de trigo não irradiado e irradiado nas doses de 1,0 e 2,0 kGy foram produzidos pães tipo francês, e análise sensorial foi conduzida para verificar, segundo a percepção dos provadores, se o processo de irradiação provoca alteração no sabor do pão.

3.2.1 Análises na farinha de trigo

3.2.1.1 Análises físico-químicas

- A umidade foi determinada de acordo com o método AACC 45-15A através do equipamento AND Infrared Moisture Determination Balance AD-4714A (ESTADOS UNIDOS, 1995), sob as seguintes condições: amostra de 5 g a $T = 130^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos. A análise foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Cereais da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, sob orientação da técnica Alessandra Silva Coelho;
- A quantidade de proteína total foi determinada através do método semi-micro Kjeldahl, baseado no método AACC 46-13 (ESTADOS UNIDOS, 1995);
- Os parâmetros absorção de água (A), tempo de chegada (T_C), tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade (E) e índice de tolerância à mistura (ITM) foram determinados através de análise em Farinógrafo – método AACC 54-21 realizado no equipamento Brabender OHG Duisburg (ESTADOS UNIDOS, 1995) no Laboratório de Tecnologia de Cereais sob orientação da técnica Alessandra Silva Coelho;

A massa de farinha utilizada para o teste é corrigida de acordo com o resultado de umidade através da Tabela de correção de massa da farinha – método AACC 82-23 (ESTADOS UNIDOS, 1995). A duração do teste foi de 20 min.

A Figura 5 mostra um exemplo de um farinograma, curva que mede a consistência da massa (em Unidades Farinográficas) em função do tempo (em minutos), através do qual obtêm-se os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da farinha de trigo:

Figura 5: Exemplo de um farinograma

- ✓ Absorção de água (A): quantidade de água requerida para que a massa atinja a consistência ótima de 500 UF;
- ✓ Tempo de chegada (T_C): tempo requerido para que o topo da curva alcance a linha de 500 UF a partir do início da adição de água, e indica a velocidade de absorção da água pela farinha;
- ✓ Tempo de desenvolvimento (TDM): tempo requerido para que a curva atinja o ponto máximo a partir do início da adição de água;
- ✓ Tempo de saída (T_S): tempo requerido para que o topo da curva deixe a linha de 500 UF a partir do início de adição de água;
- ✓ Estabilidade (E): Intervalo de tempo no qual o topo da curva permanece acima da linha de 500 UF;
- ✓ Índice de tolerância à mistura (ITM): diferença de consistência da massa entre o topo da curva no ponto máximo e o topo da curva 5 min após o ponto máximo ter sido atingido. Esse valor é inversamente proporcional à tolerância da farinha à mistura;

- A cor, avaliada por reflectância, foi determinada através de análise objetiva realizada no colorímetro Color Quest XE (Hunter Lab), que analisa a cor do produto analogamente à análise realizada pelo olho humano. Essa análise é a mais utilizada para a avaliação de cor de alimentos. A escala utilizada foi a Hunter L, a, b, que mede as três dimensões da cor: L, que representa o eixo da luminosidade, que vai de 0 (preto) a 100 (branco); a, que representa o eixo vermelho-verde (valores positivos são vermelho, valores negativos verde, e 0 é neutro); e b, que representa o eixo amarelo-azul (valores positivos são amarelo, valores negativos azul, e 0 é neutro). O módulo de calibração utilizado foi reflectância especular excluída (RSEX), com uma fonte de iluminação D65 e ângulo visual de 10°. A metodologia utilizada está de acordo com a recomendação do fabricante do equipamento (HUNTERLAB, 2004). A Figura 6 mostra uma foto do equipamento utilizado.

Figura 6: Foto do colorímetro Color Quest XE

- O parâmetro *Falling Number* foi determinado através da metodologia ICC Standard nº107/1 no equipamento *Falling Number* 1800 (Perten Instruments) (ÁUSTRIA, 1995);

3.2.1.2 Análises reológicas

- Os parâmetros resistência à extensão (R), resistência máxima (R_M), extensibilidade (E) e o número proporcional D (relação R/E) foram determinados de acordo com o método AACC 54-10 através de análise em Extensógrafo realizada no equipamento Brabender OHG Duisburg (ESTADOS UNIDOS, 1995);

A massa testada no extensógrafo foi preparada no farinógrafo empregando-se a seguinte formulação: massa de farinha corrigida de acordo com a umidade através da tabela do método AACC 83-23 (ESTADOS UNIDOS, 1995), 2% de sal, e água requerida para obtenção de consistência de 500 UF. Nesse ensaio, a massa preparada descansou durante intervalos de tempo de 45, 90 e 135 min, ao final dos quais foi submetida ao teste de extensão.

A Figura 7 mostra um exemplo de um extensograma, curva que mede a resistência da massa (em Unidades Extensográficas) em função do tempo (em minutos), através do qual obtêm-se os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da farinha de trigo:

Figura 7: Exemplo de um extensograma

- ✓ Resistência à extensão (R): altura da curva a 50mm da origem;
- ✓ Resistência máxima (R_M): altura máxima da curva;

- ✓ Extensibilidade (E): comprimento do extensograma. Esse parâmetro indica quanto a massa foi estendida, em relação ao seu comprimento original, antes de romper-se;
- ✓ Número proporcional ($D = R/E$): relação entre a resistência à extensão e extensibilidade. Valores altos de D indicam tendência da massa a encolher, enquanto valores baixos indicam tendência da massa a fluir;
- Os parâmetros desenvolvimento da massa e capacidade de retenção de gás da massa foram determinados através de análise no Reofermentômetro Chopin, modelo F3. A Figura 8 mostra uma foto do equipamento utilizado.

Figura 8: Foto do Reofermentômetro utilizado

A massa foi preparada de acordo com o protocolo do próprio equipamento:

- ✓ Ingredientes: 250 g de farinha de trigo

3 g de fermento seco

5 g de sal

Hidratação de acordo com resultados farinográficos de absorção

- ✓ Temperatura do teste: 32,0°C
- ✓ Duração do teste: 180min

A curva de desenvolvimento da massa fornecida pelo aparelho é obtida a partir de dados fornecidos em intervalo de tempo regular por um sensor ótico. A partir dessa curva determinam-se os seguintes parâmetros:

H_m : Altura máxima do desenvolvimento da massa sob compressão;

T_1 : Tempo em que a massa atinge a altura máxima H_m ;

h : Altura do desenvolvimento da massa ao final do teste;

A partir desses parâmetros calcula-se o coeficiente de enfraquecimento:

$$WC = (H_m - h)/H_m$$

A Figura 9 mostra um exemplo de curva de desenvolvimento de massa fornecida pelo Reofermentômetro:

Figura 9: Exemplo de curva de desenvolvimento de massa

A curva de liberação de gás é obtida através da conversão de ciclos de medida de pressão realizada por um circuito pneumático, através da qual é possível determinar a quantidade total de gás carbônico produzido e retido pela massa. A partir dessa curva são obtidos os seguintes parâmetros:

H'_m : Altura máxima da curva de geração de CO_2 ;

T'_1 : Tempo necessário para que a massa atinja H'_m ;

T_x : Tempo necessário para o aparecimento de porosidade na massa, ou início da liberação de gás;

V_T : Volume total de gás produzido pela massa;

V_R : Volume de gás retido pela massa;

V_L : Volume de gás liberado pela massa;

O coeficiente de retenção é a razão entre o volume retido e o volume total produzido: $RC = (V_R/V_T)$

A Figura 10 mostra um exemplo de curva de liberação de gás fornecida pelo Reofermentômetro.

Figura 10: Exemplo de curva de liberação de gás

- Os parâmetros resistência à extensão e extensibilidade da massa foram determinados em análises realizadas no Texturômetro TA-XT2-i (SMS) com o acessório A/KIE conforme descrito no método DOU1/KIE (SMS, 1995);

As análises foram realizadas em amostras de massa fresca, preparadas de acordo com a formulação utilizada no ensaio do Reofermentômetro. Os testes foram realizados no modo “Measure Force in Tension” sob as seguintes condições:

- Velocidade do pré-teste: 2,0 mm/s;
- Velocidade do teste: 3,3 mm/s;
- Velocidade do pós-teste: 10,0 mm/s;
- Distância: 75 m;
- Gatilho: Auto - 5 g (ponto inicial da análise, quando o acessório encontra uma resistência igual ou superior a 5 g).

A preparação da amostra para o teste consiste em comprimir a massa durante 40 minutos em estufa a 30°C, em forma de teflon apropriada para separá-la em tiras. As tiras de massa são submetidas ao teste. Para cada ensaio, descartaram-se as 2 tiras de cada extremidade da forma, e 15 tiras de massa foram submetidas ao teste. Ao final do teste foi calculada a curva média das 15 tiras, para cada replicata de cada dose de irradiação. A Figura 11 apresenta uma amostra de massa sendo submetida ao teste no analisador de textura TA-XT2i.

Figura 11: Analisador de textura TA-XT2i utilizando acessório A/KIE

O teste consiste em submeter as tiras de massa à extensão até que se rompam. Através da curva de força em função da distância gerada, obtêm-se parâmetros como resistência à extensão (N) e extensibilidade da massa (mm).

3.2.1.3 Análises entálpicas

A calorimetria exploratória diferencial é uma técnica que mede a diferença de quantidade de energia entre uma amostra e uma referência termicamente inerte, enquanto ambas são aquecidas a uma taxa constante. Alterações na quantidade de energia da amostra são provocadas por transições entálpicas exotérmicas ou endotérmicas. Qualquer fenômeno que produza uma variação entálpica ou variação na capacidade térmica (transição de segunda ordem) pode ser detectado por técnicas de DSC (“Differential Scanning Calorimetry”). O equipamento fornece uma curva do fluxo de calor em função da temperatura, e consiste numa série de picos voltados para cima ou para baixo, de acordo com a entalpia da reação (CHARSLEY; WARRINGTON, 1992).

As análises térmicas foram realizadas no CQMA-IPEN (Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN) com a colaboração dos pesquisadores Dr. Ademair B. Lugão e Dra. Duclerc F. Parra, utilizando o equipamento DSC 822^e Module (Mettler-Toledo). Foram utilizados cadinhos de média pressão selados, de aço inox e 120 µL de capacidade, apropriados para materiais biológicos. O equipamento de DSC foi calibrado com In (m.p. 156,61°C; $\Delta H = 28,54$ J/g).

No DSC, suspensões produzidas de farinha de trigo irradiado e não irradiado foram submetidas a um programa de temperatura denominado ciclo de aquecimento, utilizando um cadinho idêntico, porém vazio como referência. O ciclo de aquecimento possibilita a observação de eventos como a gelatinização do amido e a fusão de gordura.

As amostras consistiam de uma suspensão de farinha de trigo em água, contendo 80% de água. As suspensões foram preparadas misturando-se manualmente 40g de água e 10g de farinha. Foi utilizada a suspensão somente contendo farinha e água para que somente o efeito da irradiação sobre a gelatinização do amido fosse observado. Para cada ensaio utilizou-se uma porção de suspensão, colocada dentro do cadinho de aço inox para ser submetida ao ciclo de aquecimento. A massa de suspensão utilizada para cada repetição em cada dose está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Massa de suspensão de farinha utilizada em cada ensaio de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Repetição	Massa (mg)
0,0	1	89,8
	2	82,7
0,5	1	117,3
	2	110,0
1,0	1	88,7
	2	89,0
2,0	1	97,7
	2	95,0

No ciclo de aquecimento, a temperatura variou entre 20°C a 120°C, à taxa de aquecimento de 2,5°C/min. Em seguida, as massas foram resfriadas a 20°C à taxa de 10°C/min. A metodologia utilizada foi baseada no estudo realizado por Berland; Relkin; Launay (2003).

Através do programa do equipamento, STARE Software, foram obtidas as curvas DSC para os ciclos de aquecimento, expressas em entalpia (W/g) em função da temperatura (°C).

3.2.1.4 Análises microbiológicas

- As análises citadas abaixo foram realizadas pelo Laboratório de Análises de Alimentos Cerelab, de acordo com a metodologia descrita na Portaria nº1, de 7 de outubro de 1981 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1981). Os padrões microbiológicos sanitários para alimentos são citados na Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001a).
 - coliforme a 35°C;
 - coliforme a 45°C;
 - *Salmonella* spp.;
 - *Bacillus cereus*;
 - Bolores e leveduras;
 - *Estafilococcus coagulase* positiva;

Essas análises foram conduzidas na farinha produzida a partir do trigo irradiado e não irradiado, e realizada a cada 30 dias durante um período de armazenamento de 90 dias.

3.2.2 Fabricação do pão francês

O processo de produção do pão francês consistiu das seguintes etapas:

- Formulação: os ingredientes foram utilizados em quantidade igual para todos os ensaios, exceto a quantidade de água, que foi adicionada de acordo com os resultados de absorção de água da farinha. A formulação utilizada foi a seguinte (valores em porcentagem em relação à quantidade de farinha, em massa):
 - farinha de trigo;
 - água destilada (de acordo com os resultados de absorção de água: 57,6; 57,9; 58,0 e 57,9% para as doses de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy, respectivamente);
 - sal (2%);

- fermento biológico liofilizado (1%);
- açúcar (1%);
- gordura vegetal hidrogenada (2%);
- melhorador (0,98%) – (40 g de amido de milho, 8,4 g de polisorbato 80, 0,6 g de ácido ascórbico, 3 g de CSL e enzima α -amilase*);

* A dosagem da enzima α -amilase foi calculada, para cada dose de irradiação do trigo, de acordo com o resultado da análise de *Falling Number*. De acordo com o gráfico de dosagem recomendada em função do valor de *Falling Number*, fornecido na especificação do produto pela Danisco, a quantidade de enzima foi acrescentada no melhorador, para cada dose de irradiação, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Dosagem recomendada de enzima na formulação do pão

Dose (kGy)	Quantidade de enzima no melhorador (g)
0,0	1,342
0,5	1,235
1,0	1,128
2,0	0,483

- Mistura: todos os ingredientes foram misturados e batidos em masseira (Supremax, modelo AL-25 IM) de duas velocidades com capacidade para 25 kg de farinha. O tempo de amassamento foi determinado pelo ponto de véu (ponto em que a massa se torna lisa e elástica);
- Descanso: a massa foi deixada em descanso por 20 minutos;
- Divisão: a massa foi dividida em peças de aproximadamente 60 g em divisora contínua (Supremax, modelo DR);
- Modelagem: as peças foram modeladas em modeladora contínua (Supremax, modelo MC-50);

- Fermentação: a massa foi colocada em uma câmara de fermentação Degânia com controle de temperatura de 20 a 120°C e dispositivo umidificador, a aproximadamente 32° durante 1 hora. Após a retirada dos pães da câmara de fermentação, eles foram deixados à temperatura ambiente durante 40 minutos;
- Assamento: foi realizado em forno turbo (Degânia, modelo Turbo 4), com controle de temperatura de 40 a 320°C e dispositivo de vaporização a uma temperatura de 250°C por aproximadamente 10 minutos, até a casca atingir a coloração castanho-dourada;
- Resfriamento: os pães preparados foram resfriados em armário fechado móvel para 20 bandejas, marca Induspan;

3.2.3 Avaliação do pão francês

3.2.3.1 Análises físicas

- Massa: através de medida direta com o valor médio de dois pães, em Balança semi-analítica (Mettler Toledo, modelo PB 8001-S);
- Volume: medido através do método de deslocamento de sementes de painço no Medidor de Volume (Chopin, modelo 206), previamente calibrado. Foi determinado o valor médio de quatro pães, em triplicata;
- Volume específico: calculado através da relação entre volume e massa;
- Umidade do pão: os pães foram preparados de acordo com a metodologia AACC 62-05 e a medida da umidade foi realizada em estufa a 130°C (FANEM, modelo Orion 515C) segundo metodologia AACC 44-15A. (ESTADOS UNIDOS, 1995).

3.2.3.2 Análise de textura

A textura pode ser definida como a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas, e de superfície de alimentos, detectada através dos sentidos da visão, audição e tato. A textura é uma propriedade sensorial e, portanto, só um ser humano pode perceber e descrevê-la. Os instrumentos de análise de textura podem detectar e quantificar somente alguns parâmetros físicos, que devem ser interpretados em termos de percepção sensorial. Como método instrumental, a análise de textura envolve a compressão da substância a ser testada e quantificação dos parâmetros mecânicos através da curva força/deformação. Alguns dos parâmetros de textura, como dureza, firmeza e maciez estão na escala de resistência do alimento à aplicação de forças compressivas. Sensorialmente, a firmeza de um alimento é entendida como a força requerida para comprimir uma substância entre os dentes molares (SZCZENIAK, 2002). A firmeza do miolo é a propriedade de textura que atrai maior atenção à avaliação do pão devido à sua próxima associação à percepção humana de frescor (CARR; TADINI, 2003).

A análise de textura do pão foi realizada pelo equipamento texturômetro TA-TX2-i (SMS) com o probe cilíndrico de 36 mm de diâmetro (P/36R), de acordo com o método de simples compressão AACC 74-09 (ESTADOS UNIDOS, 1995).

As análises foram realizadas no pão pronto, dentro do período de 1 hora após o assamento. Para a preparação das amostras, os pães foram cortados com faca, em fatias de 25 mm de espessura, e as extremidades do pão foram descartadas. Para cada análise foi utilizada uma fatia, e as amostras foram posicionadas no equipamento, de modo que o probe comprimissem apenas o miolo do pão. Para cada dose foram feitas análises de 7 fatias de pão. Os testes foram realizados no modo “Measure Force in Compression” sob as seguintes condições:

- Velocidade do pré-teste: 1,0 mm/s;

- Velocidade do teste: 1,7 mm/s;
- Velocidade do pós-teste: 10,0 mm/s;
- Distância: 75 mm;
- Deformação: 40%;
- Gatilho: Auto - 5 g (ponto inicial da análise, quando o acessório encontra uma resistência igual ou superior a 5 g).

O equipamento fornece um gráfico de força em função do tempo, cujo exemplo está representado na Figura 12.

Figura 12: Exemplo de curva de textura do pão, em método de simples compressão.

O probe comprime a amostra até a compressão de 40% de sua altura (ou 10mm de profundidade), e em seguida desprende da amostra e retorna à posição inicial. O parâmetro firmeza do pão é definido no método como a força requerida para deformar 25% da amostra.

3.2.3.3 Análise sensorial

Para a análise sensorial dos pães produzidos a partir das farinhas de trigo não irradiado e de trigo irradiado, realizou-se o Teste de Diferença Triangular. Esse teste é utilizado para descobrir se há diferença sensorial significativa entre dois produtos diferentes. O teste consiste em apresentar ao provador três amostras simultaneamente, sendo uma diferente das outras duas. O provador deve assinalar na ficha entregue juntamente com as amostras qual delas é a diferente das demais. O provador deve assinalar uma das amostras mesmo que não consiga detectar a diferença (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1987). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normatiza, na NBR 12995, o Teste Triangular em Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas.

A partir de pães produzidos com as farinhas de trigo não irradiado, irradiado a 1,0 kGy e 2,0 kGy, foram conduzidas duas análises, uma para verificar se havia diferença significativa entre os pães de 0,0 e 1,0 kGy, e outra entre os de 0,0 e 2,0 kGy.

Quarenta e seis provadores não treinados, em sua maioria professores, funcionários e alunos da USP, sendo 21 homens e 25 mulheres, participaram na análise. O número de provadores que participaram da análise foi estimado de acordo com o número recomendado por Meilgaard; Civille; Carr (1987) para o teste triangular, de aproximadamente 40 provadores. As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no período de 2 horas após a fabricação dos pães, em cabines individuais apropriadas, com luz branca. As amostras a serem analisadas consistiam de fatias do pão francês de aproximadamente 2,0 cm de espessura, cortadas com faca. As extremidades do pão foram descartadas. Os provadores receberam uma bandeja com as três amostras a serem analisadas, um copo de água e uma ficha, cujo exemplo está apresentado na Figura 13. Nas fichas os provadores deveriam informar o sexo, idade, frequência de consumo e se gostavam de pão francês. As três amostras eram entregues de uma

só vez ao provador, mas deveriam ser provadas na ordem apresentada, para minimizar erros provocados por possível ocorrência de sabor residual ou fadiga sensorial. Após o término da primeira análise (pães de trigo não irradiado e irradiado a 1,0 kGy), os provadores permaneciam na cabine para a segunda análise (pães de trigo não irradiado e irradiado a 2,0 kGy). Após o término das análises os provadores receberam dois bombons como brinde pela participação.

As amostras foram codificadas com números de 3 dígitos e apresentadas aos provadores em ordem aleatória para minimizar possíveis erros. A escolha dos códigos foi realizada de acordo com a metodologia sugerida por Meilgaard; Civille; Carr (1987), através da Tabela de ordem aleatória de dígitos de 1 a 9: divididos em grupos de três colunas.

Nome: _____		nº: _____
1. Sexo: ☐ feminino ☐ masculino 2. Idade: ☐ 18 – 35 ☐ 36 – 50 ☐ acima de 50 3. Você gosta de pão francês? ☐ sim ☐ não 4. Você consome pão francês: ☐ nunca ☐ raramente ☐ 1 vez por semana a 1 vez por mês ☐ diariamente		
<p>Você está provando amostras de pão francês. Duas delas são iguais, e uma é diferente. Por favor, prove as amostras da esquerda para a direita, e circule o código da amostra diferente.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> 857 542 396 </div>		
Observações: _____ _____		

Figura 13: Exemplo da ficha apresentada aos provadores para análise sensorial

3.2.4 Forma de análise dos resultados

Todos os resultados obtidos foram tratados estatisticamente através de análise de variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey no intervalo de confiança de 95%, utilizando-se o pacote estatístico STATGRAPHICS PLUS v. 4.0 for Windows (Manugistics).

4 Resultados e discussão

4.1 Análises na farinha de trigo

4.1.1 Análises físico-químicas

4.1.1.1 Umidade

A Tabela 3 apresenta as médias dos resultados da análise de umidade das amostras de farinha de trigo não irradiado e irradiado nas diferentes doses.

Tabela 3: Médias dos resultados de umidade de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Umidade (%)
0,0	15,2 ^a ± 0,2
0,5	14,8 ^a ± 0,1
1,0	15,1 ^a ± 0,1
2,0	15,0 ^a ± 0,3
DMS ¹	0,8

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores de umidade obtidos para a farinha estão de acordo com os obtidos no trabalho de Kanemaru et al. (2005), embora no limite do recomendado pela ANVISA, que regulamenta que o teor de umidade da farinha de boa qualidade não deve exceder 15% (BRASIL, 1996).

Observa-se que as doses de irradiação aplicadas não afetaram significativamente a umidade da farinha. Kanemaru et al. (2005) também não observaram variação na umidade de farinha irradiada e obtida de trigo irradiado em doses de até 2,0 kGy. Esses resultados são análogos aos obtidos por Silva (2003) e Marathe et al. (2002), em farinha de trigo irradiada em doses de até 6,0 kGy e 1,0 kGy, respectivamente.

4.1.1.2 Teor de proteína total

A Tabela 4 apresenta as médias dos resultados obtidos na análise do teor de proteína total da farinha.

Tabela 4: Médias dos resultados obtidos para o teor de proteína total da farinha de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Proteína (%)	Proteína _{BS} (%)
0,0	9,00 ^a ± 0,02	10,60 ^a ± 0,17
0,5	9,01 ^a ± 0,01	10,55 ^a ± 0,11
1,0	8,95 ^a ± 0,00	10,49 ^a ± 0,05
2,0	9,03 ^a ± 0,00	10,58 ^a ± 0,11
DMS ¹	0,37	0,47

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os resultados mostram que a dose de irradiação no trigo não alterou significativamente o teor de proteína da farinha. Resultados semelhantes foram obtidos por Kanemaru et al. (2005), MacArthur; D'Appolonia (1983) e Köksel; Çelik; Tuncer (1996). Köksel et al. (1998) observaram influência da irradiação na quantidade de proteína para doses acima de 10 kGy.

Os resultados obtidos nesse trabalho mostraram que a irradiação não afeta o grau de extração da farinha. Chung; Finney; Pomeranz (1967) reportaram que a irradiação gama em trigo em doses de até 10 kGy não teve efeito na extração da farinha.

4.1.1.3 Análise farinográfica

Os parâmetros absorção de água (A), tempo de chegada (T_C) e estabilidade (E) foram obtidos através das análises farinográficas conforme descrito no item 3.2.1.1. As médias dos valores encontrados estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Médias dos parâmetros obtidos através dos farinogramas de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	A (%)	T _C (min)	E (min)
0,0	57,6 ^a ± 0,9	1,4 ^a ± 0,1	17,7 ^a ± 0,1
0,5	57,9 ^a ± 0,5	1,4 ^a ± 0,0	17,6 ^a ± 0,0
1,0	58,0 ^a ± 0,7	1,3 ^a ± 0,1	17,7 ^a ± 0,1
2,0	57,9 ^a ± 0,1	1,4 ^a ± 0,1	17,7 ^a ± 0,1
DMS ¹	2,5	0,4	0,4

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Não foi observada diferença significativa das médias dos valores para as diferentes doses de irradiação em nenhum dos parâmetros apresentados acima. Kanemaru et al. (2005) obtiveram valores semelhantes para o parâmetro estabilidade. No mesmo trabalho, o aumento da dose de irradiação no trigo provocou um aumento da absorção de água pela farinha. Para farinha de trigo irradiada, no entanto, a absorção de água não apresentou variação significativa. Silva; Reginato-d'Arce; Spoto (2002) observaram aumento nos valores de absorção de água e diminuição no tempo de chegada para doses de até 6,0 kGy aplicadas em farinha de trigo. Observaram ainda que a estabilidade manteve-se constante para as doses de 3,0 e 4,5 kGy, mas foi prejudicada na dose de 6,0 kGy. Marathe et al. (2002) também observaram aumento na absorção de água em farinha irradiada em doses de até 1,0 kGy. Nesse caso, pode ser levantada a hipótese de que os efeitos da irradiação em farinha de trigo e em grãos de trigo são diferentes nas propriedades medidas pelo farinógrafo.

A Figura 14 apresenta o farinograma obtido para a segunda repetição da farinha obtida do trigo irradiado a 0,5 kGy.

Figura 14: Farinograma obtido para a amostra irradiada a 0,5 kGy

Como pode ser observado na figura, ao final do intervalo de duração do teste, a curva traçada ainda estava crescendo. Logo, o ponto máximo atingido pela curva, após o pico inicial, não aparece. Por isso, não foi possível determinar o parâmetro tempo de desenvolvimento da massa (TDM). Além disso, a curva permaneceu sempre acima da linha de 500 UF, não sendo possível determinar os parâmetros índice de tolerância à mistura (ITM) e tempo de saída (T_S). As curvas de todas as amostras de farinha apresentaram exatamente o

mesmo comportamento da curva mostrada na figura acima. Por isso, os três parâmetros não foram determinados para nenhuma das amostras.

Pizzinato (1997) reporta os parâmetros farinográficos característicos de farinha de trigo de acordo com a força da massa. Segundo o autor, a farinha pode ser classificada em fraca, média, forte e muito forte. Farinhas muito fortes apresentam absorção de água em torno de 58% e estabilidade maior que 15min. De acordo com esses valores, e analisando-se o comportamento das massas durante a análise e os resultados obtidos observa-se que a farinha analisada é muito forte, e as doses de irradiação aplicadas não foram suficientes para alterar essa característica. Paredes-López; Covarrubias-Alvarez (1984) mostraram em seu estudo que a irradiação não alterou significativamente as características farinográficas de farinhas classificadas como média-forte, porém, melhorou as propriedades de farinha fraca. Dados reportados na literatura mostram que doses mais altas de irradiação (acima de 3,0 kGy) podem afetar negativamente as propriedades farinográficas de farinhas fortes (Silva, 2003).

4.1.1.4 Cor

A Tabela 6 apresenta as médias dos resultados obtidos para os três parâmetros da cor da farinha.

Tabela 6: Médias dos resultados da análise de cor da farinha de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
0,0	88,88 ^a ± 0,34	0,42 ^a ± 0,00	11,13 ^a ± 0,07
0,5	89,08 ^a ± 0,29	0,43 ^a ± 0,00	11,41 ^a ± 0,01
1,0	89,12 ^a ± 0,01	0,41 ^{ab} ± 0,00	11,50 ^a ± 0,01
2,0	89,01 ^a ± 0,03	0,36 ^b ± 0,00	11,45 ^a ± 0,00
DMS ¹	1,29	0,06	0,64

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

O parâmetro L dá a medida de luminosidade do produto e vai de 0, para totalmente preto, até 100, para totalmente branco. As escalas vermelho/verde e amarelo/azul são representadas pelos parâmetros a e b , respectivamente. A Figura 15 ilustra como varia a escala Hunter L, a, b utilizada para a análise de cor da farinha. Valores positivos do parâmetro a indicam presença da cor vermelha, enquanto os negativos representam presença da cor verde. O equivalente ocorre para valores positivos e negativos de b indicando presença das cores amarelo e azul, respectivamente. Valores nulos desses parâmetros indicam ausência dessas cores (HUNTERLAB, 2004).

Figura 15: Representação da escala Hunter L, a, b de cor

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, observa-se que os valores de L são próximos de 100, indicando alta luminosidade da farinha, ou seja, que é predominantemente branca. Os valores do parâmetro b indicam a presença de tons de amarelo

na farinha. Os baixos valores de a , por sua vez, indicam que a farinha praticamente não apresenta tons de vermelho e verde.

Os parâmetros L e b não foram significativamente afetados pela dose de irradiação. O parâmetro a diminuiu significativamente para a dose de 2,0 kGy, o que indica que a amostra irradiada a 2,0 kGy apresentou menos tons de vermelho. Esse resultado, no entanto, não é representativo, já que os valores do parâmetro a são muito baixos na farinha. Além disso visualmente nenhuma alteração de cor foi percebida. Marathe et al. (2002) não encontraram alteração significativa na cor de farinhas irradiadas em doses entre 0,25 e 1,0 kGy. Silva (2003) observou que a farinha irradiada em doses de 3,0 a 6,0 kGy tornou-se mais escura.

4.1.1.5 *Falling Number*

A Tabela 7 apresenta os resultados das análises de *Falling Number* para as amostras de farinha não irradiada e irradiada na diferentes doses.

Tabela 7: Médias dos valores de *Falling Number* (FN) de acordo com a dose absorvida pelo

trigo

Dose (kGy)	FN (s)
0,0	477 ^a ± 8
0,5	428 ^b ± 8
1,0	409 ^c ± 9
2,0	313 ^d ± 4
DMS ¹	18

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

O *Falling Number* da farinha diminuiu significativamente com o aumento da dose de irradiação. A Figura 16 apresenta o gráfico que ilustra essa variação.

Figura 16: Variação do *Falling Number* em função da dose absorvida pelo trigo

O valor de *Falling Number* obtido para a farinha não irradiada é muito alto, o que indica baixa atividade da enzima α -amilase. Como a α -amilase é responsável pela transformação do amido em açúcar, baixos teores dessa enzima prejudicam o desempenho da farinha na fabricação de pães. De acordo com Ciacco; Chang (1986), farinhas consideradas boas para panificação possuem valores de *Falling Number* entre 200 e 400s. Farinhas com valores mais baixos produziram pães com baixo volume e miolo úmido e pegajoso; e com valores mais altos, pães com volume reduzido e miolo seco. Com base nesses valores, pode-se concluir que a irradiação, especialmente na dose de 2,0 kGy, melhora a performance de panificação da farinha.

A queda do valor do *Falling Number* indicaria um aumento da atividade da enzima α -amilase na farinha com o aumento da dose de irradiação do trigo. Resultados semelhantes foram reportados por Kanemaru et al. (2005), Silva; Reginato-d'Arce; Spoto (2002) e MacArthur; D'Appolonia (1983). Argúndez-Arvizu et al. (2006) também observaram uma

diminuição no valor de *Falling Number* na farinha de trigo irradiada a 1,0 kGy. Köksel; Celik; Tuncer (1996) observaram diminuição significativa no *Falling Number* com o aumento da dose de irradiação (1,0; 2,5 e 5,0 kGy) em trigo. Os autores reportam que estudos anteriores indicaram que a atividade de α -amilase no trigo não era afetada pela irradiação. Assim, justificam a queda nos valores de *Falling Number* por uma alteração no amido provocada pela irradiação: o aumento da susceptibilidade do amido à atividade amilolítica.

Como não é possível que a irradiação tenha produzido a enzima na farinha para aumentar sua atividade, uma hipótese pode ser citada para explicar esse efeito. A hipótese é de que a irradiação não tenha influência sobre a enzima α -amilase, e sim sobre o amido, e conseqüentemente sobre a sua gelatinização, o que afeta a viscosidade da massa, alterando assim a análise do *Falling Number*. A irradiação pode aumentar a quantidade de amido danificado e quebrar ligações intermoleculares, o que permitiria uma maior incorporação de moléculas de água durante o aquecimento pelas cadeias de amido, provocando sua separação, perda de cristalinidade, e, conseqüentemente, uma alteração na viscosidade. Como o método de *Falling Number* baseia-se na viscosidade da dispersão de farinha em água, também influenciada pela quantidade de enzima, o possível efeito da irradiação sobre a gelatinização do amido pode ter provocado a diminuição do parâmetro medido.

Ananthaswamy; Vakil; Sreenivasan (1970) estudaram o efeito da irradiação no amido de trigo, e observaram que se tornou mais suscetível às amilases com o aumento da dose. Essa alteração foi atribuída à degradação do amido pela irradiação, através de quebras randômicas em maltodextrinas. MacArthur; D'Appolonia (1984) verificaram uma redução na viscosidade de amido de trigo tratado por processo de irradiação, e os picos de viscosidade foram atingidos mais rapidamente com o aumento da dose.

4.1.2 Análises reológicas

4.1.2.1 Análise extensográfica

As Tabelas 8, 9 e 10 abaixo apresentam os valores médios dos resultados dos parâmetros resistência à extensão (R), resistência máxima (R_M), extensibilidade (E) e o número proporcional (D), após 45, 90 e 135 minutos de descanso da massa.

Tabela 8: Médias dos parâmetros obtidos após 45 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	R(UE)	RM (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
0,0	368 ^a ± 11	550 ^a ± 14	166 ^a ± 6	2,2 ^a ± 0,1
0,5	340 ^a ± 14	500 ^a ± 28	168 ^a ± 4	2,0 ^a ± 0,1
1,0	330 ^a ± 42	494 ^a ± 65	175 ^a ± 7	1,9 ^a ± 0,3
2,0	335 ^a ± 7	535 ^a ± 35	172 ^a ± 5	2,0 ^a ± 0,1
DMS ¹	95	164	22	0,7

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Tabela 9: Médias dos parâmetros obtidos após 90 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	R(UE)	RM (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
0,0	453 ^a ± 11	740 ^a ± 28	158 ^a ± 11	2,9 ^a ± 0,1
0,5	453 ^a ± 4	695 ^a ± 7	153 ^a ± 14	3,0 ^a ± 0,2
1,0	440 ^a ± 57	690 ^a ± 99	163 ^a ± 4	2,7 ^a ± 0,4
2,0	415 ^a ± 21	650 ^a ± 14	165 ^a ± 3	2,5 ^a ± 0,1
DMS ¹	125	212	37	1,0

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Tabela 10: Médias dos parâmetros obtidos após 135 minutos de descanso da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	R(UE)	RM (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
0,0	508 ^a ± 18	809 ^a ± 1	154 ^a ± 1	3,3 ^a ± 0,1
0,5	490 ^a ± 28	745 ^a ± 21	154 ^a ± 2	3,2 ^a ± 0,3
1,0	505 ^a ± 35	778 ^a ± 32	162 ^a ± 13	3,1 ^a ± 0,5
2,0	480 ^a ± 57	745 ^a ± 78	160 ^a ± 24	3,1 ^a ± 0,8
DMS ¹	152	176	56	2,0

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores obtidos para extensibilidade da massa são similares aos obtidos por Kanemaru et al. (2005), embora os valores de resistência máxima e número proporcional sejam maiores, o que indica uma farinha mais forte.

Pizzinato (1997) apresenta os parâmetros extensográficos característicos para a farinha de trigo após 135min de descanso, de acordo com sua classificação, conforme apresentado na Tabela 11. De acordo com esses valores, e com os resultados extensográficos obtidos, observa-se que a farinha analisada classifica-se como farinha forte, confirmando os resultados observados nas análises farinográficas.

Tabela 11: Parâmetros extensográficos característicos de acordo com a classificação da farinha, após 135min de descanso da massa

Classificação da farinha	R (UE)	E (mm)	D (UE/mm)
Fraca	130	180	0,7
Forte	560	155	3,6

Considerando todas as análises realizadas após os três tempos de descanso da massa, nenhum parâmetro apresentou diferença significativa entre as amostras irradiadas nas diferentes doses. Kanemaru et al. (2005) também não encontraram diferença significativa nos parâmetros extensibilidade, resistência máxima e número proporcional, para os diferentes

níveis de irradiação em grãos de trigo. Fifield; Golumbic; Pearson (1967) reportaram que doses de até 1,75 kGy não alteraram significativamente a resistência da massa.

4.1.2.2 Desenvolvimento da massa e capacidade de retenção de gás

A Figura 17 mostra as curvas médias de desenvolvimento da massa, obtidas através de análise realizada no Reofermentômetro, para cada uma das doses aplicadas no trigo.

Figura 17: Curvas médias de desenvolvimento da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Através da figura é possível analisar comparativamente as curvas de desenvolvimento das massas produzidas a partir do trigo irradiado nas diferentes doses, e já se observa que a irradiação não teve forte influência sobre o comportamento da massa durante seu desenvolvimento. A partir das curvas, para cada dose, calcularam-se os parâmetros de

desenvolvimento da massa. A Tabela 12 apresenta as médias dos resultados dos parâmetros obtidos.

Tabela 12: Médias dos parâmetros de desenvolvimento da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Desenvolvimento da massa				
Doses (kGy)	H _m (mm)	h (mm)	WC	T ₁ (min)
0,0	65,6 ^a ± 1,8	41,3 ^a ± 7,3	36,9 ^{ab} ± 12,9	104,3 ^a ± 7,4
0,5	64,3 ^a ± 7,5	54,1 ^a ± 7,2	15,9 ^a ± 1,4	105,0 ^a ± 6,4
1,0	59,2 ^a ± 6,6	29,6 ^a ± 2,8	50,1 ^b ± 0,9	99,0 ^a ± 4,2
2,0	62,5 ^a ± 1,2	42,0 ^a ± 7,1	32,9 ^{ab} ± 10,0	104,3 ^a ± 5,3
DMS ¹	20,9	26,0	33,3	24,2

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

O parâmetro H_m representa a altura máxima do desenvolvimento da massa sob compressão, e está diretamente relacionado com a força da rede de glúten e o volume final do pão. Os resultados indicam uma massa relativamente forte e estão de acordo com os obtidos por Matuda (2004). T₁ representa o tempo em que a massa atinge H_m e h representa a altura do desenvolvimento da massa ao final do teste. Os resultados mostram que esses três parâmetros não foram influenciados pela irradiação. A partir dos parâmetros H_m e h calcula-se o coeficiente de enfraquecimento (WC), que representa a perda de volume pela massa ao final da fermentação. Os resultados mostram que houve diferença significativa para as diferentes doses, porém não foi possível observar uma tendência.

Kanemaru et al. (2005) também não observaram alteração no parâmetro T₁ para as mesmas doses de irradiação aplicadas em trigo. Porém, observaram que o aumento da irradiação provocou uma diminuição nos parâmetros H_m e h, indicando que a irradiação prejudicaria a qualidade da rede de glúten. O coeficiente de enfraquecimento, no entanto, não foi afetado, indicando que as massas apresentam proporcionalmente a mesma perda de volume durante a fermentação. Talvez não tenha sido possível observar diferença nos

resultados apresentados na Tabela 12 devido aos altos desvios obtidos. Para melhor confiabilidade dos resultados deveriam ser realizadas mais repetições dessa análise.

A Figura 18 mostra as curvas médias de liberação de gás para cada dose de irradiação aplicada no trigo, obtidas através de análise no Reofermentômetro.

Figura 18: Curvas médias de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo

A figura mostra o comportamento da massa em relação à liberação do gás carbônico produzido durante a fermentação, para cada dose de irradiação aplicada no trigo. As curvas obtidas são muito semelhantes indicando que não houve influência da irradiação. A partir das curvas, para cada dose, calcularam-se os parâmetros de liberação de gás. As Tabelas 13 e 14 apresentam as médias dos resultados obtidos.

Tabela 13: Médias dos parâmetros H'_m , T'_1 (altura e tempo de liberação) e T_x (porosidade), obtidos da curva de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Doses (kGy)	H'_m (mm)	T'_1 (min)	T_x (min)
0,0	$61,2^a \pm 1,8$	$96,8^a \pm 3,2$	$75,8^a \pm 5,3$
0,5	$61,4^a \pm 0,1$	$93,8^a \pm 1,1$	$80,3^a \pm 1,1$
1,0	$63,1^a \pm 0,4$	$96,8^a \pm 1,1$	$78,0^a \pm 12,7$
2,0	$63,1^a \pm 0,5$	$97,5^a \pm 4,2$	$78,0^a \pm 2,1$
DMS	4,0	11,2	28,5

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Tabela 14: Médias dos parâmetros V_T , V_{CO_2} , V_R (volumes total, liberado e retido) e CR (coeficiente de retenção), obtidos da curva de liberação de gás de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Doses (kGy)	V_T	V_{CO_2}	V_R	CR
0,0	$1089,5^a \pm 48,8$	$50^{ab} \pm 6$	$1039,5^a \pm 54,4$	$95,4^a \pm 0,7$
0,5	$1088,5^a \pm 3,5$	$60^{ab} \pm 4$	$1028,5^a \pm 7,8$	$94,5^a \pm 0,4$
1,0	$1124,0^a \pm 5,7$	$44^a \pm 4$	$1080,5^a \pm 0,7$	$96,2^a \pm 0,4$
2,0	$1151,5^a \pm 57,3$	$62^b \pm 1$	$1090,0^a \pm 58,0$	$94,7^a \pm 0,4$
DMS	153,7	17	162,7	2,0

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Analisando-se os resultados obtidos para os parâmetros H'_m e T'_1 , que representam a altura máxima da curva de liberação de CO_2 e o tempo para que a massa atinja essa altura, respectivamente, observa-se que nenhum deles foi significativamente influenciado pela dose de irradiação aplicada ao trigo. T_x representa o tempo necessário para o aparecimento de porosidade na massa, ou seja, o início da liberação de gás. Os resultados mostram que o gás começa a ser liberado aproximadamente 1 hora e 20 minutos após o início da fermentação, e que esse valor não é afetado significativamente pela dose de irradiação. Os parâmetros V_T , V_{CO_2} e V_R indicam o volume total de gás carbônico produzido pela massa, o volume de gás liberado pela massa, e o volume retido, respectivamente. V_T e V_R não variaram

significativamente com a dose. V_{CO_2} , porém, sofreu influência, mas não se observou nenhuma tendência. O coeficiente de retenção, RC, é calculado pela razão entre V_R e V_T , e representa a quantidade de gás que a massa retém, ao final da fermentação. Esse parâmetro está fortemente relacionado com a qualidade da massa. Massas de boa qualidade apresentam altos coeficientes de retenção, mostrando que a massa perde pouco do gás produzido. Os resultados indicam uma massa forte e de boa qualidade, e sugerem que a irradiação nas doses utilizadas não alterou a resistência da rede de glúten.

Kanemaru et al. (2005) observaram aumento significativo nos resultados obtidos para os parâmetros T_x , V_T , e V_R , e diminuição de V_{CO_2} , com o aumento da dose de irradiação. Observaram também um aumento no coeficiente de retenção da massa, indicando que a irradiação melhora a qualidade da rede de glúten.

Os resultados contraditórios apresentados podem ser explicados pela hipótese de que a qualidade do trigo utilizado nos dois trabalhos era diferente. As doses de irradiação utilizadas não teriam sido suficientes para alterar as características de uma massa que era muito forte, enquanto o trigo utilizado por Kanemaru et al. (2005), hipoteticamente de pior qualidade, poderia ter tido suas características reológicas positivamente influenciadas pelas mesmas doses de irradiação.

4.1.2.3 Textura da massa

A Figura 19 mostra as curvas médias de textura da massa obtidas das replicatas para cada dose de irradiação na 1ª e 2ª repetições.

Figura 19: Curvas médias de textura da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Para cada repetição, a curva média representa a média de 15 medidas, ou seja, medidas da tensão de 15 tiras de massa. Observa-se que, para a mesma dose, as curvas de cada repetição variaram muito uma em relação à outra. Isso mostra um alto desvio da análise. Observa-se então que a dose de irradiação não é responsável por esta variação.

A partir das curvas, obtêm-se os parâmetros resistência à extensão, que representa a força suportada pela massa antes que se rompa, e extensibilidade, que indica o quanto a massa pode ser estendida até se romper. A Tabela 15 mostra os valores médios obtidos para cada um desses parâmetros, para cada uma das doses absorvidas pelo trigo.

Tabela 15: Médias dos parâmetros obtidos a partir do ensaio de textura da massa de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Doses (kGy)	Resistência à extensão (N)	Extensibilidade (mm)
0,0	0,32 ^a ± 0,02	17,15 ^a ± 1,06
0,5	0,35 ^a ± 0,09	18,57 ^a ± 3,58
1,0	0,32 ^a ± 0,06	19,16 ^a ± 0,49
2,0	0,34 ^a ± 0,10	18,93 ^a ± 2,69
DMS ¹	0,31	9,42

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Para nenhum dos parâmetros foi observada influência significativa da dose de irradiação aplicada. Esses resultados estão de acordo com os obtidos na análise realizada no extensógrafo, que também fornece resultados dos parâmetros resistência à extensão e extensibilidade da massa, utilizando porém, uma porção muito maior de massa. Possíveis diferenças nos resultados de acordo com a dose de irradiação podem, no entanto, terem sido mascaradas pelos altos desvios obtidos entre primeira e segunda repetições nessa análise.

4.1.3 Análises entálpicas

As Figuras 20 a 27 mostram as curvas do ciclo de aquecimento do DSC para as duas corridas realizadas com as suspensões de farinha do trigo irradiado nas diferentes doses, obtidas através do software do equipamento. As figuras mostram também os parâmetros dos picos, calculados através do software do equipamento, e as massas do cadinho (m_{cadinho}), da amostra (m_{amostra}) de suspensão, e massa total antes (m_{total}) e ao final (m'_{total}) do ciclo. A massa total foi medida antes e depois do ciclo para comprovar que nenhuma perda de massa ocorresse durante a análise.

Figura 20: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,0 kGy

Figura 21: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,0 kGy

Figura 22: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,5 kGy

Figura 23: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 0,5 kGy

Figura 24: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 1,0 kGy

Figura 25: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 1,0 kGy

Figura 26: Curva de aquecimento do DSC para a primeira repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 2,0 kGy

Figura 27: Curva de aquecimento do DSC para a segunda repetição da suspensão de farinha de trigo irradiado a 2,0 kGy

O formato das curvas obtidas é característico das modificações estruturais termo-induzidas em grãos de amido quando na presença de alta fração de água. Analisando-se as figuras pode-se observar que todas as curvas apresentam um pico endotérmico de transição em torno dos 60°C. Esse pico corresponde à gelatinização do amido (quebra do grão, destruição da estrutura cristalina, e dispersão parcial da amilose na fase aquosa). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Berland; Relkin; Launay (2003), que também observaram os picos de gelatinização em ensaios de DSC com suspensões de farinha em água. Observa-se também, pelos dados de massa obtidos dos cadinhos com amostra antes e depois de cada corrida, que não houve perda de massa.

A Figura 28 mostra as curvas médias do ciclo de aquecimento de DSC para cada dose de irradiação aplicada ao trigo.

Figura 28: Curvas médias do ciclo de aquecimento de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Observa-se que todas as curvas têm um comportamento similar, com exceção da curva de 0,5 kGy, que apresenta um comportamento um pouco diferente. Os picos de gelatinização, no entanto, aparecem sempre na mesma região, mostrando que não houve influência da dose de irradiação nesse processo. A Figura 29 mostra um “zoom” dos picos de gelatinização, das curvas apresentadas na Figura 28. Nessa figura é possível observar que o comportamento dos picos é muito semelhante.

Figura 29: Picos de gelatinização nas curvas médias de DSC de acordo com a dose absorvida pelo trigo

O software do equipamento DSC calculou, para cada pico, os parâmetros de temperatura inicial ($T_{on\ set}$), temperatura de pico (T_{pico}), temperatura final (T_{endset}), e entalpia da transição. A Tabela 16 apresenta os valores médios de $T_{on\ set}$, T_{pico} e entalpia obtidos.

Tabela 16: Médias dos parâmetros obtidos através do equipamento DSC para os picos de gelatinização de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	T _{pico} (°C)	T _{on set} (°C)	Entalpia (J/g)
0,0	62,1 ^a ± 0,1	55,3 ^a ± 0,2	-1,5 ^a ± 0,3
0,5	63,0 ^a ± 1,4	56,1 ^a ± 2,5	-2,3 ^a ± 2,2
1,0	62,5 ^a ± 0,2	55,5 ^a ± 0,5	-1,4 ^a ± 0,1
2,0	62,9 ^a ± 1,1	56,8 ^a ± 5,2	-3,9 ^a ± 0,1
DMS ¹	3,6	11,7	4,5

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores obtidos para as temperaturas “on set” e de pico estão de acordo com os obtidos em outros trabalhos em que também foram observados picos de gelatinização do amido de trigo através de ensaios em DSC (FESSAS; SCHIRALDI, 2000); (BERLAND; RELKIN; LAUNAY, 2003).

Nenhum dos parâmetros foi influenciado significativamente pela dose de irradiação aplicada ao trigo. Cieřla; Eliasson (2003) observaram diferenças significativas nos parâmetros obtidos através de ensaios de DSC com suspensões de amido de trigo irradiado em relação aos parâmetros para o amido não irradiado. Porém a dose aplicada ao amido foi relativamente alta, 30kGy, para aumentar a sua influência sobre o processo. As autoras observaram uma diminuição na ordenação cristalina dos grãos de amido após a irradiação, e que a perda de ordenação relacionada à gelatinização ocorre à temperaturas mais altas para amostras irradiadas em relação às não irradiadas.

Através dessa análise de DSC esperava-se, de acordo com os resultados obtidos, explicar as alterações provocadas pela dose de irradiação no parâmetro *Falling Number*. No entanto, talvez devido aos desvios obtidos, por somente terem sido realizadas duas repetições, não foi possível observar influência da dose de irradiação do trigo na gelatinização do amido. Se a irradiação é capaz de aumentar a temperatura de gelatinização do amido, conforme os resultados apresentados por Cieřla; Eliasson (2003), é possível explicar a diminuição do

Falling Number. Como a gelatinização aumenta a viscosidade da suspensão de farinha em água, a suspensão de farinha de trigo irradiado permaneceria mais tempo com uma viscosidade menor, já que sua temperatura de gelatinização seria mais alta.

4.1.4 Análises microbiológicas

Segundo a legislação brasileira, os padrões microbiológicos sanitários para farinha (BRASIL, 2001a) para as análises realizadas estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Padrões microbiológicos sanitários para farinha de trigo de acordo com a legislação brasileira

Análises microbiológicas	Padrão máximo permitido
<i>Bacillus cereus</i>	3000 UFC/g
Bolores e leveduras	-
Coliforme a 35°C	-
Coliforme a 45°C	100 UFC/g
<i>Estafilococos coagulase</i> positiva	-
<i>Salmonella</i> spp.	ausência em 25g

As contagens de *Bacillus cereus*, Coliforme a 45°C, *Estafilococos coagulase* positiva e *Salmonella* spp. não variaram para a dose de irradiação aplicada nem para o período de armazenamento, indicando que as amostras iniciais não irradiadas já continham ausência ou valores muito baixos dos microrganismos, e a dose de irradiação e o período de armazenamento não afetaram essa condição. Os resultados das análises microbiológicas para todas as doses e ao longo do período de armazenamento estão apresentados na Tabela 18. Os resultados das contagens estão expressos em UFC (Unidade de Formadores de Colônia) e NMP (Número Mais Provável). Portanto, já que nenhuma amostra apresentou crescimento dos microrganismos citados, não foi possível avaliar o benefício da irradiação sobre eles.

Tabela 18: Resultados das contagens de *Bacillus cereus*, Coliforme a 45°C, *Estafilococos coagulase* positiva e *Salmonella* spp. para todas as doses e ao longo do período de armazenamento da farinha

Análises microbiológicas	Resultado
<i>Bacillus cereus</i>	ausência em 1g
Coliforme a 45°C	< 3,0 NMP/g
<i>Estafilococos coagulase</i> positiva	ausência em 1g
<i>Salmonella</i> spp.	ausência em 25g

Os resultados das contagens de bolores e leveduras, de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do período de armazenamento da farinha estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados das contagens de bolores e leveduras das amostras de farinha, de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do armazenamento

Período (dias)	Bolores e leveduras (UFC/g)			
	Dose (kGy)			
	0,0	0,5	1,0	2,0
0	300	490	90	ausência
30	130	ausência	ausência	20
60	110	50	40	30
90	720	280	30	40

Analisando-se os resultados obtidos, observa-se que para a amostra controle, não irradiada, os valores das contagens de bolores e leveduras são consideravelmente mais altos do que o das amostras obtidas do trigo tratado por irradiação. Além disso, observa-se que para a amostra não irradiada (0,0 kGy) as contagens de bolores e leveduras tendem a aumentar para um longo período de armazenamento (90 dias). Para as amostras irradiadas observa-se que a contagem diminui (0,5 e 1,0 kGy) ou se mantém muito baixa (2,0 kGy) ao longo do período de armazenamento. Esses resultados indicam que o processo de irradiação, além de ser eficiente para diminuir a carga microbiológica de cereais e derivados, é capaz de manter o

alimento seguro contra a contaminação microbiana durante longo período de armazenamento (3 meses).

A Tabela 20 apresenta os resultados das contagens de coliformes a 35°C de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do período de armazenamento da farinha.

Tabela 20: Resultados das contagens de coliformes a 35°C das amostras de farinha, de acordo com a dose absorvida pelo trigo e ao longo do armazenamento

Período (dias)	Coliforme a 35°C (NMP/g)			
	Dose (kGy)			
	0,0	0,5	1,0	2,0
0	93	< 3,0	< 3,0	< 3,0
30	9,1	< 3,0	9,1	< 3,0
60	3,6	3,6	< 3,0	< 3,0
90	3,6	13	< 3,0	< 3,0

Os resultados obtidos nas análises iniciais, logo após a moagem do trigo, apresentam valores de contagem de coliformes a 35° consideravelmente menores para as amostras obtidas de trigo irradiado em relação à controle, de trigo não irradiado. Os resultados de cada período de análise indicam que o aumento da dose de irradiação melhora o controle do crescimento de coliformes, principalmente a dose de 2,0 kGy, que se apresenta como a mais eficiente no controle desse microrganismo para todos os períodos de armazenamento. Esses resultados confirmam os obtidos para as contagens de bolores e leveduras, mostrando a eficiência do processo de irradiação na redução da carga microbiológica de alimentos.

Hilsenrath (2005) observou diminuição na contagem de microrganismos aeróbios totais e bolores e leveduras em farinha de trigo irradiada, e farinha produzida de trigo irradiado com o aumento da dose de irradiação aplicada. Argúndez-Arvizu et al. (2006) também observaram diminuição significativa na contagem de microrganismos aeróbios e bolores e leveduras em amostras de farinha de trigo irradiada a 1,0 kGy em relação a amostras não irradiadas.

De acordo com os resultados obtidos, e os padrões microbiológicos máximos determinados pela legislação brasileira (BRASIL, 2001a), toda a farinha de trigo utilizada neste trabalho está adequada para o consumo.

O tratamento dos grãos de trigo com irradiação logo após o recebimento auxilia o controle microbiológico dentro do moinho, já que o trigo entra na indústria sem contaminação. Cuidado deve ser tomado, no entanto, para que o trigo não seja contaminado após o tratamento devido à manipulação durante o processo.

4.2 Fabricação do pão francês

Utilizando farinha produzida a partir do trigo não irradiado, e irradiado a 0,5; 1,0 e 2,0 kGy foram produzidas 4 fornadas de pão do tipo francês, conforme descrito no item 3.2.2. As fotos abaixo mostram as etapas da fabricação do pão.

Figura 30: Foto dos ingredientes para a preparação dos pães pesados e separados

Figura 31: Foto dos ingredientes sendo misturados na masseira

Figura 32: Foto do ponto de véu atingido pela massa após o batimento

Figura 33: Foto dos pães passando pela divisora e modeladora

Figura 34: Foto dos pães modelados, antes da fermentação

Figura 35: Foto dos pães após saírem da câmara de fermentação

Figura 36: Foto dos pães dentro do forno

Figura 37: Foto dos pães prontos

4.3 Avaliação do pão francês

4.3.1 Análises físicas

4.3.1.1 Massa do pão

A Tabela 21 apresenta os valores médios obtidos para a massa do pão, de acordo com a dose de irradiação.

Tabela 21: Médias dos valores obtidos para a massa de dois pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Massa (g)
0,0	109,8 ^a ± 9,8
0,5	104,2 ^a ± 9,0
1,0	95,7 ^a ± 6,6
2,0	97,9 ^a ± 3,4
DMS ¹	14,6

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores obtidos para a massa dos pães estão de acordo com a massa de um pão francês sugerida pela legislação brasileira (BRASIL, 2001c), que deve ser de 50g. Além disso, os valores estão dentro do intervalo de valores obtidos para a massa de dois pães franceses produzidos na cidade de São Paulo (93 a 142g), conforme estudo de Kowalski; Carr; Tadini (2002). A massa dos pães não variou significativamente com o aumento da dose de irradiação.

4.3.1.2 Volume do pão

As médias dos resultados obtidos para o volume de dois pães de acordo com a dose estão apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22: Médias dos valores obtidos para o volume de dois pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Volume de dois pães (cm ³)
0,0	238,3 ^a ± 2,4
0,5	260,8 ^a ± 34,2
1,0	279,2 ^a ± 34,2
2,0	303,3 ^a ± 18,9
DMS ¹	105,6

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os resultados mostraram que não há diferença significativa entre o volume dos pães produzidos de trigo irradiado nas diferentes doses, no entanto, nota-se uma clara tendência ao aumento do volume do pão com o aumento da dose.

Os resultados apresentados estão de acordo com os obtidos por Rao et al. (1975), que só observaram diminuição no volume dos pães para doses acima de 5,0 kGy aplicadas no trigo. Fifield; Golumbic; Pearson (1967) e MacArthur; D'Appolonia (1983) também não observaram alteração significativa no volume do pão para doses de até 1,75 e 3,0 kGy, respectivamente. Lee (1959), no entanto, mostrou que a farinha irradiada em doses de até 2,0 kGy pode provocar um aumento no volume dos pães produzidos a partir dela.

4.3.1.3 Volume específico

A Tabela 23 apresenta os valores médios obtidos para o volume específico do pão de acordo com a dose de irradiação aplicada ao trigo.

Tabela 23: Médias dos valores obtidos para o volume específico dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Volume específico (cm ³ /g)
0,0	2,2 ^a ± 0,4
0,5	2,5 ^{ab} ± 0,1
1,0	2,9 ^{ab} ± 0,2
2,0	3,1 ^b ± 0,1
DMS ¹	0,9

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores obtidos estão abaixo da faixa de valores encontrados por Kowalski; Carr; Tadini (2002) para pães comercializados na cidade de São Paulo (3,89 a 7,48 cm³/g), mostrando que os pães produzidos foram menores do que os encontrados comercialmente. Uma possível explicação para o baixo volume dos pães é de que a fermentação não tenha sido completa devido à baixa temperatura ambiente no dia da produção dos pães. A temperatura pode ter prejudicado o final da fermentação, após os pães terem saído da câmara fermentadora.

Observa-se, no entanto, um aumento significativo nos valores de volume específico com o aumento da dose de irradiação, realçando a tendência observada para os valores de volume dos pães. Rao et al. (1978) encontraram resultados semelhantes, observando um aumento no volume do pão com o aumento da dose de irradiação em trigo até 2,0 kGy. Esse aumento no volume do pão é explicado por Urbain (1986) pela produção de açúcares a partir da degradação do amido provocada pela radiação, que aumentam a produção de gás na massa.

4.3.1.4 Umidade do pão

Os valores médios obtidos para a umidade dos pães de acordo com a dose de irradiação estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Médias dos valores obtidos para o conteúdo de água dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Conteúdo de água (%)
0,0	29,36 ^a ± 1,67
0,5	32,13 ^a ± 1,42
1,0	30,65 ^a ± 1,72
2,0	31,16 ^a ± 0,94
DMS ¹	3,09

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

Os valores obtidos para os pães produzidos estão dentro da faixa encontrada para o conteúdo de água de pães franceses comercializados na cidade de São Paulo, que variou entre 27,8 e 31,6% (KOWALSKI; CARR; TADINI, 2002). O conteúdo de água dos pães não variou significativamente com a dose de irradiação.

4.3.2 Análise de textura

A Figura 38 mostra as curvas de força de compressão do pão em função do tempo, obtidas a partir do ensaio de textura, de acordo com a dose de irradiação.

Curvas médias de textura do pão - simples compressão

Figura 38: Curvas médias de textura do pão de acordo com a dose absorvida pelo trigo

A firmeza dos pães foi obtida através do ensaio de textura, e os valores médios obtidos estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25: Médias dos valores obtidos para a firmeza dos pães de acordo com a dose absorvida pelo trigo

Dose (kGy)	Firmeza (N)
0,0	2,92 ^a ± 0,57
0,5	3,23 ^a ± 1,33
1,0	3,10 ^a ± 0,57
2,0	2,83 ^a ± 0,82
DMS ¹	1,30

*Médias com a mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente no intervalo de confiança de 95%.

¹ Diferença Mínima Significativa

As doses de irradiação absorvidas pelo trigo não influenciaram significativamente a firmeza do pão. Na Figura 38, observa-se que as curvas têm comportamento muito parecido, e somente a curva de 0,5 kGy se distancia um pouco das demais. Apesar disso, essa diferença

não foi significativa em relação às demais. Os altos desvios obtidos indicam que a textura dos pães produzidos, para cada dose, não é uniforme, podendo variar dentro de uma mesma fornada.

4.3.3 Análise sensorial

Participaram da análise sensorial 46 pessoas que alegaram gostar de pão francês, das quais 21 eram homens e 25 mulheres, 39 possuíam entre 18 e 35 anos, 6 entre 36 e 50 anos e 1 acima de 50 anos, 28 consumiam pão francês diariamente, e 18 de 1 vez por semana a 1 vez por mês.

A Figura 39 mostra uma foto da bandeja entregue aos provadores na análise sensorial. A bandeja continha três pratos codificados com as amostras a serem analisadas, 1 copo de água, que poderia ser tomada entre a degustação das amostras, se desejado, um guardanapo, e a ficha a ser preenchida.

Figura 39: Foto da bandeja entregue ao provador na análise sensorial

A Figura 40 mostra uma foto das cabines utilizadas para a análise.

Figura 40: Foto das cabines onde foi realizada a análise sensorial

Para a avaliação do resultado, foi utilizada a Tabela de número mínimo de julgamentos corretos para estabelecer significância a vários níveis de significância para Testes Triangulares ($p=1/3$) (O'MAHONY, 1989).

Na análise entre os pães de trigo não irradiado e irradiado a 1,0 kGy, foram obtidos 21 julgamentos corretos. Na análise entre os pães de trigo não irradiado e irradiado a 2,0 kGy foram obtidos 15 julgamentos corretos. De acordo com a tabela, o número mínimo de acertos para 46 julgamentos, para que haja diferença significativa com intervalo de confiança de 95% é de 22. Portanto, conclui-se que não há diferença sensorial significativa entre os pães produzidos de trigo não irradiado e irradiado a 1,0 kGy, e entre os pães produzidos de trigo não irradiado e irradiado a 2,0 kGy.

Os resultados obtidos são semelhantes aos obtidos por Fifield; Gulumbic; Pearson (1967), que não observaram diferença significativa no sabor de pães produzidos com farinha de trigo irradiada em doses de até 1,75 kGy. Zaied; Abdel-Hamid; Attia (1996) reportaram que pães produzidos de farinha irradiada a 2,0 kGy apresentaram altos níveis de aceitação.

5 Conclusões

Visando o crescimento do processo de irradiação como forma de preservação e descontaminação de alimentos, e devido à importância do pão francês na alimentação da população brasileira, nesse trabalho estudaram-se os efeitos da radiação gama (0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy) em trigo nas características físico-químicas, reológicas, entálpicas e microbiológicas da farinha produzida a partir dele. Verificou-se também o desempenho de panificação da farinha, através da avaliação da qualidade do pão produzido.

As análises físico-químicas na farinha mostraram que os parâmetros conteúdo de água, conteúdo de proteína total e cor não foram afetados pela dose de irradiação aplicada ao trigo. A irradiação também não influenciou os parâmetros medidos pelo farinógrafo na massa formada por farinha e água (absorção de água da farinha, e estabilidade da massa). O *Falling Number*, parâmetro que indica a atividade de enzima α -amilase na farinha, diminuiu significativamente com o aumento da dose de irradiação. Como não é possível que a irradiação tenha aumentado a atividade da enzima na farinha, esse resultado indica que o processo alterou a estrutura do amido, e, conseqüentemente a gelatinização da massa.

As análises realizadas no extensógrafo mostraram que as doses de irradiação aplicadas ao trigo não afetaram significativamente os parâmetros de resistência da massa à extensão, resistência máxima à extensão, extensibilidade da massa, e o número proporcional, relação entre resistência e extensibilidade, após 135 minutos de descanso da massa. Esses resultados foram confirmados pela análise da massa no texturômetro, que também não mostrou diferenças significativas nos parâmetros resistência à extensão e extensibilidade da massa. Os resultados obtidos dos ensaios em reofermentômetro mostraram que a irradiação não alterou significativamente nenhum desses parâmetros medidos, exceto o coeficiente de enfraquecimento, que apresentou diferença significativa, mas nenhuma tendência foi observada. Através da curva de liberação de gás carbônico pela massa, o coeficiente de

retenção, que representa a capacidade da massa em reter o gás produzido, também não sofreu alteração significativa devido à dose absorvida pelo trigo.

Estudos da literatura internacional reportam que doses baixas (até 2,0 kGy) aplicadas em trigo podem alterar positivamente as características físico-químicas e reológicas da farinha. Nesse trabalho, no entanto, isso não foi observado. Uma possível justificativa é a de que o trigo utilizado produziu uma farinha classificada como muito forte, e, talvez, as doses de irradiação aplicadas não tenham sido suficientes para melhorar suas características.

Através das análises de DSC foi possível observar os picos de gelatinização das suspensões de farinha em água. Os parâmetros de temperatura e entalpia de gelatinização não foram influenciados significativamente pela dose de irradiação aplicada ao trigo.

As análises microbiológicas confirmaram a eficiência do processo de irradiação no controle de bolores e leveduras e coliformes a 35°C em trigo, melhorando com o aumento da dose aplicada. Além disso, verificou-se também sua eficiência no controle dos mesmos microrganismos ao longo do tempo de armazenamento da farinha de até 90 dias. No entanto, não foi possível observar o efeito sobre microrganismos patogênicos, já que não cresceram em nenhuma das amostras analisadas.

Os pães produzidos a partir do trigo irradiado nas diferentes doses também não apresentaram alteração significativa nos parâmetros massa, volume, conteúdo de água e firmeza. O volume específico dos pães, no entanto, aumentou significativamente com o aumento da dose absorvida pelo trigo. Esse resultado mostra que pães produzidos de trigo irradiado possuem volume maior, de acordo com resultados semelhantes reportados na literatura, e indica uma pequena, porém importante melhoria na qualidade de panificação da farinha produzida de trigo irradiado.

Os resultados da análise sensorial mostraram que não houve diferenças sensoriais perceptíveis entre pães produzidos a partir de trigo irradiado e não irradiado.

O processo de irradiação em trigo é industrialmente inexistente no Brasil. Os resultados obtidos nesse trabalho podem contribuir com o desenvolvimento dessa tecnologia, já que mostraram que o processo é eficiente no controle microbiológico do grão, substituindo através de um processo “limpo” a utilização de produtos químicos. Além disso, as características de uma farinha considerada muito forte para a panificação não foram afetadas, e a qualidade e características sensoriais do pão produzido permaneceram inalteradas.

6 Sugestões para trabalhos futuros

Estudos da literatura internacional apresentam resultados divergentes em relação aos efeitos da irradiação em trigo e farinha de trigo. Um estudo dos efeitos da irradiação em farinha de trigo sobre as mesmas propriedades físico-químicas, reológicas, entálpicas e de panificação analisadas nesse trabalho poderia ser útil para investigar se existe diferença entre os efeitos da irradiação aplicada em trigo e em farinha de trigo.

Nesse trabalho não foi possível verificar a influência do processo de irradiação sobre as propriedades tecnológicas da farinha. Esse resultado foi explicado pela utilização de trigo importado nos ensaios, que gerou uma farinha com características de farinha muito forte. A utilização de trigo nacional num estudo dos mesmos ensaios realizados nesse trabalho poderia confirmar ou descartar essa hipótese. Em trigo de menor qualidade, talvez as doses de irradiação utilizadas fossem suficientes para incrementar as propriedades tecnológicas da farinha obtida. Nesse caso, a irradiação alteraria as características estruturais do glúten do trigo de modo que uma farinha considerada fraca ou média para panificação, após a irradiação, teria um desempenho médio-forte ou forte. Se o processo de irradiação fosse capaz de melhorar a qualidade da farinha obtida de trigo nacional, isso resultaria em uma diminuição significativa na dependência nacional da importação do trigo.

7 Lista de Referências¹

ABIP – Associação Brasileira da Brasileira da Indústria de Panificação. São Paulo. 2005. **Perfil de mercado**. Disponível em <www.abip.org.br>. Acesso em: 13 jul. 2005.

ABITRIGO – Associação Brasileira da Indústria de Trigo. São Paulo. 2005. **História do trigo**. Disponível em <www.abitrigo.com.br>. Acesso em: 14 jul. 2005.

ALDRYHIM, Y.N.; ADAM, E.E. Efficacy of gama irradiation against *Sithophilus granaries* (L.)(Coleoptera:Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v.35, p.225-232, 1999.

ANANTHASWAMY, H.N.; VAKIL, U.K.; SREENIVASAN, A. Effect of irradiation on wheat starch and its components. **Journal of Food Science**, v.35, p.795-798, 1970.

ARGÚNDEZ-ARVIZU, Z. et al. Gamma radiation effects on commercial Mexican bread making wheat flour. **Beam Interactions with Materials & Atoms**, In Press, 2006.

ÁUSTRIA. IAEA – International Atomic Energy Agency. Vienna. 2004. **The International Dose Assurance Service**. Disponível em <www.iaea.org>. Acesso em: 28 jan. 2006.

ÁUSTRIA. ICC – International Association for Cereal Science and Technology. Viena. 1995. **List of ICC Standard Methods**. Disponível em <www.icc.or.at/methods3.php#ICC107>. Acesso em: 10 jun. 2005.

ÁUSTRIA. ICGFI – International Consultative Group on Food Irradiation. **Code of Good Irradiation Practice for Insect Desinfestation of Cereal Grains**. Viena: Secretariat of ICGFI, 1991. 9 p. (ICGFI document nº3).

¹ De acordo com as normas da ABNT NBR-6023, com adaptações USP – Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses da USP: Documento Eletrônico e Impresso, 110p., 2004. Disponível em www.poli.usp.br.

ÁUSTRIA. ICGFI – International Consultative Group on Food Irradiation. **Training Manual on Operation of Food Irradiation Facilities**. Viena: Secretariat of ICGFI, 1992. 216 p. (ICGFI document nº14).

ÁUSTRIA. ICGFI - International Consultative Group on Food Irradiation. Viena. 2003. **First World Congress on Food Irradiation**. Chicago, 2003. Disponível em <http://www.foodsafe.msu.edu/events/congress_irrad1/congress_presentation_pdfs/roberts_presentation.pdf>.

Acesso em: 15 set. 2005.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; RODRIGUEZ, J.J. Present and future of emerging technologies in food processing. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais do CBCTA 2002**. Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 4013-4017.

BERLAND, S.; RELKIN, P.; LAUNAY, B. Calorimetric and rheological properties of wheat flour suspensions and doughs – Effects of wheat types and milling procedure. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.71, p. 311-320, 2003.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria nº33**. Brasília. 1998. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 15 abr. 2005.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº90**. Brasília. 2000. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 15 abr. 2005.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº12**. Brasília. 2001a. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 28 jan. 2006.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 21**. Brasília. 2001b. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 15 abr. 2005.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 39**. Brasília. 2001c. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 28 jan. 2006.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº263**. Brasília. 2005a. Disponível em <www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm>. Acesso em: 20 mai. 2006.

BRASIL. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São Paulo. 2005b. **Indicadores agropecuários 1996-2003**. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 jul. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº1. Brasília. 1981. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 27 jan. 2006.

CARR, L.G.; TADINI, C.C. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. **Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie**, v.36, n.6, p. 609-614, 2003.

CARR, L.G. et al. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie**, v.39, p. 540-547, 2006.

CALVEL, R. **O Pão Francês e os Produtos Correlatos: Tecnologia e Prática da Panificação**. Fortaleza: J. Macedo, 1987. 287p.

CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Technology of Breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional, 1998. 354p.

CHARSLEY, E.L.; WARRINGTON, S.B. **Thermal Analysis – Techniques & Applications**, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1992. 296p.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1983. v.1. 333p.

CHUNG, O.; FINNEY, K.F.; POMERANZ, Y. Lipids in flour from gamma-irradiated wheat. **Journal of Food Science**, v.32, p.315-317, 1967.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Como Fazer Massas**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1986. 127p.

CIEŚLA, K.; ELIASSON, A-C. Influence of gamma radiation on potato starch gelatinization studied by differential scanning calorimetry. **Radiation Physics and Chemistry**, v.64, p.137-148, 2002.

CIEŚLA, K.; ELIASSON, A-C. DSC studies of gamma irradiation influence on gelatinization and amylose-lipid complex transition occurring in wheat starch. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 68, p. 933-940, 2003.

D'APPOLONIA, B.L. et al. Carbohydrates. In: POMERANZ, Y. **Wheat – Chemistry and Technology**, St. Paul: American Association of Cereal Chemists Inc., 1964. p.301-392.

DEL MASTRO, N.L. Development of food irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, v. 35, n.3-4, p. 229-248, 1999.

DIEHL, J.F. **Safety of Irradiated Foods**. Karlsruhe: Marcel Dekker Inc., 1995. 454p.

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

EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.; MANCILLA, N. **Fundamentos de Química e Controle de Qualidade dos Cereais**. Fortaleza: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1985. 187p.

ESTADOS UNIDOS. AACC – American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the AACC**. 9.ed. Minesota: 1995.

FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Starch gelatinization kinetics in bread dough – DSC investigations on ‘simulated’ baking processes. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 61, p. 411-423, 2000.

FIFIELD, C.C.; GOLUMBIC, C.; PEARSON, J.L. Effect of gamma-irradiation on the biochemical, storage and bread making properties of wheat. **Cereal Science Today**, v.12, p.253-257, 261-262, 1967.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9.ed. São Paulo: Atheneu, 1992. 307p.

FUNDEP – UFMG. 2004. **Irradiação com Raios Gama**. Disponível em <<http://www.fundep.ufmg.br>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

GIROUX, M.; LACROIX, M. Nutritional adequacy of irradiated meat – a review. **Food Research International**, v. 31, n. 4, p. 257-264, 1998.

HALFEN, V. Preço do pão francês deve subir 5%. **Correio do Estado**, 31 de março de 2005. Disponível em <<http://www.correiodoestado.com.br>>. Acesso em: 28 jul. 2005.

HILSENATH, F.C. **Estudo do impacto da irradiação sobre a qualidade do trigo e da farinha de trigo**. 2005. 61p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo, 2005.

HUNTERLAB – Hunter Associates Laboratory, Inc. Reston. 2004. **Measuring Loose Powder**. Disponível em <www.hunterlab.com/measurementmethods/powder4.html>. Acesso em: 19 jul. 2005.

IPEN – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. São Paulo. 2003. **Irradiação de alimentos**. Disponível em <www.ipen.br>. Acesso em: 4 jul. 2005.

KANEMARU, J. et al. Influence of gamma radiation on rheological properties of wheat flour. In: EURO THERM SEMINAR 77 – HEAT AND MASS TRANSFER IN FOOD

PROCESSING, 77., 2005, Parma. **Eurotherm Seminar 77: Proceedings**. Pisa: ETS, 2005. p. 89-93.

KANG, I.J. et al. Production of modified starches by gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v.54, p.425-430, 1999.

KÖKSEL, H.; ÇELİK, S.; TUNCER, T. Effects of gamma irradiation on durum wheats and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, v.73, p.506-509, 1996.

KÖKSEL, H. et al. Effects of gamma irradiation of wheat on gluten proteins. **Journal of Cereal Science**, v.28, p.243-250, 1998.

KORKMAZ, M.; POLAT, M. Free radical kinetics of irradiated durum wheat. **Radiation Physics and Chemistry**, v.58, p.169-179, 2000.

KOWALSKI, M.B.; CARR, L.G.; TADINI, C.C. Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais do CBCTA 2002**. Porto Alegre: SBCTA, 2002. p.3133-3136.

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.

LEE, C.C. The baking quality and maltose value of flour irradiated with CO^{60} gamma rays. **Cereal Chemistry**, v.36, p.70, 1959.

LEWANDOWICZ, G.; JANKOWSKI, T.; FORNAL, J. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 42, p. 193-199, 2000.

MACARTHUR, L.A.; D'APPOLONIA, B.L. Microwave and gamma radiation of wheat. **Cereal Foods World**, v.27, p.58-60, 1982

MACARTHUR, L.A.; D'APPOLONIA, B.L. Gamma radiation of wheat I: effects on dough and baking properties. **Cereal Chemistry**, v.60, p.456-460, 1983.

MACARTHUR, L.A.; D'APPOLONIA, B.L. Gamma radiation of wheat II: effects of low-dosage radiations on starch properties. **Cereal Chemistry**, v.61, n.4, p.321-326, 1984.

MARATHE, S.A. et al. Extension of shelf-life of whole-wheat flour by gamma radiation. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.163-168, 2002.

MATUDA, T.G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização do uso de aditivos**. 2004. 142p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2004.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**. Boca Raton: CRC Press., 1987. 387p.

METTLER-TOLEDO. **Collected Applications** – Thermal Analysis – Food. 52p. 1998.

NEWSOME, R.L. Perspective on food irradiation. **Food Technology**, v.41 n.2, p.100-101, 1987.

NG, P.K.W.; BUSHULK, W.; BORSA, J. Effect of gamma ray and high energy electron irradiations on bread making quality of two Canadian wheat cultivars. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v.22, p.173-176, 1989.

O'MAHONY, M. **Sensory Evaluation of Food: Statistical Methods and Procedures**. New York: Marcel Dekker, 1989. 487p.

PAREDES-LÓPEZ, O.; COVARRUBIAS-ALVAREZ, M.M. Influence of gamma radiation on the rheological and functional properties of bread wheat. **Journal of Food Technology**, v.19, p.225-331, 1984.

PATERAS, I.M.C. Bread spoilage and staling In: CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Technology of Breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 240-261.

PIZZINATO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997.

POMERANZ, Y. **Modern Cereal Science and Technology**. Pullman: VCH Publishers Inc., 1987. 486p.

PROPAN – PROGRAMA DE APOIO À PANIFICAÇÃO. São Paulo. 2005. **Perfil do setor de trigo**. Disponível em www.propan.com.br. Acesso: 18 jun. 2005.

PSZCZOLA, D.E. 20 ways to market the concept of food irradiation. **Food Technology**, v.51, p.46-48, 1997.

RAO, S.R. et al. Effect of gamma irradiation of wheat on bread making properties. **Cereal Chemistry**, v.52, p.506-512, 1975.

RAO, V.S. et al. Effect of gamma irradiation of wheat on volatile flavor components of bread. **Journal of Food Science**, v.43, p.68-71, 1978.

ROSA, C.M. et al. Efeito das microondas na atividade da α -amilase e na qualidade da farinha de trigo branco (*T. Aestivum*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais do CBCTA 2002**. Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 2383-2386.

ROSTELLATO, C. Trigo ‘invade’ sudoeste paulistano. **O Estado de São Paulo**, 05 de outubro de 2005. Agrícola, Caderno G, p.G8.

SEETHARAMAN, K. et al. Changes in textural, pasting and thermal properties of wheat buns and tortillas during storage. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 215-223, 2002

SILVA, R.C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados**. 2003. 89p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2003.

SILVA, R.C.; REGITANO-D’ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.F. Avaliação dos parâmetros tecnológicos e sensoriais da farinha de trigo irradiada com diferentes doses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais do CBCTA 2002**. Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 2597-2500.

SKALA, J.H.; MCGOWN, E.; WARING, P.P. Wholesomeness of irradiated foods. **Journal of Food Protection**, v.50, p.150-160, 1987.

SMS, STABLE MICRO SYSTEMS. Extensibility of dough and measure of gluten quality (TA-XT2 application study REF: DOU1/KIE), 1995.

SOMMERS, C. et al. Irradiation of ready-to-eat foods at USDA’s Eastern Regional Research Center - 2003 update. **Radiation Physics and Chemistry**, v.71, p.509-512, 2004.

SRINIVAS, H. et al. Effect of gamma-irradiation on wheat proteins. **Journal of Food Science**, v.37, p.715-718, 1972

STAUFFER, C.E. Principles of dough formation. In: CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Technology of Breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 262-295.

SUIÇA. WHO - World Health Organization - High Dose Irradiation. **Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy**. Geneva: WHO Technical Reports Series, 890, Report of a Join FAO/ IAEA/ WHO Study Group, 1999.

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

THOMAS, M.H. Use of ionizing radiation. In: KARMA, E.; HARRIS, R.S. **Nutritional Evaluation of Food Processing**, New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. p. 457-490.

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.

TOMAZELA, J.M. Governo paulista estimula plantio de trigo. **O Estado de São Paulo**, 09 de outubro de 2002. Agrícola, Caderno G, p.G8.

TUNÇBILEK, A.S.; AKIF KANSU, I. The influence of rearing medium to the irradiation sensitivity of eggs and larvae of the flour beetle, (*Tribolium confusum* J. du Val). **Journal of Stored Products Research**, v.32, n.1, p.1-6, 1996.

URBAIN, W.M. **Food Irradiation**. Orlando: Academic Press Inc., 1986. 351p.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 179-184, 2001.

ZAIED, S.E.A.F.; ABDEL-HAMID, A.A.; ATTIA, E.A. Technological and chemical characters of bread prepared from irradiated wheat flour. **Nahrung**, v.40, n.1, p.28-31, 1996.