

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

NEILA CAMARGO DE MOURA

**Efeitos da radiação ionizante de Cobalto-60 nas características físico-químicas,
sensoriais e microbiológicas de pães com adição de linhaça (*Linum usitatissimum*)**

Piracicaba
2011

NEILA CAMARGO DE MOURA

Efeitos da radiação ionizante de Cobalto-60 nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de pães com adição de linhaça (*Linum usitatissimum*)

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof^a. Dr^a. Solange Guidolin Canniatti Brazaca

Piracicaba
2011

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Moura, Neila Camargo de

Efeitos da radiação ionizante de Cobalto-60 nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de pães com adição de linhaça (*Linum usitatissimum*). / Neila Camargo de Moura; orientador Solange Guidolin Canniatti Brazaca - - Piracicaba, 2011.
178 p.: il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Pão 2. Linhaça 3. Irradiação de alimentos I. Título

CDU 664.66:543.7

*À minha família,
especialmente a minha mãe Maria
ao meu pai Jeremias
meus irmãos Jane, Josemar e Jonas
e ao meu sobrinho Thiago*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Solange Guidolin Canniatti Brazaca, pela oportunidade, apoio e orientação na realização dessa pesquisa, além do grande exemplo de mulher e profissional.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa e do auxílio à pesquisa.

À Panificadora Bisnaga, especialmente a Maria Lúcia e o Eduardo, pelo auxílio na elaboração do pão francês pão e do pão de forma preparado com pré-mistura.

À Escola Senai “Mario Dedini” e ao Prof. José Roberto, pelo auxílio na elaboração do pão de forma preparado pelo método “convencional”.

À empresa Via Delícia pela doação das sementes de linhaça.

Aos meus estagiários Caio, Gisele, Gabriele, Marcella, Ivânia e Bruna.

Ao grupo “HPLC”- Ana Paula, Patrícia, Evelise, Suzan e Paulo- pelo auxílio com as análises de vitaminas do complexo B.

Ao querido amigo Paulo, pela amizade, alegrias e ensinamentos proporcionados durante toda a realização dessa pesquisa.

Aos Prof. Carlos Tadeu dos Santos Dias, pelo auxílio e esclarecimentos com as análises estatísticas.

Ao Prof. Cláudio Gallo e ao Laboratório de Microbiologia pela parceria com as análises microbiológicas.

À bibliotecária Marília pela atenção e cuidados com as correções.

À minha querida família pelo estímulo constante, foi por vocês que cheguei até aqui.

À todos que eu não mencionei, mas que estiveram de algum modo presentes nessa caminhada, o meu muito obrigada!

*“O homem tem de viver, não somente de pão,
mas de cada pronúncia procedente da boca do Criador”.*

Mateus 4:4

*“Se eu falar em línguas de homens e de anjos, mas
não tiver amor, tenho-me tornado um pedaço de
latão que ressoa ou um címbalo que retine”.*

1ª. Coríntios 13:1

RESUMO

MOURA, N.C. **Efeitos da radiação ionizante de Cobalto-60 nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de pães com adição de linhaça (*Linum usitatissimum*)**. 2011. 178p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

A incorporação de ingredientes funcionais a produtos de panificação tem crescido muito ultimamente, em função da preocupação com a saúde dos consumidores. A linhaça tem despertado o interesse pelo seu alto teor de fibras, lignanas, ômega-3 e compostos antioxidantes. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da radiação ionizante de ^{60}Co nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de pães com adição de diferentes concentrações de linhaça marrom. Foram elaborados 3 tipos de pães: pão francês, pão de forma preparado com pré-mistura e pão de forma elaborado com ingredientes (“convencional”). Foi adicionada linhaça marrom triturada na massa dos pães nas concentrações 8% e 12%. Após o preparo, os pães foram embalados em embalagem de polipropileno e levados ao Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (IPEN/USP) e irradiados nas doses 6, 8 e 10 kGy. Foram elaborados tratamentos sem adição de linhaça e sem irradiação para controle, totalizando no experimento 12 tratamentos, para cada formulação de pão testado. Foram realizadas análises químicas (composição centesimal, compostos antinutricionais, atividade antioxidante, índice glicêmico, ácidos graxos, vitaminas do complexo B e minerais); análises físicas (índice de cocção, volume, cor e atividade de água); análise sensorial (teste de preferência e Análise Descritiva Quantitativa - ADQ); análise microbiológica e uma pesquisa de opinião sobre produtos irradiados. Observou-se que a adição de linhaça foi eficiente para aumentar o teor de fibras alimentares e o teor de lipídeos nas 3 formulações de pães. Os pães que receberam adição de linhaça e que não foram irradiados apresentaram aumento no teor de fenólicos totais, porém, ao submeter as amostras que receberam adição de linhaça ao processo de irradiação, observou-se diminuição da capacidade antioxidante. Houve aumento no teor de ômega 3 de acordo com a porcentagem de linhaça adicionada aos pães. A adição de linhaça foi eficiente para aumentar o teor de potássio, fósforo e magnésio. Porém a irradiação diminuiu o teor de vitamina B₁ e vitamina B₆ dos pães. A irradiação não influenciou na qualidade dos pães obtidos. Os provadores não treinados aceitaram os pães independentemente da dose de radiação aplicada. A ADQ evidenciou que as características sensoriais das amostras são dependentes da variação dos ingredientes utilizados nas formulações e da irradiação. As amostras irradiadas apresentaram contagens de bolores consideravelmente mais baixos que as amostra não irradiadas, o que aumentou o *shelf-life* desses produtos. A pesquisa de opinião revelou que a maioria dos entrevistados tem pouco ou nenhum conhecimento sobre irradiação e acreditam que a irradiação pode trazer algum tipo de prejuízo ao humano. Portanto, a fabricação de pães enriquecidos com sementes de linhaça triturada e submetidos à radiação gama é promissora, uma vez que as propriedades químicas e sensoriais foram consideradas satisfatórias, além de terem o tempo de prateleira aumentado.

Palavras-chave: pão francês, pão de forma, pré-mistura, linhaça, irradiação.

ABSTRACT

MOURA, N.C. **Ionizing radiation effects of Cobalt-60 on the physical-chemical, sensorial and microbiological of bread with addition of linseed (*Linum usitatissimum*)**. 2011. 178p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

The incorporation of functional ingredients on breading products has grown very much lately, because of the preoccupation with the consumers' health. The linseed has awakened the interest by its high level of fiber, lignin, omega-3 and antioxidants compounds. The objective of the present work is evaluate the ionizing radiation effect of ^{60}Co on the physical-chemical, sensorial and microbiological characteristics of bread with addition of different concentration of brown linseed. There were elaborated 3 types of bread: French roll, form bread prepared with the mixture and form bread produced with conventional ingredients. It was added smashed brown linseed on the bread dough, with concentrations of 8% and 12%. After the preparation, the three kinds of bread packed with polypropylene packages and taken to the IPEN/USP (Institute of Nuclear Energetic Research/University of São Paulo) and irradiated with doses of 6, 8 and 10 kGy. Treatments were elaborated without the addition of linseed and without irradiation, for control, totalizing 12 distinct treatments, to each bread formula tested. Chemical analyses were made (centesimal composition, anti-nutritional compounds, anti-oxidant activity, glycemic index, fat acids, complex B vitamins and minerals); physical analyses (cooking index, volume, color and water activity); sensorial analyses (preference tests and Descriptive Quantitative Analysis – ADQ); microbiological analysis and a survey about irradiated products. It could be seen that the addition of linseed was efficient to increase the level of alimentary fiber and the level of lipids on the 3 bread formula. The three kinds of bread that received the linseed addition and that were not irradiated presented increase on the level of total phenolic; however, when the samples which received the linseed addition were submitted to the irradiation process, it could be noticed the decrease of the antioxidant capacity. There was an increase on the level of omega-3, depending on the percentage of linseed added to the bread. The linseed addition was effective to raise the level of potassium, phosphorus and magnesium. But, the irradiation decrease the level of vitamin B₁ and vitamin B₆ of the three kinds of bread. The irradiation did not influence the quality of the obtained bread. The sample tasters, not trained, accepted the bread independently of the doses of applied radiation. The ADQ test evidenced that the sensorial characteristics of the samples depend on the ingredient variation used on the formulas and on the radiation. The irradiated samples presented mold counting considerably lower than the non-irradiated samples, which increased the shelf-life of those products. The survey reveals that the majority of the people interviewed has little or any knowledge about radiation and believe that the irradiation can generate some kind of harm for human beings. Therefore, the bread production enriched with mashed linseed and submitted to gamma radiation is promising, given that the chemical and sensorial properties were considered satisfactory, besides the increasing of the shelf-time.

Keywords: French roll, form bread, pre-ready mixture, linseed, irradiation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Símbolo utilizado em produtos irradiados..... | 30 |
| Figura 2: Ingredientes utilizados no preparo do pão francês elaborado com pré-mistura..... | 42 |
| Figura 3: Ingredientes utilizados no preparo do pão de forma confeccionado com pré-mistura..... | 43 |
| Figura 4: Ingredientes do pão “convencional”..... | 44 |
| Figura 5: Ficha de avaliação sensorial de aceitabilidade e intenção de compra..... | 57 |
| Figura 6: Ficha de recrutamento..... | 58 |
| Figura 7: Ficha para o teste de reconhecimento dos gostos básicos..... | 60 |
| Figura 8: Ficha para o teste triangular..... | 61 |
| Figura 9: Ficha para o levantamento dos atributos..... | 62 |
| Figura 10: Modelo de ficha de avaliação com escala não estruturada..... | 63 |
| Figura 11: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão francês..... | 64 |
| Figura 12: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão de forma elaborado com pré-mistura..... | 65 |
| Figura 13: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão de forma preparado pelo método “convencional”..... | 66 |
| Figura 14: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão francês..... | 68 |
| Figura 15: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão elaborado com pré-mistura..... | 69 |
| Figura 16: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão de forma elaborado pelo método “convencional”..... | 70 |
| Figura 17: Modelo de questionário para avaliar a opinião do consumidor em relação à irradiação de alimentos..... | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Composição centesimal em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça..... | 76 |
| Tabela 2. Fenólicos totais (μg de catequina. g^{-1}) em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 78 |
| Tabela 3. Atividade antioxidante em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 79 |
| Tabela 4. Índice Glicêmico em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 81 |
| Tabela 5. Perfil de ácidos graxos (%) determinados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 82 |
| Tabela 6. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 84 |
| Tabela 7. Teor de macrominerais (mg.g^{-1}) quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 85 |
| Tabela 8. Teor de microminerais $\mu\text{g.g}^{-1}$ quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 86 |
| Tabela 9. Porcentagem de disponibilidade de minerais quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 88 |
| Tabela 10. Teor de vitamina B ₁ , B ₂ e B ₆ quantificada em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 90 |
| Tabela 11. Índice de Cocção do pão francês com diferentes porcentagens de linhaça e submetido à radiação gama..... | 92 |
| Tabela 12. Peso do pão francês (g) antes e após à submissão da radiação gama..... | 92 |
| Tabela 13. Volume específico encontrados no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 93 |
| Tabela 14. Croma do miolo e da casca encontrado no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 94 |
| Tabela 15. Atividade de água encontrada no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 95 |
| Tabela 16. Perfil dos entrevistados na análise de aceitação de pão..... | 96 |
| Tabela 17. Média das notas atribuídas ao pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama e controle..... | 96 |
| Tabela 18. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica..... | 97 |
| Tabela 19. Média das notas atribuídas a intenção de compra do pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 98 |
| Tabela 20. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados..... | 99 |
| Tabela 21. Quantidades de UFC. g^{-1}) de <i>Bacillus cereus</i> em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 101 |
| Tabela 22. Quantidade de UFC. g^{-1} de bolores e leveduras em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 102 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 23. Quantidade de UFC.g ⁻¹ de <i>Staphylococcus</i> coagulase positiva em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 103 |
| Tabela 24. Composição centesimal em pão forma com diferentes porcentagens de linhaça..... | 104 |
| Tabela 25. Fenólicos totais (µg de catequina.g ⁻¹) em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 106 |
| Tabela 26. Atividade antioxidante ¹ em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 107 |
| Tabela 27. Índice glicêmico em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 109 |
| Tabela 28. Perfil de ácidos graxos determinados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 111 |
| Tabela 29. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 113 |
| Tabela 30. Teor de macrominerais (mg.g ⁻¹) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 114 |
| Tabela 31. Teor de microminerais (µg.g ⁻¹) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 115 |
| Tabela 32. Porcentagem de Disponibilidade de minerais quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 116 |
| Tabela 33. Teor de vitamina B ₁ , B ₂ e B ₆ quantificada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 118 |
| Tabela 34. Índice de cocção do pão forma com diferentes porcentagens de linhaça e submetidos à radiação gama..... | 119 |
| Tabela 35. Peso do pão de forma antes e após à submissão da radiação gama | 120 |
| Tabela 36. Volume específico encontrados no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 121 |
| Tabela 37. Croma do miolo e da casca encontrado no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 122 |
| Tabela 38. Atividade de água encontrada no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 123 |
| Tabela 39. Perfil dos entrevistados..... | 123 |
| Tabela 40. Média das notas atribuídas ao pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 124 |
| Tabela 41. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica..... | 125 |
| Tabela 42. Média das notas atribuídas à intenção de compra do pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 126 |
| Tabela 43. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados..... | 127 |
| Tabela 44. Quantidades de UFC. g ⁻¹ de <i>Bacillus cereus</i> em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 129 |
| Tabela 45. Quantidade UFC.g ⁻¹ de bolores e leveduras de pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 130 |
| Tabela 46. Quantidade de UFC. g ⁻¹ de <i>Staphylococcus coagulase</i> positiva em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 131 |
| Tabela 47. Composição centesimal em pão forma com diferentes porcentagens de linhaça..... | 132 |
| Tabela 48. Atividade antioxidante ¹ em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 134 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 49. Índice glicêmico em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 135 |
| Tabela 50. Perfil de ácidos graxos determinados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 137 |
| Tabela 51. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 139 |
| Tabela 52. Teor de macrominerais (mg.g ⁻¹) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 140 |
| Tabela 53. Teor de microminerais (µg.g ⁻¹) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 141 |
| Tabela 54. Porcentagem de disponibilidade de minerais quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 142 |
| Tabela 55. Teor de vitamina B ₁ , B ₂ e B ₆ quantificada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 143 |
| Tabela 56. Índice de cocção do pão forma com diferentes porcentagens de linhaça e submetidos à radiação gama..... | 144 |
| Tabela 57. Peso do pão de forma antes e após à submissão da radiação gama..... | 145 |
| Tabela 58. Volume específico encontrados no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 146 |
| Tabela 59. Croma do miolo e da casca encontrado no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 147 |
| Tabela 60. Atividade de água encontrada no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 148 |
| Tabela 61. Perfil dos entrevistados..... | 149 |
| Tabela 62. Média das notas atribuídas ao pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 149 |
| Tabela 63. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica..... | 150 |
| Tabela 64. Média das notas atribuídas à intenção de compra do pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama..... | 151 |
| Tabela 65. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados..... | 152 |
| Tabela 66. Quantidades de UFC.g ⁻¹ de <i>Bacillus cereus</i> em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 154 |
| Tabela 67. Quantidades de UFC/g de bolores e leveduras em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 155 |
| Tabela 68. Quantidades de UFC/g de <i>Staphylococcus</i> coagulase positiva em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração..... | 156 |
| Tabela 69. Caracterização do perfil dos entrevistados na pesquisa de opinião..... | 158 |
| Tabela 70. Nível de conhecimento dos entrevistados sobre o assunto irradiação..... | 158 |
| Tabela 71. Respostas encontradas para a questão finalidade da irradiação..... | 159 |
| Tabela 72. Respostas obtidas referentes à pergunta sobre consumo de produto irradiado..... | 159 |
| Tabela 73. Respostas à pergunta “alimento irradiado é o mesmo que alimento radiativo”..... | 160 |
| Tabela 74. Respostas obtidas dos entrevistados referentes aos prejuízos gerados pela irradiação..... | 160 |
| Tabela 75. Intenção de compra dos entrevistados em relação a um produto irradiado..... | 160 |
| Tabela 76. Grau de conhecimento do símbolo de um alimento irradiado..... | 161 |
| Tabela 77. Resposta a pergunta “você consumiria um produto irradiado se soubesse que isso o tornaria mais seguro..... | 161 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 OBJETIVO GERAL | 17 |
| 2.1 Objetivos específicos..... | 17 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 18 |
| 3.1 Pão..... | 18 |
| 3.2 Composição da massa de pão..... | 19 |
| 3.2.1 Farinha de trigo..... | 20 |
| 3.2.2 Água..... | 20 |
| 3.2.3 Fermento..... | 20 |
| 3.2.4 Gordura..... | 20 |
| 3.2.5 Sal..... | 20 |
| 3.2.6 Açúcar..... | 21 |
| 3.2.7 Emulsificantes..... | 21 |
| 3.2.8 Agentes Oxidantes..... | 22 |
| 3.3 Processamento da massa do pão..... | 22 |
| 3.3.1 Mistura..... | 22 |
| 3.3.2 Divisão, modelagem e fermentação..... | 23 |
| 3.3.3 Assamento..... | 23 |
| 3.4 Pré-misturas de pães com trigo..... | 24 |
| 3.5 Linhaça..... | 24 |
| 3.6 Índice glicêmico..... | 26 |
| 3.7 Radiação ionizante em alimentos..... | 27 |
| 3.7.1 Irradiação de trigo, farinha e pães..... | 30 |
| 3.7.2 Alterações na fração protéica..... | 33 |
| 3.7.3 Alterações na fração carboidrato | 34 |
| 3.7.4 Alterações na fração lipídica..... | 35 |
| 3.7.5.Dose | 36 |
| 3.7.6 Impacto da irradiação sobre os nutrientes..... | 37 |
| 3.7.7 Radicais Livres..... | 37 |
| 3.8 Características Físicas e Sensoriais de pães..... | 38 |
| 3.9 Shelf-Life..... | 40 |
| 3.10. Atitude do consumidor em relação a produtos irradiados..... | 40 |
| 3.11 Perspectivas para o emprego da irradiação na conservação de alimentos..... | 41 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 42 |
| 4.1 Preparo do pão francês..... | 42 |
| 4.2 Preparo do pão de forma..... | 43 |
| 4.2.1 Pão de forma confeccionado com pré-mistura..... | 43 |
| 4.2.2 Preparo do pão de forma “Convencional” | 44 |
| 4.3 Armazenamento e irradiação das amostras..... | 45 |
| 4.4 Análises químicas..... | 46 |
| 4.4.1 Composição centesimal..... | 46 |
| 4.4.2 Determinação de ácido fítico..... | 46 |
| 4.4.3 Taninos..... | 47 |
| 4.4.4 Fenólicos totais..... | 47 |
| 4.4.5 Atividade antioxidante | 47 |
| 4.4.5.1 DPPH..... | 47 |

| | |
|---|------------|
| 4.4.5.2 ABTS..... | 48 |
| 4.4.6 Índice Glicêmico..... | 48 |
| 4.4.7 Determinação de ácidos graxos..... | 49 |
| 4.4.8 Índice de acidez..... | 50 |
| 4.4.9 Teor e diálise de minerais <i>in vitro</i> | 51 |
| 4.4.10 Vitaminas do complexo B..... | 52 |
| 4.4.10.1 Vitamina B ₁ | 52 |
| 4.4.10.2 Vitamina B ₂ | 53 |
| 4.4.10.3 Vitamina B ₆ | 53 |
| 4.5 Análises físicas..... | 53 |
| 4.5.1 Índice de Cocção..... | 54 |
| 4.5.2 Volume..... | 54 |
| 4.5.3 Cor..... | 54 |
| 4.5.4. Atividade de água | 54 |
| 4.6 Análise sensorial..... | 55 |
| 4.6.1 Teste de preferência e intenção de compra..... | 55 |
| 4.6.2 Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) | 55 |
| 4.6.2.1. Recrutamento | 56 |
| 4.6.2.2 Seleção..... | 59 |
| 4.6.2.3 Levantamento dos termos descritores..... | 61 |
| 4.6.2.4 Treinamento e ADQ..... | 67 |
| 4.7 Análise Microbiológica..... | 72 |
| 4.8 Pesquisa de opinião..... | 73 |
| 4.9. Análise estatística..... | 76 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 76 |
| 5.1 PÃO FRANCÊS..... | 76 |
| 5.1.1 Análises químicas..... | 76 |
| 5.1.1.1 Composição Centesimal..... | 76 |
| 5.1.1.2 Determinação de ácido fítico..... | 77 |
| 5.1.1.3 Taninos..... | 78 |
| 5.1.1.4 Fenólicos Totais..... | 78 |
| 5.1.1.5 Atividade Antioxidante..... | 79 |
| 5.1.1.6 Índice Glicêmico..... | 80 |
| 5.1.1.7 Determinação de ácidos graxos..... | 82 |
| 5.1.1.8 Índice de acidez..... | 84 |
| 5.1.1.9 Teor de minerais..... | 85 |
| 5.1.1.10 Diálise de Minerais <i>in vitro</i> | 87 |
| 5.1.1.11 Vitaminas do Complexo B..... | 89 |
| 5.1.2 Análises Físicas..... | 91 |
| 5.1.2.1 Índice de cocção | 91 |
| 5.1.2.2 Volume..... | 93 |
| 5.1.2.3 Cor..... | 94 |
| 5.1.2.4 Atividade de água..... | 95 |
| 5.1.3. Análise Sensorial..... | 96 |
| 5.1.3.1 Teste de preferência..... | 96 |
| 5.1.3.2 Intenção de compra..... | 98 |
| 5.1.3.3. Análise Descritiva Quantitativa..... | 98 |
| 5.1.4 Análises Microbiológicas..... | 101 |
| 5.2 PÃO DE FORMA ELABORADO COM PRÉ-MISTURA | 104 |
| 5.2.1 Análises Químicas..... | 104 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.1.1 Composição Centesimal | 104 |
| 5.2.1.2 Determinação de ácido fítico..... | 105 |
| 5.2.1.3 Taninos..... | 105 |
| 5.2.1.4 Fenólicos Totais..... | 106 |
| 5.2.1.5 Atividade Antioxidante..... | 107 |
| 5.2.1.6 Índice Glicêmico..... | 108 |
| 5.2.1.7.Determinação de ácidos graxos | 110 |
| 5.2.1.8 Índice de Acidez..... | 112 |
| 5.2.1.9 Teor de Minerais..... | 113 |
| 5.2.1.10 Diálise de minerais “in vitro” | 116 |
| 5.2.1.11 Vitaminas do Complexo B..... | 117 |
| 5.2.2 Análises Físicas | 119 |
| 5.2.2.1 Índice de cocção..... | 119 |
| 5.2.2.2 Volume..... | 120 |
| 5.2.2.3 Cor..... | 121 |
| 5.2.2.4 Atividade de água..... | 122 |
| 5.2.3 Análise Sensorial..... | 123 |
| 5.2.3.1 Teste de preferência..... | 124 |
| 5.2.3.2 Intenção de compra..... | 126 |
| 5.2.3.3Análise Descritiva Quantitativa..... | 126 |
| 5.2.4 Análises Microbiológicas..... | 128 |
| 5.3 PÃO DE FORMA ELABORADO PELO | |
| MÉTODO “CONVENCIONAL” | 132 |
| 5.3.1 Análises Químicas..... | 132 |
| 5.3.1.1Composição Centesimal..... | 132 |
| 5.3.1.2 Determinação de ácido fítico..... | 132 |
| 5.3.1.3Taninos | 133 |
| 5.3.1.4 Fenólicos Totais..... | 133 |
| 5.3.1.5 Atividade Antioxidante..... | 134 |
| 5.3.1.6 Índice Glicêmico..... | 135 |
| 5.3.1.7 Determinação de ácidos graxos..... | 137 |
| 5.3.1.8Índice de acidez..... | 139 |
| 5.3.1.9 Teor de minerais..... | 140 |
| 5.3.1.10 Diálise de Minerais <i>in vitro</i> | 142 |
| 5.3.1.11 Vitaminas do Complexo B..... | 143 |
| 5.3.2 Análises Física..... | 144 |
| 5.3.2.1 Índice de cocção..... | 144 |
| 5.3.2.2 Volume..... | 145 |
| 5.3.2.3 Cor | 146 |
| 5.3.2.4 Atividade de água..... | 148 |
| 5.3.3 Análise Sensorial..... | 149 |
| 5.3.3.1 Teste de preferência..... | 149 |
| 5.3.3.2 Intenção de compra..... | 151 |
| 5.3.3.3 Análise Descritiva Quantitativa..... | 152 |
| 5.3.4 Análises Microbiológicas..... | 153 |
| 5.3.5 Pesquisa de Opinião..... | 157 |
| 5.3.5.1 Caracterização da amostragem..... | 157 |
| 6 CONCLUSÕES | 162 |
| REFERÊNCIAS..... | 164 |

1 INTRODUÇÃO

Para a elaboração de pães os ingredientes essenciais são farinha, água, fermento (*Sacharomyces cerevisiae*) e sal. Outros ingredientes podem ser empregados como enriquecedores na elaboração de pães como gordura, açúcar, ovos e leite. Uma vez reunidos cumprem funções tecnológicas específicas tais como fermentar e favorecer o crescimento da massa, reter água, realçar o sabor, conservar, formar e fortalecer a rede de glúten, aumentar a maciez, desenvolver coloração agradável, distribuir a temperatura por toda a massa, reter gás, conferir umidade, ligar, aromatizar, aerar, emulsificar, aumentar o valor nutritivo e ampliar a durabilidade (MACHADO, 1996).

A popularidade do pão é devido ao sabor, preço e disponibilidade junto às milhares de padarias e supermercados do país. Crescendo rapidamente, o mercado de pães artesanais e industriais demanda a criação de novas padarias e fábricas, desenvolvimento de maquinário, receitas, aditivos e coadjuvantes. Grande parte do consumo brasileiro é representada pela linha constituída por pães com crosta fina ou nenhuma e bastante miolo. Há também o consumo do pão francês, por grande parte da população. O maior consumo de pães de forma, hambúrguer, *hot-dog*, bisnagas é impulsionado pelas cadeias de *fast-food* – além de pães especiais como bisnaguinhas, bastante populares no café da manhã de hotéis e merenda escolar (ESTELLER et al., 2004). Hoje é comum também a utilização de misturas pré-prontas para fabricar pães.

Devido à ampla divulgação pela imprensa em geral da relação entre alimentação e saúde, a preocupação da sociedade ocidental com os alimentos tem aumentado de forma exponencial. Grande quantidade de novos produtos que supostamente proporcionam benefícios à saúde tem sido apresentada pela indústria alimentícia diariamente (ANJO, 2004).

Com a finalidade de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, têm surgido no mercado pães confeccionados com farinha integral ou que incorporam em sua composição ingredientes opcionais como grãos e sementes. A semente de linhaça tem se destacado como um alimento funcional, uma vez que apresenta alguns nutrientes específicos que podem trazer diversos benefícios à saúde. Fonte de ácidos graxos ômega 3 e 6, a linhaça também é rica em minerais como potássio, fósforo e magnésio, vitaminas e lignanas, composto associado às fibras. O nosso organismo consegue sintetizar a maioria dos ácidos graxos saturados e insaturados, porém, não os essenciais. Estes estão divididos em dois grupos: os da família ômega 3 (ácido linolênico) e Omega 6 (ácido linoléico). Os ácidos graxos Omega 3 apresentam dois derivados muito importantes (EPA – ácido eicosapentaenóico e DHA - ácido

docosa-hexaenóico). O EPA é muito importante na prevenção de doenças cardiovasculares e hipertensão. O DHA apresenta capacidade de prevenir doença cardíaca, reduzir a taxa de triglicérides e colesterol, além de favorecer a diminuição da inflamação e reduzir a agregação plaquetária, tornando o sangue mais fluído e evitando a formação de trombos, além de ser importante no desenvolvimento da função visual e cerebral (GIBSON; MAKRIDES, 2000).

Rica em carboidratos complexos, a presença das fibras é outro ponto positivo da semente, que apresenta baixo índice glicêmico. A proporção adequada entre as frações de fibras solúveis e insolúveis auxilia na diminuição do colesterol, no controle da glicemia e no bom funcionamento do intestino. Além disso, as fibras em geral têm sido associadas a outras funções no organismo, como a promoção da saciedade e controle da ingestão alimentar (MANDASESCU; MOCANU; DASCALITA, 2005).

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 a preservação e melhoria da segurança do alimento (WHO, 1999).

Apesar de toda aprovação e controle no emprego da irradiação, diversas barreiras ainda persistem e impedem que os alimentos irradiados alcancem à completa comercialização. Na verdade, não são barreiras de natureza técnica ou científica, mas relacionadas ao custo de sua utilização e de aceitação pelo consumidor. Em função disso, atitudes deverão ser implementadas começando pela conscientização dos consumidores em relação à segurança e benefícios obtidos por esta técnica e passando também por um estreitamento nas relações entre o governo e as indústrias do setor, que precisam ser fortalecidas (ORNELLAS et al., 2006).

Portanto, a relevância do presente estudo é justificada pela necessidade de levantamento de dados atuais em relação aos efeitos físico-químicos e sensoriais ocasionados pelo processo de irradiação em pães de forma e francês, obtidos a partir de elaboração comum bem como obtidos a partir de pré-mistura, técnica muito comum utilizada no segmento da panificação.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da radiação ionizante de ^{60}Co nas características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de pães com adição de diferentes concentrações de linhaça marrom.

2.1 Objetivos específicos

- Elaborar pão francês a partir de mistura pré-pronta e adicionar sementes de linhaça triturada nas concentrações 8% e 12% e submetê-los à radiação com ^{60}Co nas doses 0,0; 6,0; 8,0 e 10,0 kGy após assados;
- Elaborar pães de forma através de mistura pré - pronta ou de ingredientes e adicionar 8% e 12% de sementes de linhaça triturada na formulação e submetê-los à radiação com ^{60}Co nas doses 0,0; 6,0; 8,0 e 10,0 kGy após assados;
- Analisar a composição química dos pães elaborados (composição centesimal, compostos antinutricionais, atividade antioxidante, índice glicêmico, ácidos graxos, vitaminas do complexo B e minerais);
- Avaliar a qualidade dos pães através de análises físicas (índice de cocção, volume, cor, atividade de água);
- Identificar a preferência e a intenção de compra dos consumidores em relação aos produtos;
- Realizar Análise Descritiva Quantitativa com provadores treinados nas 5 melhores amostras apontadas pelo Teste de Preferência;
- Avaliar o efeito da irradiação sobre a qualidade microbiológica do pão francês e dos pães de forma.
- Averiguar a percepção dos consumidores em relação aos alimentos irradiados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Pão

É crescente o interesse pelo desenvolvimento de “novos produtos com propriedades de alegações funcionais”, que atendam aos anseios dos consumidores, ultimamente bastante exigentes quanto aos padrões de qualidade dos alimentos e conscientes da relação existente entre alimentação e saúde (ROLIM et al., 2010).

Um exemplo do crescimento de novos produtos, no Brasil, é o segmento de panificação. O pão, considerado um alimento popular de elevado consumo na forma de lanches ou acompanhando das refeições, é bastante apreciado, devido às suas características sensoriais e disponibilidade. Atualmente existe grande variedade de pães enriquecidos com fibras alimentares de diversas fontes, propiciando à tecnologia de alimentos a criação de novas formulações, com vista à obtenção de produtos diferenciados no mercado (BATTOCHIO, 2006).

O pão está presente desde os primórdios da vida do homem, pois vestígios mostram que já na pré-história, o ser humano se alimentava de um pão rudimentar. Ao longo do tempo o pão foi aperfeiçoado, ganhou novas formas, formulações e processos. É um alimento que pode contribuir de modo importante em uma dieta bem equilibrada, devido ao seu conteúdo em amido (FORTOUL; ROSELL, 2011). Os avanços tecnológicos permitiram a substituição ou a agregação de ingredientes como o ovo e a gordura, buscando melhor qualidade. A industrialização do fermento também contribuiu para o desenvolvimento (ARAÚJO, 1996).

Assim como outros produtos de panificação, normalmente os pães têm vida de prateleira curta, devido a alterações físicas e químicas que afetam a crosta e o miolo durante o armazenamento (FORTOUL; ROSELL, 2011).

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 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 (ANVISA, 2000). De acordo com Carr (2006), o pão francês fresco apresenta crosta atrativa e crocante, aroma agradável e miolo de textura macia e elástica. No entanto, pão francês é um produto com curta *shelf-life* 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 diferente 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).

Pão de forma é o produto obtido pela cocção da massa em formas, apresentando miolo elástico e homogêneo, com poros finos e casca fina e macia (ANVISA, 2000), sendo produzido a partir da mistura dos ingredientes farinha, água, fermento e sal, divisão, modelagem, fermentação e cozimento. Devido a sua alta atividade de água, o período de comercialização é relativamente curto, pois se trata de alimento perecível. (GUTKOSKI; JACOBSEN NETO, 2002).

Um dos fatores que limita a vida de prateleira do pão é o envelhecimento que ocorre devido à retrogradação e que contribui para aumentar a firmeza do miolo, dando sensação de produto seco ao ser ingerido. Esses fatores, aliados à necessidade de diminuir os custos operacionais e expandir o mercado, têm levado panificadores a exigirem novas tecnologias e o desenvolvimento de novos métodos de produção de massas (GUTKOSKI; SANTOS 2004).

3.2 Composição da massa de pão

O pão é composto basicamente de farinha de trigo, água, fermento biológico e sal. Entretanto outros componentes são adicionados em pequena quantidade para melhorar as características da massa durante o processamento e do produto final. Estes componentes são: gordura vegetal, açúcares, emulsificantes, agentes oxidantes e enzimas (MATUDA, 2004).

3.2.1 Farinha de trigo

A composição da farinha de trigo se altera de acordo com a variedade do trigo e de seu grau de extração. Os lipídios são responsáveis por menos de 2% e as cinzas por menos de 0,5% de sua composição (PENFIELD; CAMPBELL, 1990).

As proteínas correspondem aproximadamente 12% da composição da farinha, dividindo-se em proteínas solúveis (albumina e globulina) responsáveis por um sexto do total e o restante às proteínas do glúten (gliadina e glutenina) que possuem as propriedades de panificação da farinha. A glutenina é responsável pela característica de extensibilidade e a gliadina pela coesão e elasticidade da massa (STAUFFER, 1998).

O principal carboidrato na farinha de trigo é o amido, responsável por aproximadamente 65% da sua composição. O amido apresenta-se em forma de grânulos sendo

seu tamanho e formato característicos de sua origem botânica. Os maiores componentes do amido são a amilose e a amilopectina. A amilose é um polímero de cadeia linear com ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6 (STAUFFER, 1998).

A farinha de trigo é o principal ingrediente da massa de pão, sendo as quantidades dos demais ingredientes calculadas sobre a sua, que corresponde a uma base de 100%. Os diferentes tipos de farinhas são utilizados de acordo com as características desejadas da massa (LAAKSONEN, 2001).

3.2.2 Água

A quantidade de água absorvida depende da qualidade da farinha de trigo. Uma farinha de boa qualidade garante boa absorção de água e retenção da umidade durante o processamento da massa. Melhores resultados de volume são obtidos quando o nível de água absorvido é o maior possível antes da massa se tornar pegajosa, porém o volume não depende apenas da absorção de água, mas também do tempo de batimento (LAAKSOMEN, 2001).

3.2.3 Fermento

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada como fermento em panificação que metaboliza açúcares como glicose, frutose, sacarose e maltose, sob condições anaeróbias, produzindo gás carbônico (CO₂) necessário para o crescimento da massa e para a obtenção de compostos aromáticos característicos de produtos de panificação fermentado (MATUDA, 2004).

3.2.4 Gordura

A gordura age como um lubrificante molecular por aumentar a extensibilidade da massa. A concentração habitual desse ingrediente na massa do pão é de 3%. O uso de elevadas quantidades resulta em uma massa muito extensível que se torna incapaz de resistir à pressão do gás produzido durante a fermentação (EL- DASH, 1986).

3.2.5 Sal

O sal interage na formação da rede de glúten e controla a fermentação devido ao efeito osmótico na célula da levedura, porém a sua função mais importante é a de fornecer sabor. A

quantidade utilizada é aproximadamente de 2% sobre a farinha de trigo (WILLIAMS; PULLEN, 1998).

3.2.6 Açúcar

O açúcar é substrato para a fermentação e para as reações com aminoácidos (reação de Mailard) e de caramelização, responsáveis pela coloração e sabor característico no final do assamento (QUAGLIA, 1991).

3.2.7 Emulsificantes

Os emulsificantes são utilizados em panificação a fim de minimizar o envelhecimento dos pães, melhorar o manuseio e a força da massa, aumentar a tolerância ao tempo de descanso e de fermentação entre outras características. Normalmente não são encontradas todas as características desejáveis em um único emulsificante. Eles podem apresentar propriedade lipolítica e hidrolítica, reduzindo a tensão interfacial em fases que normalmente não se misturam (STAMPLI; NERSTEN, 1995).

Os emulsificantes são categorizados em duas classes: os que formam complexos com o amido, favorecendo a maciez do miolo e prevenindo o envelhecimento, como por exemplo, os monoglicerídeos; e os que atuam na interação com proteínas, fortalecem a massa e aumentam a habilidade do glúten de formar um filme que retém a produção de gás pela levedura, como por exemplo, o SSL (Estearoil-2-lactil lactato de sódio) e o CSL (Estearoil-2-lactil lactato de cálcio). O SSL, o CLS e o Polisorbato são os mais utilizados para o fortalecimento da massa, atuando na fermentação, manuseio, transporte, crescimento e no princípio do assamento, resultando em maiores volumes do pão (STAMPLI; NERSTEN, 1995).

O CSL é um sólido com alto ponto de fusão que pode ser adicionado na massa em forma de pó, sozinho ou com outros aditivos. Melhora a retenção de gás em massas e a vida de prateleira do produto, devido à capacidade de se ligar a amilose. Por ser miscível em gordura, é ideal para pães que contenham gordura e apresenta melhores resultados quando o produto contém gordura e açúcar (WILLIAM; PULSEN, 1998). O Polisorbato 80 atua na interação de proteínas, melhorando a retenção de gás, a textura e o volume (BRANDT, 1996).

A enzima alfa-amilase atua sobre as moléculas de amilose e amilopectina quebrando-as em cadeia menores denominadas dextrinas. A beta-amilase ataca somente as extremidades

das cadeias de amilose e amilopectina formando moléculas de maltose (WILLIAMS; PULLEN, 1998).

León; Durán; Barber (2002) estudaram a influência de misturas de enzimas contendo alfa-amilase e lipase em formulações de pães ao longo do tempo e verificaram efeito benéfico na manutenção das propriedades sensoriais, de firmeza e a formação do complexo amilose-lipídico mais termoestável. A retrogradação da amilopectina foi inibida pelo uso das enzimas.

3.2.8 Agentes Oxidantes

As maiores contribuições de oxidantes em panificação estão na substituição do processo de manutenção da farinha de trigo que ocorre normalmente de 1 a 2 meses após a sua produção; no branqueamento da farinha removendo a coloração amarela; e no fortalecimento da matriz de glúten para resistir ao estresse do batimento rápido (STAUFFER, 1990).

O ácido ascórbico é um agente oxidante que fortalece a rede de glúten através da criação de ligações dissulfídicas, responsável pelo aumento no tamanho do pão nos primeiros minutos de assamento (NAKAMURA; KURATA, 1997).

3.3 Processamento da massa do pão

3.3.1 Mistura

A mistura consiste em homogeneizar os ingredientes, dispersar, solubilizar e hidratar uniformemente os componentes da massa. O trabalho mecânico contribuiu para o desenvolvimento da estrutura do glúten e incorpora bolhas de ar, assim uma mistura heterogênea e espessa de água e farinha é convertida em uma massa viscoelástica homogênea de aspecto seco (MARSH, 1998).

Existem diferentes métodos para se obter uma massa. No caso do processo direto são utilizadas duas velocidades de mistura. A primeira para homogeneização dos ingredientes e absorção da água e a segunda para o trabalho mecânico da massa (MATUDA, 2004).

Durante a mistura, a formação do glúten acontece em diferentes estágios: no primeiro, as moléculas de proteína são hidratadas e as suas fibrilas se aderem umas às outras formando uma rede desorganizada de fios espessos. A ação mecânica torna os fios mais finos e os orienta na direção em que foram submetidos à força, permitindo a interação entre eles. No

último estágio aparece o pico de consistência, no qual as fibrilas de proteínas têm seu diâmetro reduzido significativamente e interagem mais bidimensionalmente que em único eixo. Neste estágio, a massa pode ser estendida em forma de filme contínuo (STAUFER, 1998).

A capacidade da massa de ser estendida em membrana fina é um importante parâmetro no processo, pois indica o batimento ótimo, mais conhecido como ponto de véu. Se a mistura continuar após o pico de resistência, a massa torna-se mole, menos resistente à ação mecânica e perde a habilidade de reter gás durante a fermentação. Uma boa massa é definida por sua habilidade de reter o gás e pela promoção de sua propriedade viscoelástica, assim o volume da massa pode expandir adequadamente durante a fermentação e nas etapas que antecedem o assamento (STAUFER, 1998).

3.3.2 Divisão, modelagem e fermentação

Logo após o batimento, a massa é dividida em pedaços (usando para isso a divisora mecânica) e depois é moldada no formato desejado. O tempo de crescimento da massa é necessário para a atuação do fermento (GIANNOU; KESSOGLOU; TZIA, 2003).

3.3.3 Assamento

O assamento resulta em mudanças físico-químicas e bioquímicas como expansão do volume, evaporação de água, formação de poros, desnaturação de proteínas, gelatinização do amido, formação da casca entre outros (MATUDA, 2004).

No início do assamento é realizada uma breve vaporização. O vapor se condensa sobre a superfície do pão e causa uma diferença de temperatura entre o forno (220-250°C) e a massa (25-30°C), formando uma película sutil. Este fenômeno torna a massa mais suave e cria uma barreira à saída de gás carbônico, permitindo maior desenvolvimento e crescimento, conferindo maior volume (MATUDA, 2004).

A película de água sobre a massa, formada pela condensação do vapor, se evapora lentamente. Assim, os processos químicos na superfície são lentos permitindo a obtenção de uma casca menos dura e mais crocante. As reações de Maillard e caramelização são influenciadas pela umidade do ambiente, assim a cor da casca é diferente. Em fornos saturados de vapor, a cor da casca é amarela dourada e com brilho que não é obtido na ausência de vapor. (QUAGLIA, 1991).

3.4 Pré-misturas de pães com trigo

Até há poucos anos, era comum nas padarias a pesagem de cada um dos ingredientes para a elaboração da massa do pão. Atualmente, está se tornando comum também no mercado da panificação, os produtos na forma de pré-mistura (ESCOUTO, 2004).

Existem no mercado pré-misturas de pão sendo utilizadas pelas grandes redes de supermercados e padarias. Encontram-se pré-misturas para pão francês, pão de cachorro quente, hambúrguer, pão de forma, pão de forma integral, de centeio, aveia entre outros. É um processo tecnológico utilizado na panificação para conseguir uniformidade de farinhas, visando um produto com melhor relação custo/benefício, melhor processamento, maior vida de prateleira, melhores características sensoriais (aroma, sabor) e melhor qualidade tecnológica (volume, textura). O processo de produção da pré-mistura consiste em reunir em “mix” os elementos sólidos secos como a farinha de trigo, sal, emulsificantes, oxidantes e enzimas sendo que o açúcar e a gordura podem ou não estarem incluídos, faltando apenas serem adicionados fermento biológico e água. A pré-mistura foi concebida com conceitos de facilidade no preparo e padronização da qualidade dos pães, elimina o empirismo nas panificadoras, que entre outros transtornos, prejudica o padrão de higiene e onera as receitas, além de exigir profissionais experientes, mão de obra escassa no mercado atual (ESCOUTO, 2004).

3.5 Linhaça

A linhaça (*Linum usitatissimum*) é uma semente marrom escura, que na alimentação é usada como complemento no preparo de pães e bolos (HALL et al., 2005). O ácido ômega-3 presente em cerca de 60%, faz com que a semente seja a maior fonte vegetal deste composto. O ácido graxo ômega-6 também está presente (MAYES, 1996). Portanto, a ingestão de linhaça proporciona níveis adequados de ácidos graxos poliinsaturados, atuando na prevenção e modulação de doenças cardíacas e auto-imunes, de câncer de mama, próstata e cólon e artrite reumatóide (JUMP, 2002; KRIS-ETHERTON; HARRIS; APPEL, 2002). A elaboração de alimentos com linhaça vem contribuir para o consumo desta semente como fonte de alimento funcional (HALL et al., 2005).

Os ácidos graxos essenciais estão divididos em dois grupos: os da família ômega-3 (ácido linolênico) e ômega-6 (ácido linoléico). Estes compostos são encontrados em peixes de água fria, óleos vegetais, semente de linhaça, nozes e alguns vegetais. Os ácidos graxos

ômega-3 apresentam dois derivados muito importantes: o ácido eicosapentaenóico (EPA) e o ácido docosahexaenóico (DHA). O EPA está associado à prevenção de doenças cardiovasculares, pela redução dos níveis de triglicérides e colesterol sanguíneo (JUMP, 2002). O DHA apresenta capacidade de prevenir doenças cardíacas, reduzir a taxa de triglicérides, além de ser importante no desenvolvimento da função visual e cerebral (KRIS-ETHERTON; HARRIS; APPEL, 2002; VALENZUELA; NIETO, 2003).

Os fatores antinutricionais presentes na linhaça são os glicosídeos cianogênicos (linustatina, neolinustatina e linamarina), mas a dosagem encontrada nas sementes é baixa (OOMAH; MAZZA; KENASCHUK, 1992) e a exposição ao cianeto em resposta a doses de 60 g de linhaça não são prejudiciais a indivíduos saudáveis. Além disso, o tratamento térmico em produtos de panificação enriquecidos com linhaça elimina os compostos cianogênicos, uma vez que são instáveis e sensíveis ao aumento de temperatura (CUNNANE et al., 1993; LAMPE et al., 1994).

A linatina pode interferir na absorção de vitamina B6, podendo promover sua deficiência e os compostos cianogênicos e o ácido fítico podem quelar minerais como o zinco, o ferro e o cálcio (CARDOZO et al., 2010).

As lignanas são fitoestrógenos (compostos difenólicos que estruturalmente se assemelham ao estrogênio) de interesse, devido a sua propriedade anticarcinogênica e antioxidante (NESBITT; LAM; THOMPSON, 1997). Foi demonstrado por Kitts et al. (1999) que a lignana da linhaça e seus metabólitos apresentam atividade antioxidante, sendo um potencial mecanismo anticarcinogênico.

São encontradas em muitos cereais e grãos, mas a linhaça é a maior fonte deste fitoestrogênio, pois contém de 75 a 800 vezes mais lignanas que os outros alimentos (THOMPSON, 2003).

As lignanas presentes em vegetais são convertidas em enterolactona e enterodiol por ação bacteriana no trato intestinal (ROWLAND et al., 2003).

Pesquisas têm sugerido benefícios à saúde relacionados à ação das lignanas: diminuição dos sintomas que ocorrem após a menopausa; inibição do crescimento de tumores estimulados por aumento do estrogênio, explicado pelo fato de que as lignanas exercem efeito antiestrogênico ao se ligarem aos receptores de estrogênio (RAFTER, 2002). Enterolactona e enterodiol inibiram o crescimento de células de câncer de mama em cerca de 18 a 20% (PAYNE, 2000). As lignanas mostraram reduzir tanto o tamanho de tumor mamário quanto o número de tumores em ratos com carcinogênese induzida (YAN et al., 1998), mas são ainda

necessários dados epidemiológicos para provar a hipótese que as lignanas enterodiol e enterolactona exercem atividades anticarcinogênicas em seres humanos (RAFTER, 2002).

A linhaça apresenta teor elevado em potássio, sendo cerca de sete vezes maior que o da banana. A vitamina E está presente na linhaça como γ -tocoferol, atuando como um antioxidante biológico, além de outras vitaminas como A, B, D e K. Diversas substâncias com efeitos benéficos estão presentes, como β -caroteno, glicosídeos, linamarina, taninos e mucilagem. Por esses motivos, atualmente, a linhaça ocupa um lugar destacado como um alimento funcional, depois de séculos de uso na medicina natural (MACIEL; PONTES; RODRIGUES, 2008).

Nos Estados Unidos, o Food and Drugs Administration (FDA) indica a incorporação de até 12% de linhaça em produtos alimentícios. No Brasil, não há nenhuma lei ou norma que limite a quantidade de linhaça a ser adicionada em produtos alimentícios (MACIEL, PONTES; RODRIGUES, 2008). Vários estudos, utilizando quantidades maiores que a estabelecida pelo FDA, foram realizados por Cunnane et al (1995) sem apresentar efeitos que pudessem comprometer a saúde do consumidor.

Por ser rica em fibras, a linhaça pode ser adicionada a produtos de panificação com alto teor de fibras. O consumo de fibras é associado à prevenção de doenças coronarianas, intestinais e o câncer. A adição de fibras em pães pode provocar redução do volume, aumento da firmeza da casca, alteração de coloração, modificação do sabor, aumento da absorção de água e menor tolerância à fermentação (OLIVEIRA; PIROZI; BORGES, 2007).

3.6 Índice glicêmico

Os carboidratos são divididos em três categorias principais: monossacarídeos, dissacarídeos e polissacarídeos. Como exemplos de monossacarídeos há a glicose e a frutose; como dissacarídeos, a sacarose, maltose e lactose; e, no grupo dos polissacarídeos, destacam-se os carboidratos complexos, que incluem os polímeros de glicose (como a maltodextrina). Devido ao fato de o organismo não digerir e nem absorver todos os carboidratos com a mesma velocidade, um mecanismo denominado índice glicêmico foi desenvolvido para avaliar o efeito dos carboidratos sobre a glicose sanguínea. O índice glicêmico é um indicador qualitativo da habilidade de um carboidrato ingerido em elevar os níveis glicêmicos no sangue, fornecendo informações efetivas para um plano nutricional apropriado (SAPATA; FAYH; OLIVEIRA, 2006)

O conceito de índice glicêmico foi proposto para caracterizar o índice de absorção dos carboidratos após uma refeição. Muitos fatores, incluindo-se tipo de carboidrato, fibras, proteínas, gorduras e forma de preparo dos alimentos determinam seu índice glicêmico. Em geral, cereais refinados e batatas têm alto índice glicêmico, enquanto vegetais, frutas e leguminosas apresentam menores índices glicêmicos (DAMIANI; DAMIANI; OLIVEIRA, 2002).

Refeições com alto índice glicêmico, ou mesmo lanches intermediários (muito usados em dietas convencionais: bolachas, barras de cereais, algumas frutas), possibilitam um fenômeno conhecido como efeito rebote, ou seja, após a rápida absorção da glicose, o indivíduo experimenta rapidamente uma sensação de fome, fator que pode explicar a baixa tolerância às dietas convencionais. Refeições com alto índice glicêmico estimulam a fome e favorecem o armazenamento de gorduras, eventos que podem promover o ganho de peso (DAMIANI; DAMIANI; OLIVEIRA, 2002).

Já as dietas com baixo índice glicêmico promovem sensação de saciedade, prolongando o período de reincidência da fome e reduzindo o consumo calórico nas refeições subsequente. Este efeito estaria relacionado à hiperinsulinemia e hipoglicemia reacional decorrente da hiperglicemia pós-prandial imediata após o consumo de uma refeição rica em carboidratos de rápida absorção. A hiperinsulinemia promove maior captação tecidual de nutrientes e acúmulo no tecido adiposo em detrimento de sua oxidação, impulsionando ganho de peso corporal. Além disso, prorrogando-se o tempo de absorção dos nutrientes pode-se produzir estímulo contínuo aos receptores do trato gastrointestinal mediado pela ação de hormônios como a colecistoquinina e peptídeo 1 semelhante ao glucagon a atuarem nos centros hipotalâmicos de controle da saciedade decorrente da dieta com baixo índice glicêmico (SARTORELLI; CARDOSO, 2006).

3.7 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 transferências de calor (resfriamento, congelamento, esterelização e pasteurização), conservantes, ou alterando-se alguma característica do ambiente do micro-organismo como o pH (fermentação) ou a disponibilidade de água (desidratação e concentração). Apesar da efetividade atingida através destas tecnologias do ponto de vista microbiológico, há também uma perda nutricional e sensorial nos alimentos (ICGFI, 1992). A

estes métodos foram, então, adicionados novos processos considerados não térmicos, cujos princípios tendem a diminuir esta perda de qualidade 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-CÁNOAS; RODRIGUEZ, 2002; ICGFI, 1992).

A radiação ionizante tem uma longa história de sucesso de aplicações industriais pelo mundo como a esterelização 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). 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 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 limitam-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 esterelização 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). 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 10 kGy (ICGFI, 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 10 kGy sem perda de qualidade sensorial (WHO, 1999).

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 (raios gama e X) e fonte de feixe de elétrons. Radiação eletromagnética é uma energia na forma de onda, e a radiação por elétrons é corpuscular, isto é, consiste de partículas de matéria, nomeadas elétrons, que são aceleradas até altas velocidades e durante seu movimento transmitem energia. Acelerando 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 (ICGFI, 1992).

A radiação ionizante quando absorvida pela 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 (ICGFI, 1992; THOMAS, 1988).

Os alimentos destinados à exportação devem ser acompanhados de documentos de embarque nos quais devem estar identificados o alimento irradiado, o lote, a dose e outros detalhes do tratamento. Tais alimentos devem estar devidamente embalados e etiquetados para a identificação, além de ser utilizado o termo “irradiado” ou tratado por radiação

ionizante, bem como estar o símbolo internacional para alimento irradiado (LUSK; FOX; McILVAIN, 1999) (Figura 1).



Figura 1: Símbolo utilizado em produtos irradiados

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. 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 (ICGFI, 1991).

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 (ANVISA, 2001). 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.

3.7.1 Irradiação de trigo, farinha e pães

Hartung et al. (1973) aplicaram doses baixas de radiação gama em farinha de trigo e pães frescos fatiados, objetivando o aumento da vida de prateleira dos pães para uso em vôos espaciais tripulados. Os tipos de pães frescos - branco e escuro - foram definidos pelo setor competente de alimentos da NASA. Os mesmos foram preparados com farinha irradiada com

0,5 kGy e não irradiada, fatiados, congelados. Em seguida, todos os pães receberam dose de 0,5 kGy e foram armazenados a 21-25°C. Notou-se que a radiação gama reduziu o conteúdo microbiano da farinha, mas o efeito foi mais significativo no pão. A irradiação dupla da farinha e do pão promoveu maior inibição de fungos.

Farkas e Andrassy (1981) irradiaram farinha de trigo com doses de 0,75 kGy e 1,5 kGy, que ficaram armazenadas em sala à temperatura ambiente após a irradiação. Pães foram fabricados entre o quinto e sexagésimo quarto dia de estocagem pós-irradiação. A vida de prateleira de pães preparados com farinha irradiada foi 50% maior que a do controle, ambos mantidos a 30°C. Os mesmos resultados foram obtidos quando as amostras de farinha de trigo foram armazenadas por dois meses após a irradiação e, posteriormente processadas a pães.

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

O efeito de diferentes doses de radiação gama (0,0; 3,0; 4,5; 6,0 kGy) em farinha de trigo foi estudada por Silva et al. (2002) avaliando-se as características da massa através do farionograma, alveograma, *Falling Number* e análise sensorial da farinha. Os autores concluem, portanto, que a dose de irradiação de 3,0 kGy não promoveu grandes alterações na farinha e nas suas qualidade tecnológicas podendo ser classificada como ótima para a panificação. As doses de 4,5 e 6,0 kGy não devem ser indicadas para a irradiação da farinha de trigo, pois, nestes níveis suas propriedades tecnológicas são drasticamente afetadas.

Paredes-López e 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 que observaram aumento da quantidade de açúcares redutores em níveis de até 10 kGy, 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 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 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).

MacArthur e 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 feito com 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) apud MacArthur e D'Appolonia (1982) mostrou que há diminuição no volume de pães produzidos a partir de farinha de trigo irradiado 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 pela radiação, que aumentam a produção de gás na massa, gerando pães maiores em volume (URBAIN, 1986). Resultados similares foram reportados por Rao (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 e D'Appolonia (1982) reportou que na ausência de açúcar adicionado, requerido para ótima qualidade do pão, baixas doses de irradiação na farinha fornecem, através da quebra do amido, carboidratos fermentáveis que causam o aumento o volume do pão, comparado aos produtos assados com farinhas não tratadas e sem aditivos.

De acordo com Urbain (1986), a irradiação pode ser aplicada tanto aos ingredientes quanto ao produto. 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.

Os processos de gelatinização e retrogradação do amido podem ser influenciados pelas possíveis alterações nas moléculas de amido ou irradiações causadas pela degradação resultante da irradiação gama (CIEŚLA; ELIASSON, 2003). Rao (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 e Sreenivasan (1970).

3.7.2 Alterações na fração protéica

A proteína contida em cereais é significativa para o seu valor nutricional, e, no caso de alguns alimentos como o arroz e o trigo, também importante para as características funcionais. Altas doses de irradiação (30 kGy) não afetam o conteúdo de proteína. Contudo pode ocorrer aumento do teor de aminoácidos livres. Pequenos incrementos nos teores de isoleucina, tirosina, valina e alanina foram observados em trigo irradiados com dose de 10 kGy (URBAIN, 1986).

Hafez et al. (1985) estudaram os efeitos da irradiação nas proteínas e aminoácidos de soja, tendo verificado decréscimo na solubilidade da proteína. Em farinhas irradiadas as proteínas tem maior solubilidade das frações albumina, gliadina e glutenina (TIPPLES; NORRIS, 1965).

Alguns autores sugerem que a radiação gama de trigo resulta em degradação molecular de proteínas (MILNER, 1961; SRINIVAS et al., 1972), ao passo que outros relatam que a solubilidade da proteína do trigo e da farinha não foi afetada pela irradiação (MacARTHUR; D'APPOLONIA, 1983; FIFIELD; GOLUMBIC; PEARSON, 1967).

A irradiação desses cereais até a dose de 10 kGy não causou nenhuma redução no teor de aminoácidos livres. Uma dose de 25 kGy destruiu cerca de 39% da metionina em farelo de trigo, 26% em grãos de milho e 31% em flocos de aveia. Além disso, as perdas em torno de 33% de cisteína também foram observadas em milho, não ocorrendo, porém, em outros cereais. Dados na literatura indicam que não há destruição de aminoácidos em vários tipos de alimentos até uma dose de 70 kGy (EGGUM, 1959).

3.7.3 Alterações na fração carboidrato

Segundo El-Dash, Camargo e Diaz (1982) e Pomeranz (1987), as características internas e externas de produtos de panificação dependem da qualidade, quantidade e tipos de ingredientes da fórmula, tipo de fermentação, tempo e temperatura de cozimentos e práticas complementares de processamento. Dentre os ingredientes básicos, o fundamental é a farinha, que pode derivar de vários cereais, especialmente de trigo, sua principal fonte de proteínas, contendo também enzimas, aminoácidos, vitaminas, principalmente do complexo B, minerais, como cálcio e ferro, e carboidratos. No caso da farinha de trigo, o carboidrato mais importante é o amido, polissacarídeo responsável, juntamente com o glúten, pelo “corpo” dos produtos de panificação.

Estudos foram realizados sobre os efeitos da radiação ionizante no amido do trigo (LAI; FINNEY; MILNER, 1959; MILNER, 1961) e no endosperma da aveia (FAUST; MASSEY, 1966). A radiação gama é capaz de hidrolisar as ligações químicas quebrando grandes moléculas de amido em pequenos fragmentos de dextrinas que podem ser alteradas eletricamente em radicais livres. Estas mudanças podem afetar propriedades físicas e reológicas de alimentos irradiados, resultando em diminuição na solubilidade do amido (DESCHREIDER, 1960), em decréscimo no poder de geleificação (TOLLIER; GUILBOT, 1970) e em decréscimo considerável da viscosidade da pasta de amido (VAKIL et al., 1973). Segundo Roushdi et al. (1983), a irradiação tende a acentuar a perda da viscosidade com o armazenamento. Kang et al. (1999) avaliaram amidos modificados irradiados e observaram brusca queda na viscosidade.

O amido constitui cerca de 90% dos carboidratos presentes. Altas doses de irradiação provocam alterações nos carboidratos do trigo. O teor de amido diminui e o total de açúcares redutores aumenta. O teor de umidade do grão no momento da irradiação afeta o grau e a intensidade das alterações nos carboidratos. Altos teores de maltose são produzidos com umidades mais altas no grão do trigo. Provavelmente a irradiação induz a despolimerização do amido em presença de alta umidade (ANANTHASWAMY; VAKIL; SREENIVASAN, 1970).

Como método para produzir amidos modificados, a irradiação gama produziu radicais livres nas moléculas de amido, afetando seu tamanho e sua estrutura (GRANT; D'APPOLONIA, 1991). Kang et al. (1999) utilizaram doses de radiação gama de 0, 10, 30 e 50 kGy para a produção de amidos modificados.

Existe evidência de que o aumento da dose de irradiação resulta em aumento dos produtos da radiólise. Berger e Saint-Lébe (1969) detectaram a produção de malonaldeído, um produto da radiólise, em amidos irradiados. Pequenas doses de raios gama (de 0,2-1,5 kGy) determinaram máximo nas curvas de viscosidade do amido, das substâncias precipitáveis por eletrodialise, na solubilidade de gliadinas e o índice de queda, também conhecido por *Falling Number*, explicando assim a melhoria nas qualidades de panificação que alguns autores observaram em farinhas irradiadas com baixas doses de raios gama (TIPPLES; NORRIS, 1965).

3.7.4 Alterações na fração lipídica

As principais alterações da irradiação na fração lipídica são a formação de peróxidos e de componentes voláteis (NAWAR, 1983) que são os principais responsáveis pela rancidez e “off - flavors” em alimentos irradiados. Entretanto, para que ocorra degradação lipídica em cereais, as doses de irradiação devem ser bem altas (TIPPLES; NORRIS, 1965).

Chung, Finney e Pomeranz (1967) estudando as alterações causadas pela irradiação na fração lipídica da farinha de trigo, não encontraram efeitos significativos.

Byun et al. (1996) investigando as propriedades físico-químicas do óleo extraído de soja irradiada, também não encontraram grandes alterações quanto à oxidação.

Mesmo com altas doses de irradiação, da ordem de 100 kGy, poucas alterações ocorreram nos triglicerídeos, galactolipídios e fosfolipídios, que se refletiram no maior teor de ácidos graxos livres, monoglicerídeos e diglicerídeos. Com doses entre 0,1 e 1,7 kGy, Urbain (1986) não observou alteração. Contudo para Tipples e Norris (1965) o índice de peróxido respondeu positivamente às doses de irradiação. Eles trabalharam com farinhas provenientes de trigo irradiado, com doses de 0, 1, 10, 50, 100 kGy, armazenadas durante 6 meses e observaram um aumento do índice de peróxido paralelo ao aumento da dose de irradiação. O aumento do índice de peróxido foi associado a odor não característico de farinha.

Hanis e Munkova (1985) verificaram que baixas doses de irradiação, até 10 kGy, não causaram nenhuma alteração nos lipídios dos cereais. A aplicação de altas doses pode levar a algumas mudanças em função do tipo e composição do lipídio, a presença de antioxidantes, composição do cereal irradiado, condições de irradiação, entre outros (NAWAR, 1983).

O teor de carotenóides da fração lipídica das farinhas diminuiu sob a ação da radiação e desapareceu quando as doses chegaram a 40 kGy (TIPPLES; NORRIS, 1965).

Tipples e Norris (1965) observaram que a fração lipídica de farinhas irradiadas oxidava menos em 6 meses de armazenamento que farinhas não irradiadas. A rancidez é definida como fator adverso de qualidade, produz sabor e aroma indesejáveis e altera as propriedades funcionais de forma inaceitável.

As alterações nos lipídios ocorrem por reações entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio, catalisado ou não por enzimas, produzindo hidroperóxidos. Estes são degradados em compostos voláteis e não voláteis que normalmente resultam em sabores rançosos típicos (GUTKOSSKI; PEDÓ, 2000). Os triglicerídios do grão são passíveis de sofrerem quebra pelas lípases e ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento, especialmente quando a temperatura e a umidade estão altas e assim favorecer a deterioração. Este tipo de alteração é bastante acelerado pelo crescimento fúngico devido a atividade lipolítica alta dos fungos. A hidrólise lipídica ocorre muito mais rapidamente do que a de proteínas ou carboidratos em grãos estocados. Por esta razão o teor de ácidos graxos livres é usado como índice sensível de deterioração incipiente do grão (TIPPLES; NORRIS, 1965).

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

3.7.5 Dose

Doses elevadas (>10 kGy) esterilizam basicamente os alimentos; doses médias (1-10 kGy) tem efeito de pasteurização, prolongando a vida útil ; doses baixas (<1 kGy) são eficazes no controle de parasitas em carnes frescas, retardando o envelhecimento de frutas frescas ou o amadurecimento de vegetais e, ainda, destruindo insetos e parasitas de grãos e frutas (MIYAGUSKU et al., 2003).

As aplicações gerais da radiação submetendo o alimento a diferentes doses podem causar várias alterações físicas, químicas e sensoriais, devido a diferenças estruturais específicas e composição dos alimentos, assim como devido a outros tratamentos feitos antes, durante ou depois da irradiação. As alterações sensoriais, após dose suficientemente elevada de radiação, são uma das principais diferenças, mas alguns alimentos são muito mais sensíveis do que outros (MIYAGUSKU et al., 2003).

3.7.6 Impacto da irradiação sobre os nutrientes

O impacto da irradiação sobre os nutrientes tem sido motivo de muitas pesquisas na área de alimentos, observando-se que as alterações são as mesmas que ocorrem nos outros processos empregados na conservação de alimentos, principalmente no que se refere a oxidação de lipídios, formação de radicais livres, desnaturação de proteínas, surgimento de sabor estranho e degradação de vitaminas. Contudo, na irradiação essas alterações podem ser minimizadas através do emprego de embalagens com atmosfera modificada, baixas temperaturas, controle do pH e por usar fontes e doses de radiação permitidas (DA COSTA; DELIZA; ROSENTHAL, 1999). Por isso, o valor nutricional dos alimentos não é significativamente afetado pela irradiação, onde os macronutrientes são relativamente estáveis, quando os alimentos são expostos à dose máxima de irradiação de 10kGy. Os micronutrientes, em especial as vitaminas, podem sofrer redução em pequenas proporções pelo emprego de irradiação. A sensibilidade das vitaminas ao processo é variada, dependendo das condições nas quais se irradiam os alimentos. As vitaminas C e B₁ são as mais sensíveis no grupo das hidrossolúveis e, as vitaminas E e A as mais sensíveis no grupo das lipossolúveis (LIMA et al., 2001).

As características sensoriais tais como sabor e odor podem ser alteradas devido ao ranço desenvolvido pela reação dos radicais livres com os lipídeos e também pela hidrólise das proteínas resultando em compostos sulfurados livres (DIEHL, 1995).

Além da formação de compostos "off flavor" (de sabor desagradável), outras reações podem afetar a segurança e a estabilidade de produtos irradiados, o que pode colocar em risco a qualidade do produto final. Estas reações secundárias podem conduzir a formação de compostos potencialmente tóxicos como álcoois, cetonas, peróxidos e aldeídos (GRAY; GOMAA; BUCKLEY, 1996), resultando em perdas de nutrientes e promovendo mais reações oxidativas (NAM et al., 1997). A oxidação lipídica pode ser influenciada por vários fatores tais como o conteúdo de gordura, perfil de ácidos graxos, grau de processamento e condições de estocagem (NAM; AHN, 2003).

3.7.7 Radicais Livres

As moléculas orgânicas e inorgânicas e os átomos que contêm um ou mais elétrons não pareados, com existência independente, podem ser classificados como radicais livres (HALLIWELL, 1994). Essa configuração faz dos radicais livres moléculas altamente

instáveis, com meia-vida curtíssima e quimicamente muito reativas. A presença dos radicais é crítica para a manutenção de muitas funções fisiológicas normais (POMPELLA, 1997).

Algumas espécies de radicais livres:

O_2 oxigênio singlete

O_2^- radical superóxido

OH^- radical hidroxila

NO^- óxido nítrico

$ONOO^-$ peroxinitrito

Q^- radical semiquinona

Os radicais livres podem ser gerados no citoplasma, nas mitocôndrias ou na membrana e o seu alvo celular (proteínas, lipídeos, carboidratos e DNA) está relacionado com o seu sítio de formação (ANDERSON, 1996; YU; ANDERSON, 1997). Entre as principais formas reativas de oxigênio o O_2^- apresenta baixa capacidade de oxidação, o OH^- mostra pequena capacidade de difusão e é o mais reativo na indução de lesões nas moléculas celulares. O H_2O_2 não é considerado radical livre verdadeiro, mas é capaz de atravessar a membrana nuclear e induzir danos na molécula de DNA por meio de reações enzimáticas (ANDERSON, 1996).

3.8 Características físicas e sensoriais de pães

Características da crosta dos pães são decisivas para a atitude de compra dos consumidores deste tipo de produto. A textura crocante tem sido associada com a baixa atividade de água e teor de umidade (LAMBERT et al., 2009-pasta AW).

As características externas frequentemente 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 (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 baixo volume específico (MATUDA, 2004).

Zaied, Abdel-Hamid e 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 off-flavour peculiar dado pela irradiação. O tratamento por irradiação foi efetivo na desinfestação do trigo, porém gerou certas alterações na farinha (RAO, 1978). Rao (1975) reportaram que pães produzidos a partir de trigo irradiado a 10 kGy apresentaram cores da casca e miolo escuros e sabor peculiar.

Lai, Finney e 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 e 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) demonstraram em seu estudo que pães não fermentados produzidos a partir da 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 às 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 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).

Um método muito utilizado para analisar características sensoriais de produtos é a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ). A ADQ é um método de avaliação sensorial que identifica, descreve e quantifica os atributos sensoriais de um produto, isto é, ele descreve as propriedades sensoriais dos produtos e mede a intensidade em que elas foram percebidas

pelos provadores. Permite a descrição das características sensoriais com precisão em termos matemáticos. É uma técnica valiosa quando se deseja obter melhores informações sobre aparência, aroma, sabor ou textura de alimentos (MONTEIRO, 2002). Para essa análise é necessária uma equipe de seis a doze provadores treinados (STONE et al., 1974).

3.9 Shelf-life

Com o intuito de assegurar a qualidade de um alimento, tanto do ponto de vista de saúde pública como para aumentar a sua vida de prateleira, vários são os métodos disponíveis para as indústrias de alimentos. A maioria deles, como por exemplo, refrigeração, congelamento, desidratação, fermentação e adição de conservantes agem prevenindo ou inibindo o crescimento dos micro-organismos. Outros, por outro lado, agem inativando os micro-organismos. Entre esses últimos, podem ser citados a pasteurização, a esterilização e a irradiação. Na irradiação, o processo mais versátil é o que se aplica a radiação ionizante (ANDREWS et al., 1998).

A irradiação é um método de pasteurização a frio utilizado para controlar doenças de origem alimentar causadas por micro-organismos patogênicos, parasitas, especialmente em alimentos que são consumidos crus ou parcialmente processados (FARKAS, 1998).

A irradiação de alimentos com doses de 2-7 kGy, dependendo da condição de irradiação (temperatura durante o processo, por exemplo) e do alimento, pode reduzir significativamente micro-organismos patogênicos incluindo tanto muito conhecidos como *Salmonella* spp, *Staphylococcus aureus* como os emergentes como *E.coli* O157:H7 (SANTOS et al., 2003).

3.10. Atitude do consumidor em relação a produtos irradiados

A aplicação comercial da irradiação depende principalmente da aceitação dos consumidores e a indústria hesita em adotar tal tecnologia preocupada com a opinião do público alvo. Pesquisas foram realizadas (POLHMAN; WOOD; MASON, 1994; HENSON, 1995; HASHIM; RESURRECCION; McWATTERS, 1996) com o objetivo de estudar o nível de conhecimento e aceitabilidade dos produtos irradiados, assim como a influência da informação sobre esta tecnologia na aceitabilidade dos produtos. Estudo realizado por Schutz e Cardello (1997) com população de militares americanos revelou baixo nível de consciência, mas alto nível de interesse por alimentos irradiados. A mesma pesquisa mostrou que, a

utilização de vídeo informativo sobre o processo de irradiação de alimentos, dentre outros métodos para veicular informação confiável sobre segurança e uso de alimentos irradiados, pode aumentar a aceitabilidade e a probabilidade de consumo destes produtos (DA COSTA; DELIZA; ROSENTHAL, 1999).

Assim, apesar de cientificamente aceito como um excelente método de conservação de alimentos e de atualmente ser o único capaz de tornar inativos os patógenos em alimentos crus e congelados, o progresso no uso comercial da irradiação tem sido lento. Interpretações errôneas dos consumidores, que freqüentemente acham difícil avaliar os benefícios dessa técnica de processamento e a falta de informações têm limitado o uso desta tecnologia (ORNELLAS et al., 2006).

Em função disso, atitudes deverão ser implementadas começando pela conscientização dos consumidores em relação à segurança e benefícios obtidos por esta técnica e passando também por um estreitamento nas relações entre o governo e as indústrias do setor, que precisam ser fortalecidas. Para resultados mais eficazes, é preciso conhecer melhor o perfil dos segmentos envolvidos, por isso, sugere-se um levantamento desses dados utilizando-se recursos de pesquisas campo (ORNELLAS et al., 2006).

3.11 Perspectivas para o emprego da irradiação na conservação de alimentos

Pelo fato da irradiação ser um processo a frio, ele mantém as características do alimento próximas às do alimento no seu estado natural, qualidade esta extremamente desejada pelos consumidores. Essa vantagem é inerente ao processo, visto que a dose pode ser dimensionada de acordo com a finalidade desejada (LANDGRAF, 2002).

Ainda é necessário que sejam realizadas campanhas por órgãos do governo envolvidos com a vigilância sanitária dos alimentos e das indústrias para esclarecimento das vantagens desse método de conservação. Porém, a irradiação não substitui as Boas Práticas de Fabricação e o emprego de matérias primas de boa qualidade, também essa técnica não livra o produto processado de recontaminação caso seja armazenado em condições inadequadas (LANDGRAF, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram elaborados pão francês e pão de forma. O pão de forma foi preparado utilizando duas formulações diferentes. As análises físico-químicas, sensoriais e microbiológicas foram realizadas no Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. As sementes de linhaça marrom foram doadas pela empresa “Via Delícia”, localizada na cidade de São Paulo.

4.1 Preparo do pão francês

O pão francês foi confeccionado a partir de pré-mistura para pão francês, na panificadora Bisnaga, localizada na cidade de Piracicaba. Os ingredientes utilizados na formulação do pão francês estão alistados na Figura 2.

| Ingredientes | Peso g |
|---------------------|---------------|
| Pré-mistura | 5000 |
| Fermento biológico | 150 |
| Açúcar cristal | 50 |
| Melhorador | 30 |
| Água | 2,6L |

Figura 2: Ingredientes utilizados no preparo do pão francês elaborado com pré-mistura.

A pré-mistura utilizada no preparo do pão francês era composta dos seguintes ingredientes: farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, sal, farinha de soja, emulsificante estearoil-2-lactil lactato de sódio, estabilizante polisorbato 80, melhorador de farinha, ácido ascórbico, azodicarbonamida, enzima hemicelulase, glucose oxidase, fosfolipase, e alfa-amilase.

Os ingredientes secos foram pesados em balança Filizola e homogeneizados em amassadeira por 10 minutos com água gelada (- 4°C) até atingir o “ponto de véu”. As bolhas da massa foram retiradas em cilindro da marca Perfecta e a massa foi levada à divisora volumétrica da marca Eco, para padronização do tamanho e gramagem dos pães. O formato de pão francês foi conferido em modeladora da marca Lieme. Os pães foram acondicionados em telas e levados ao carrinho de fermentação da marca Mafran, onde permaneceram durante 180 minutos em temperatura ambiente. Os pães foram assados em forno turbo Tedesco, pré-aquecido a 160°C por 15 minutos. A linhaça marrom foi triturada

em liquidificador doméstico e foi adicionada à massa em 8 e 12% de linhaça em relação ao peso da pré-mistura (400 e 600 g, respectivamente).

4.2 Preparo do pão de forma

O pão de forma foi confeccionado usando 2 formulações distintas: 1) utilizando pré-mistura e 2) utilizando formulação cedida pelo curso de panificação da escola Senai “Mário Dedini” (esse tratamento foi chamado de “convencional”).

4.2.1 Pão de forma confeccionado com pré-mistura

Os pães preparados com pré-mistura também foram confeccionados na panificadora Bisnaga, em Piracicaba. Foi utilizado um “mix” entre pré-mistura salgada e doce. Os ingredientes utilizados estão apresentados na Figura 3.

| Ingredientes | Peso g |
|---------------------------|---------------|
| Mistura doce | 4000 |
| Mistura salgada | 1000 |
| Fermento biológico fresco | 200 |
| Água | 2,8 L |

Figura 3: Ingredientes utilizados no preparo do pão de forma confeccionado com pré-mistura

A pré-mistura doce era composta de: farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, gordura vegetal hidrogenada, sal, emulsificante estearoil-2-lactil lactato de cálcio, aroma de leite, melhoradores de farinha, ácido ascórbico e alfa-amilase.

A pré-mistura salgada utilizada foi a mesma utilizada no preparo do pão francês, ou seja, farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, sal, farinha de soja, emulsificante estearoil-2-lactil lactato de sódio, estabilizante polisorbato 80, melhorador de farinha, ácido ascórbico, azodicarbonamida, enzima hemicelulase, glucose oxidase, fosfolipase, e alfa-amilase.

Os ingredientes foram separados e pesados em balança digital da marca Filizola. Em seguida, os ingredientes secos foram homogeneizados durante 10 minutos em amassadeira

com adição gradativa de água gelada até atingir o “ponto de véu”. A quantidade de linhaça triturada foi calculada em relação ao peso da pré-mistura (400 g para o pão com 8% e 600g para o pão com 12%). Em seguida, a massa foi pesada e passada pelo cilindro. A massa foi cortada em porções de 550 g e em seguida colocada na modeladora. Acondicionou-se a massa já modelada nas formas (10,5 cm de largura x 10 cm de altura x 20 cm de comprimento), que foram encapadas com papel manteiga. As formas foram levadas para o carrinho de fermentação por 120 minutos em temperatura ambiente. Os pães foram assados em forno a temperatura de 160°C por 20 minutos.

4.2.2 Preparo do pão de forma “convencional”

Esses pães de forma foram confeccionados em planta de panificação experimental da escola Senai “Mário Dedini”. Os ingredientes utilizados no preparo do pão de forma “convencional” estão alistado na Figura 4.

| Ingredientes | Peso g |
|-------------------------------------|---------------|
| Farinha de trigo | 4000 |
| Sal | 80 |
| Açúcar | 240 |
| Melhorador | 40 |
| Margarina | 160 |
| Fermento biológico seco instantâneo | 53 |
| Leite em pó | 120 |
| Água | 2,4L |

Figura 4: Ingredientes do pão “convencional”
Fonte: MOURA, 2008

Os ingredientes foram separados e pesados em balança digital da marca Filizola, modelo Pluris (220Volts). Em seguida, os ingredientes secos foram homogeneizados durante dois minutos em amassadeira espiral da marca Superfecta, modelo AE 15E (equipamento com 2 velocidades, comando manual, garfo espiral de aço, transmissão de calor com coroa de aço, rolamentos blindados e bacia de aço carbônico). Parte da água (80%) foi utilizada para hidratar a farinha e o restante da água (20%) foi usado para determinar a textura da massa. A margarina foi o último ingrediente a ser adicionado. Foi realizada a homogeneização total da massa durante 4 minutos. Todas essas etapas foram realizadas com a amassadeira na 1ª velocidade. Com o equipamento em 2ª velocidade, foi

feita homogeneização até se desenvolver a rede de glúten, até atingir o “ponto de véu”. Depois a massa foi retirada da amassadeira, levada para a mesa de divisão e dividida em 3 partes iguais. Cada porção foi utilizada para elaborar uma determinada concentração (0%, 8% e 12%). As sementes de linhaça trituradas foram adicionadas nas concentrações 8% e 12% em relação ao peso da farinha de trigo (400g e 600g, respectivamente). As porções que receberam adição de 8% e 12% de linhaça voltaram para a amassadeira para serem novamente homogeneizadas. As massas foram separadas em porções de 600 g e modeladas na modeladora Superfecta MOD-ME e acondicionadas em formas (10,5 cm de largura x 10 cm de altura x 20 cm de comprimento). As formas foram acomodadas em carrinho de fermentação durante 90 minutos em temperatura ambiente para a fermentação. Depois as formas foram levadas ao forno da marca Supremax, modelo Multi-213 a 175°C durante 30 minutos para o assamento.

4.3 Armazenamento e irradiação das amostras

O pão francês foi acondicionado em embalagem de polipropileno (35 x 45x 0,06) e as mesmas foram termosseladas com o equipamento da marca Matisa com temperatura de 200-220°C. As amostras foram identificadas segundo as suas porcentagens de linhaça, data de fabricação e as doses.

Os pães de forma foram embalados individualmente em embalagens de polipropileno (35 x 45x 0,06) e fechados manualmente.

Os pães foram encaminhados ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), localizado na cidade de São Paulo, e submetidos a doses de radiação gama: 6,0 kGy, 8,0 kGy e 10,0 kGy, em irradiador tipo Multipropósito, com fonte de Cobalto-60 e taxa de dose de 7,0 kGy/h. Um lote sem irradiação, controle, foi mantido para análise comparativa.

Após a irradiação e até o momento da análise, as amostras permaneceram em condições ambientais de umidade e temperatura (26 a 34° C).

4.4 Análises Químicas

4.4.1 Composição centesimal

Para a caracterização dos pães, os mesmos foram avaliados quanto à composição centesimal. As análises de teor de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e de cinzas foram realizadas de acordo com a metodologia indicada pela AOAC (1995).

Para determinação do teor de matéria seca, foi utilizado o método gravimétrico em que as amostras foram secas em estufa a 105° C, até peso constante.

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método Microkjeldahl, sendo o teor protéico determinado multiplicando-se o conteúdo do nitrogênio total pelo fator 5,75.

O extrato etéreo foi determinado utilizando o extrator de Soxhlet. Na extração foi utilizado como solvente o éter etílico à temperatura de 45-50° C em refluxo contínuo da amostra por 4 horas. Após recuperação do éter etílico, os tubos foram retirados e colocados em estufa por 20 minutos a 100° C, deixando-os esfriar em dessecador e pesados, obtendo-se a quantidade de lipídeos por diferença do peso do tubo.

A cinza foi determinada através de incineração da amostra em mufla à temperatura de 550-600° C por 4 horas.

O teor de fibra dietética foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Asp, Johansson e Hallmer (1983). Esse ensaio determinou o conteúdo de fibra solúvel e insolúvel dos alimentos usando uma combinação dos métodos enzimáticos e gravimétricos.

Os carboidratos foram obtidos por diferença.

4.4.2 Determinação de ácido fítico

O teor total de ácido fítico nas amostras foi determinado segundo o método descrito por Grynspan e Cheryan (1989), onde as amostras foram digeridas em 10 mL de solução de HCl 0,65 N com agitação casual, posteriormente centrifugada a 300 rpm por 10 minutos. Na seqüência, foi pipetado 2 mL do sobrenadante diluído em água destilada em balão volumétrico de 25 mL. Foi pipetado 10 mL da solução do balão para bureta previamente preparada fazendo com que a solução eluísse através da resina a uma velocidade de 1 gota por segundo, posteriormente o eluído foi descartado. Em seguida foi pipetado 15 mL de solução de NaCl 0,1 M para a bureta, sendo o eluído descartado também. Foi pipetado 15

mL de solução de NaCl 0,7 M e recolhido o eluído em béquer limpo onde foi pipetado 5 mL em tubos de ensaio adicionados de 1 mL de reagente de Wade com agitação vigorosa. Após 15 minutos foi realizada a leitura da absorbância a 500 nm em espectrofotômetro marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800, obtendo-se assim o teor de ácido fítico a partir da construção de curva padrão. O ácido fítico foi expresso em mg.g^{-1} de amostra.

4.4.3 Taninos

Os taninos foram analisados segundo a metodologia descrita por Price, Hagerman e Butler (1980). A extração foi feita com 10 mL de metanol, agitação por 20 minutos e centrifugação a 4000 rpm por 10 minutos. Em seguida foi realizada uma reação colorimétrica com solução de vanilina a 1 % em metanol e 8 % de HCl em metanol na proporção de 1:1 e com incubação a 30° C por 20 minutos. Então, a partir de 1 mL de extrato e 5 mL de solução de vanilina foi realizada a leitura a 500 nm em espectrofotômetro da marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800, obtendo-se assim a concentração de taninos a partir de uma curva padrão de catequina. Os resultados foram expressos em relação ao padrão catequina em mg.g^{-1} de amostra.

4.4.4 Fenólicos totais

A determinação da concentração de fenólicos totais foi realizada segundo metodologia descrita por Swain e Hillis (1959), através de extração com metanol, adição de reagente Folin-Denis, saturação com carbonato de sódio e posterior leitura de absorbância a 660 nm em espectrofotômetro da marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800. Os resultados foram expressos em μg de catequina. g^{-1} de amostra.

4.4.5 Atividade antioxidante

4.4.5.1 DPPH

A determinação da atividade antioxidante foi realizada segundo metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Foi utilizando o *Diphenyll-picrylhydrazyl* (DPPH) como radical livre para avaliar a atividade antioxidante. Foram utilizados extratos

etanólicos na concentração de $3,6\text{g}\cdot 10\text{mL}^{-1}$ (pão sem adição de linhaça); $3,0\text{g}\cdot 10\text{mL}^{-1}$ (pão com 8% de linhaça) e $2,5\text{g}\cdot 10\text{mL}^{-1}$ (pão com 12% de linhaça). A quantidade de amostra foi pesada em béquer e diluída em 10 mL de etanol. Foi agitada em mesa agitadora por 15 minutos e na seqüência foi transferida para tubo de centrífuga. A amostra foi centrifugada por 10 minutos a 2000 rpm. Foi pipetada 500 μL do sobrenadante em tubo de ensaio com 3 mL de etanol e 300 μL da solução de DPPH. A reação foi mantida a temperatura ambiente por 45 minutos, no escuro. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro da marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800 em comprimento de onda a 517 nanômetros. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol TEAC}\cdot \text{g}^{-1}$ (Capacidade Antioxidante em Equivalentes de Trolox - TEAC).

4.4.5.2 ABTS

A atividade antioxidante pelo método ABTS foi analisada segundo Re et al. (1999), utilizando-se extrato etanólico, nas mesmas concentrações dos extratos utilizados na metodologia DPPH. A leitura da absorbância foi realizada em 734 nm em espectrofotômetro da marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800. A atividade antioxidante foi expressa em $\mu\text{mol TEAC}\cdot \text{g}^{-1}$ (Capacidade Antioxidante em Equivalentes de Trolox - TEAC).

4.4.6 Índice glicêmico

Para calcular o índice glicêmico (IG), foi preciso primeiro hidrolisar o amido. A hidrólise do amido foi conduzida segundo o protocolo desenvolvido por Goni et al. (1997) com modificações sugeridas por Rosin (2002).

Triplicatas de 25 mg da amostra foram dissolvidas em 10 mL de tampão KCl-HCl 0,2 M (pH 1,5) e adicionados 350 μL de solução pepsina (0,2g/2 mL KCl-HCl – Sigma P 7125), seguido de agitação em banho-maria por 1 hora a 40°C. Foram adicionados 15 mL de solução tampão tris-maleato 0,2M (pH 6,9) e 1 mL da solução de α -amilase (1,6 g/ 2 mL tampão tris maleato - Sigma A 2771) à amostra que foi incubada a 37 °C sob agitação em banho-maria durante 3 horas (30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos). A cada 30 min., alíquotas de 1 mL de cada tubo foram retiradas e aquecidas a temperatura de 100°C por 15 min. para inativar a α -amilase. Após resfriamento, foram adicionados 3 mL do tampão acetato 0,4 M (pH 4,75) e 50 μL de amiloglicosidade (Sigma A 9913), às amostras que foram novamente incubadas a 60°C durante 45 min. Transcorrido o período, foi ajustado o volume em balões de 50 mL com água

destilada. Em seguida retirou-se 2 mL desse balão e transferiu esse volume para outro balão de 20 mL, completando-o com água destilada. Desse segundo balão, foi retirado 1 mL da amostra e transferiu-se para o tubo de ensaio. A concentração de glicose foi determinada enzimaticamente por meio do método oxidase-peroxidase (Kit Glicose GAGO-20 Sigma). A leitura foi feita em espectrofotômetro da marca Shimadzu, UV-vis, modelo UV-1800 e comprimento de onda de 540 nm. O cálculo da glicose foi realizado segundo a fórmula do fabricante:

$$\text{Glicose (mg/dL)} = \text{Absorbância do teste} / \text{Absorbância do padrão} * 0,05 \quad (1)$$

Foi calculada a quantidade e a porcentagem de amido total hidrolisado.

A partir da porcentagem de amido hidrolisado obtida nos tempos 30, 60, 90, 120 150 e 180 minutos, fez-se um gráfico com a equação da reta. A partir dessa equação encontrou-se a área da curva, usado no cálculo do Índice de Hidrólise (IH).

O IH foi obtido com base na relação entre a área da curva do alimento em estudo e a área da curva do alimento referência (pão francês), que corresponde a fórmula 2. Para esse cálculo utilizou-se o programa Derive 6.1.

$$\text{IH} = \text{Área da curva do alimento teste} / \text{Área da curva do alimento referência} \quad (2)$$

O índice glicêmico (IG) foi calculado segundo o modelo matemático proposto por Goni et al. (1997), conforme fórmula 3.

$$\text{IG} = 39,71 + (0,549 * \text{IH}) \quad (3)$$

4.4.7 Determinação de ácidos graxos

Para a determinação de ácidos graxos do pão francês, os lipídios foram extraídos com clorofórmio e metanol (2:1) grau HPLC. Para a metilação foi usado HCl metanólico a 10% no extrato lipídico e posteriormente hexano e carbonato de potássio. Pipetou-se o sobrenadante, foi centrifugado a 1500 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante foi pipetado, filtrado em filtro Milipore 45µ e acondicionado em tubos eppendorf em freezer (-20°C) até o momento da injeção em cromatógrafo gasoso.

A leitura do perfil de ácidos graxos do pão francês foi realizada em cromatógrafo gasoso da marca Shimadzu modelo GC-14 B, equipado com detector por ionização em chama, injetor do tipo *split*, coluna capilar de sílica fundida (50 m de comprimento x 0,22 mm de diâmetro interno, Shimadzu-Hicap, Austrália). As condições cromatográficas foram: temperatura da coluna em 180° C (isotérmica); gás de arraste, hidrogênio numa vazão de 1,05 mL/minuto; temperatura do detector e do injetor de 250° C. O resultado final foi expresso em porcentagem.

Os ácidos graxos do pão de forma elaborado com pré-mistura e do pão de forma elaborado pelo método “convencional” foram determinados no Centro Tecnológico de Análise de Alimentos (CETAL), localizado em Mogi das Cruzes, São Paulo. Sendo realizado outro procedimento, pois no pão de forma há diferentes tipos de gorduras (animal e vegetal).

A extração dos lipídios desses pães foi realizada por hidrólise ácida. Para a metilação foi utilizado hexano e solução de ácido sulfúrico em metanol. Foi promovida a separação de fases com adição de água deionizada e solução saturada de cloreto de sódio. A fase superior foi utilizada para a análise por cromatografia em fase gasosa.

A leitura do perfil de ácidos graxos do pão de forma (elaborado pelas 2 formulações) foi realizada em cromatógrafo gasoso da marca Shimadzu, modelo CG-2010. As condições cromatográficas foram: temperatura do injetor: 250°C; Modo de injeção: Split (1/100); Temperatura do detector: 250°C; Sampling rate: 40 m/séc; Fluxo Makeup (N₂): 30mL/min; Fluxo H₂: 40mL/min e Fluxo ar sintético: 400mL/min. O resultado final foi expresso em porcentagem.

4.4.8 Índice de acidez

Foi determinado através da extração de óleo pelo método Bligh e Dyer (1959), que se baseia na extração dos lipídeos a frio, de modo que os extratos (miscelas) podem ser utilizados para avaliar com grande fidelidade o grau de deterioração dos lipídios e sua quantificação. Para a extração dos lipídeos foram pesados 10 g de cada tratamento em triplicata. Em erlenmeyer foram adicionados 50 mL de metanol, 25 mL de clorofórmio e água (em quantidade dependente da umidade do produto que somado à água da amostra resultasse em 20 mL). Após este procedimento o erlenmeyer foi tampado e colocado em agitador por 30 minutos. Em seguida foram adicionados mais 25 mL de clorofórmio e 25 mL de solução de sulfato de sódio a 1,5%. Agitou-se o erlenmeyer tampado por mais 2 minutos. A solução com a amostra foi transferida para funil de separação onde se esperou a separação. Recolheu-se a

camada inferior (clorofórmio + lipídio) através de um funil pequeno com papel filtro, o qual continha uma camada de sulfato de sódio anidro para remover traços de água, para um erlenmeyer de 100 mL.

Foram utilizados 10 mL da miscela produzida durante a extração, adicionados de três gotas de fenolftaleína e foi conduzida a titulação com solução de hidróxido de sódio a 0,1 N padronizada até o ponto de viragem.

O índice de acidez foi calculado através da equação 4:

$$\text{I.A.} = [V * 56,1 * N] / \text{massa de óleo na alíquota de 10 mL de miscela (g)} \quad (4)$$

Onde:

V= Volume gasto na titulação (mL)

N= normalidade da solução de hidróxido de sódio

O resultado final foi expresso em porcentagem.

4.4.9 Teor e diálise de minerais *in vitro*

A determinação do teor de minerais (P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn e Zn) foi feita segundo Sarruge e Haag (1974).

A diálise de minerais foi realizada através de digestão gástrica *in vitro* seguida de digestão intestinal *in vitro* com utilização de membrana de diálise e determinação de minerais por espectrometria de absorção atômica.

As amostras foram homogeneizadas com água deionizada e a acidez acertada para pH 2,0 com HCl. Adicionou-se 1,07g de solução de pepsina e o conteúdo completado para 34g com água deionizada (LUTEN et al., 1996).

Os béqueres foram levados ao banho-maria com agitação à 37°C por 2h. Foi realizada medida de acidez titulável em alíquota de 7,0g do digerido, elevando o pH a 7,5 com NaOH após a adição de 1,7g da solução enzimática de bile-pancreatina.

As membranas de diálise foram embebidas em água deionizada por 10 minutos, retirou-se o excesso de água e colocou-se 8,5 mL de água deionizada e a quantidade de NaH(CO₃) equivalentes ao anotado na titulação ácida. Alíquotas de 7g do digerido foram colocadas em frascos Erlenmeyer, e introduzidas as respectivas membranas contendo NaH(CO₃), adicionou-se 1,7g das soluções bile-pancreatina, e os frascos foram levados ao banho-maria com agitação à 37°C para simulação da digestão intestinal. O conteúdo interno das membranas foi

recolhido, e o volume acertado para 10 mL e foi realizada leitura de Ca, Fe, Mg e Zn por espectrometria de absorção atômica.

O resultado da análise do teor de minerais foi expresso mg.g^{-1} e o resultado da disponibilidade de minerais em porcentagem.

4.4.10 Vitaminas do complexo B

4.4.10.1 Vitamina B₁

A extração da vitamina B₁ (tiamina) da amostra foi feita por hidrólise ácida. Pesou-se 5 g de amostra e diluiu-se em 50 mL de ácido clorídrico 0,1 N. Em seguida foi autoclavada (100°C/30 min.). Após a hidrólise ácida, ajustou-se o pH para 4,6 com acetato de sódio 2,5 M, sendo realizada em seguida hidrólise enzimática, adicionando 0,5 g de diastase fúngica ao extrato e mantendo a 37 °C durante 2 horas. Em seguida, filtrou-se em membrana e transferiu o filtrado para balão âmbar de 50 mL completando o volume com água de grau cromatográfico. O filtrado foi recolhido em frasco âmbar e armazenado em freezer (-20°C) até o momento da injeção (MORESCHI, 2006).

Antes da injeção realizou-se a reação de conversão da tiamina em tiocromo. Pipetou-se 2 mL do extrato em balão âmbar de 10 mL, adicionou-se 3 mL de ferricianeto de potássio e aguardou-se 2 minutos. Após esse tempo foi adicionado 450 µL de ácido ortofosfórico 85% e o volume completado a 10 mL com água de grau cromatográfico.

As análises foram determinadas por cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE. As amostras foram injetadas em cromatógrafo com fase móvel isocrática, coluna de fase reversa C-18. Os solventes utilizados foram tampão fosfato pH 7,2 e dimetilformamida na proporção 85mL:15 mL, respectivamente. O fluxo de injeção foi de 1,2 mL/min.; o volume de injeção foi de 20 µL. A detecção foi por fluorescência, com comprimento de onda para detecção de 368 nm para excitação e de 440 nm para a emissão. O tempo de retenção foi de 7,5 minutos e o tempo de corrida de 9 minutos.

4.4.10.2 Vitamina B₂

O método de extração e análise de vitamina B₂ (riboflavina) por CLAE é muito semelhante à vitamina B₁, extração por hidrólise ácida e enzimática, utilização de fase móvel isocrática e coluna C-18 fase reversa (OLLILAINEN et al., 1993; NDAW et al., 2000). Os solventes utilizados foram tampão fosfato pH 7,2 dimetilformamida na proporção 82 mL: 18 mL, respectivamente. O fluxo de injeção foi de 1,5 mL/min.; o volume de injeção foi de 20 µL. A detecção foi por fluorescência, com comprimento de onda para detecção de 450 nm para excitação e de 530 nm para a emissão. O tempo de retenção foi de 11 minutos e o tempo de corrida de 13 minutos.

4.4.10.3 Vitamina B₆

A vitamina B₆ é genericamente o grupo dos compostos derivados do 3-hidroxi-2-metilpiridina que possuem atividade biológica sendo eles a piridoxina, piridoxal e piridoxamina. A análise do teor de vitamina B₆ é dada pelo total do teor destes compostos.

O método que foi aplicado para extração e determinação de vitamina B₆, ainda semelhante às outras vitaminas acima, é o sugerido por Ollilainen et al. (1993) e Ndaw et al. (2000). Utilizou-se fase móvel isocrática e coluna C-18 fase reversa. Os solventes utilizados foram tampão fosfato pH 2,5 e metanol na proporção 96 mL: 4 mL, respectivamente. O fluxo de injeção foi de 0,6 mL/min.; o volume de injeção foi de 20 µL. A detecção foi por fluorescência, com comprimento de onda para detecção de 296 nm para excitação e de 390 nm para a emissão. O tempo de retenção foi de 5, 28 minutos para o vitâmero piridoxamina; 8,35 minutos para piridoxal e 10,39 minutos para a piridoxina.

Os resultados das vitaminas determinadas nesse estudo foram expressos em mg.100g⁻¹.

O cromatógrafo utilizado foi da marca Shimadzu, modelo 20A.

4.5 Análises Físicas

Em relação às propriedades físicas dos pães foram verificados o peso da massa crua, o peso da massa assada, o índice de cocção, o peso dos pães depois de serem irradiados, o volume, a cor, a atividade de água.

4.5.1 Índice de cocção

As perdas na cocção foram calculadas pelo índice de cocção (IC), de acordo com Philippi (2003), que foi calculado através da relação entre o peso do produto assado (g) e o peso da massa crua (g).

4.5.2 Volume

O volume dos pães foi determinado pelo deslocamento de um volume conhecido de sementes de linhaça em recipiente apropriado e o volume específico foi obtido pela razão entre o volume (mL) e o peso da amostra (g) (FREITAS; STERTZ; WASZCZYNSKYJ, 1997).

4.5.3 Cor

A cor das amostras foi avaliada utilizando-se o Colorímetro Minolta, modelo Chroma Meter CR-200 b. A leitura foi realizada em triplicata. Foram mensuradas a cor da casca e do miolo dos pães. As amostras foram avaliadas no sistema L, a* e b* (BIBLE; SINGHA, 1999). Os resultados foram expressos na medida de cor croma (C) Para o cálculo do croma (C), foi utilizada a fórmula (5) conforme descrita por Estévez e Cava (2004).

$$C = (a^2 + b^2)^{0,5} \quad (5)$$

4.5.4. Atividade de água

A atividade de água foi mensurada por um aparelho determinador de atividade de água marca Testo, modelo Testo 650 do Laboratório de Micotoxinas do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP.

4.6 Análise Sensorial

As características sensoriais dos pães foram avaliadas pelo teste de preferência com intenção de compra e pela Análise Descritiva Quantitativa (ADQ).

Para a realização do teste de preferência e da análise descritiva quantitativa (ADQ), o presente estudo teve a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP em outubro de 2008.

4.6.1 Teste de preferência e intenção de compra

O método aplicado para os produtos panificados foi o afetivo, também chamado de teste de preferência, com escala hedônica, como demonstrada na Figura 5 (FARIA; YOTSUYANAGI, 2002; DELLA TORRE, 2003).

Neste teste o provador expressa o grau com que gosta ou desgosta das amostras, utilizando uma escala onde expressões verbais hedônicas são valores numéricos para permitir a análise estatística dos resultados. A escala de valores da ficha de avaliação varia de 1 a 9 de acordo com a seguinte denominação: 1 – desgostei muitíssimo, 5 – indiferente e 9 – gostei muitíssimo. As amostras foram codificadas com três dígitos e os provadores recrutados aleatoriamente. Esse teste foi realizado com abordagem direta aos consumidores para o pão francês e para o pão de forma.

Foram abordadas 82 pessoas entre 18 a 50 anos, de ambos os sexos. Os provadores também foram convidados a expressar a intenção de compra dos produtos.

As amostras foram avaliadas em duas sessões. Na primeira sessão foram oferecidas monadicamente 6 amostras (com 0%, 8% e 12% de adição de linhaça e irradiadas com 0 e 6 kGy). Na segunda sessão foram oferecidas outras 6 amostras (com 0%, 8% e 12% de adição de linhaça e irradiadas com 8 e 10 kGy).

4.6.2 Análise Descritiva Quantitativa (ADQ)

A ADQ foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ/USP e contou com a participação de provadores selecionados e treinados segundo Stone (1992). Cada formulação testada gerou 12 tratamentos. Para a ADQ, foram selecionadas os 5 melhores tratamentos de cada formulação. O critério utilizado para selecionar esses tratamentos baseou-se no teste de

preferência, realizado anteriormente à ADQ. Pelo teste de preferência, foi elencado os 5 tratamentos que apresentaram maiores notas, contabilizadas pela somatória das notas 8 e 9 atribuídas pelos provadores.

4.6.2.1. Recrutamento

Para aplicação da ADQ, várias etapas foram seguidas. Inicialmente foi realizado um recrutamento dos interessados em participar da análise. Os interessados preencheram uma ficha com informações e interesse, disponibilidade de tempo e afinidade pelo produto (Figura 6).

EFEITOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE DE CO⁶⁰ NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAIS DE PÃO DE FORMA COM ADIÇÃO DE LINHAÇA (*Linum usitatissimum*)

Essa pesquisa tem por objetivo verificar a aceitabilidade de pão irradiado com adição de linhaça. Não é necessária a sua identificação, porém ao responder a esse teste você estará concordando em participar dessa pesquisa.

1. Sexo Feminino () Masculino ()

2. Idade 18-35 () 36-50 () acima de 50 ()

3. Que tipo de pão você consome com mais frequência:

Pão de forma () Pão francês () Pão integral () Outros () _____

4. Avalie cada amostra e indique o quanto você gostou ou desgostou utilizando a escala abaixo:

- 1- Desgostei muitíssimo
- 2- Desgostei muito
- 3- Desgostei regularmente
- 4- Desgostei ligeiramente
- 5- Indiferente
- 6- Gostei ligeiramente
- 7- Gostei regularmente
- 8- Gostei muito
- 9- Gostei muitíssimo

| Código da amostra | Valor da nota |
|-------------------|---------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

5. Avalie cada amostra e indique o parecer (de 1 a 5) que melhor define sua intenção de compra com relação ao produto:

- 5 - Certamente compraria
- 4 - Provavelmente compraria
- 3 - Talvez comprasse, talvez não comprasse
- 2 - Provavelmente não compraria
- 1 - Certamente não compraria

| Código da amostra | Valor da nota |
|-------------------|---------------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

Figura 5: Ficha de avaliação sensorial de aceitabilidade e intenção de compra

FICHA DE RECRUTAMENTO

Estamos convidando você a participar do treinamento para Análise Sensorial de **Pão com Semente de Linhaça** pelo método da “Análise Descritiva Quantitativa, a qual deve identificar e quantificar seus diferentes atributos sensoriais. Para este treinamento serão necessárias 2seções por semana de aproximadamente 15minutos cada, durante um período de 2 meses,contamos com você para a formação desta equipe e provadores.

Identificação

Nome:

idade: 18-25 ()
 25-35 ()
 35-45 ()
 45-55 ()

E-mail:

Telefone para contato:

Horários disponíveis

| | segunda | terça | quarta | quinta | sexta |
|-------------------|---------|-------|--------|--------|-------|
| Manhã 8:00-10:00 | | | | | |
| 10:00-11:30 | | | | | |
| Tarde 14:00-16:00 | | | | | |
| 16:00-17:30 | | | | | |

Fumante ___sim ___não

Toma freqüentemente cafezinho ___ sim ___ não

Tem alergia ao glúten? ___sim ___ não

Figura 6: Ficha de recrutamento

Os testes foram realizados em cabines individuais, com utilização de luz branca, longe de ruídos e odores, sempre após mais de uma hora de jejum dos provadores. Os provadores foram treinados.

Foram montadas 3 equipes sensoriais, a primeira para o pão francês, a segunda para o pão de forma elaborado com pré-mistura e a terceira para o pão de forma elaborado pelo método “convencional”. Para compor cada equipe sensorial, foram recrutados 20 provadores. Foram recrutados candidatos que disponham de tempo, gozassem de boa saúde, que não apresentassem intolerância ao consumo de pão e que tivessem capacidade para utilizar termos descritivos.

4.6.2.2 Seleção

Após o recrutamento, os provadores realizaram o teste de reconhecimento dos gostos básicos. Para esse teste foram utilizadas soluções quimicamente puras dos gostos básicos: doce (2% sacarose), ácido (0,07% ácido cítrico), salgado (0,2% cloreto de sódio) e amargo (0,07% cafeína). Foram oferecidos 25 mL de cada solução aos provadores em copos plásticos descartáveis, codificados com números aleatórios de 3 algarismos.

Em cada cabine estavam as amostras, a ficha de identificação dos gostos básicos (Figura 7) e copo com água para lavagem da boca entre as avaliações.

Foram selecionados apenas os candidatos com 100% de acerto, deu-se preferência aos candidatos maiores de 18 anos com disponibilidade de tempo para participar do treinamento. Os fumantes e os com idade acima de 50 anos foram excluídos dos testes.

| FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DOS GOSTOS BÁSICOS | |
|---|------------|
| Nome: _____ | Data _____ |
| <p>Por favor, prove as amostras, identificando os gostos básicos (ácido, amargo, doce e salgado). Enxágüe a boca após cada avaliação.</p> | |
| AMOSTRA Nº | GOSTO |
| _____ | _____ |
| _____ | _____ |
| _____ | _____ |
| _____ | _____ |

Figura 7: Ficha para o teste de reconhecimento dos gostos básicos

Os candidatos aprovados no teste de reconhecimento dos gostos básicos seguiram para o teste de sensibilidade para gosto doce e salgado, no qual foi utilizado o teste triangular (Figura 8).

Os provadores receberam 3 amostras codificadas, sendo 2 iguais e uma diferente, os provadores deveriam identificar a amostra diferente. Este teste foi aplicado duas vezes para identificar a sensibilidade dos provadores para o gosto doce (concentração de 2% e 4% de sacarose) e para o gosto salgado (concentração de 1,5g/L e 0,75g/L de cloreto de sódio).

Foram escolhidos apenas os candidatos que obtiveram 100 % de acertos nos dois testes. Desse modo, a equipe sensorial do pão francês foi composta por 11 pessoas, a equipe do pão de forma elaborado com pré-mistura foi composta por 09 pessoas e a equipe do pão de forma elaborado pelo método “convencional” por 12 pessoas.

| FICHA DO TESTE TRIANGULAR | | |
|---|-------|-------|
| Nome: _____ Data: _____ | | |
| Você está recebendo três amostras codificadas. Duas amostras são iguais e uma é diferente. Por favor, prove da esquerda para a direita com intervalo de 20 segundos entre as amostras e indique a amostra diferente, fazendo um círculo ao redor do número. Lave a boca após provar cada amostra. | | |
| _____ | _____ | _____ |

Figura 8: Ficha para o teste triangular

4.6.2.3 Levantamento dos termos descritores

A etapa seguinte constou do levantamento dos termos descritores. Foi entregue ao participante duas amostras de pães, sendo uma de pão comum e outra de pão integral com linhaça, ambas adquiridas em comércio local. O provador foi convidado a descrever suas impressões em relação à aparência, ao aroma, à textura e ao sabor em uma ficha (Figura 9). As amostras foram servidas à temperatura ambiente, em pratos de porcelana, em cabines individuais e iluminadas com luz artificial. Foi servido aos provadores um outro prato com as mesmas amostras para que eles pudessem sentir o aroma e a textura dos pães.

Todos os termos descritos foram levados a uma reunião sob a supervisão de um líder e discutidos por todos os participantes presentes com o objetivo de agrupar os termos semelhantes que melhor descrevessem as amostras de pães. Nessa reunião foi definido pelo próprio grupo os termos que seriam avaliados nas amostras de pães nas sessões seguintes de treinamento.

Para a medida da intensidade de cada atributo foi utilizada uma escala não estruturada de 10 cm, variando de nada (nota 0) a muito (nota 10). Um exemplo de ficha de avaliação com escala não estruturada é demonstrado na Figura 10.

Os provadores foram treinados utilizando os parâmetros definidos na reunião, em cabines individuais com luz branca e as amostras foram codificadas com três dígitos.

Os termos descritores levantados para o pão francês, para o pão de forma elaborado com pré-mistura e para o pão de forma elaborado pelo método “convencional” estão apresentados na Figura 11, 12 e 13, respectivamente.

| FICHA DE LEVANTAMENTO DE ATRIBUTOS | |
|--|-------------|
| Nome: _____ | Data: _____ |
| Por favor, avalie cada uma das amostras quanto à aparência, aroma, sabor e textura e desenvolva termos que melhor descrevem as amostras com relação a cada um desses atributos sensoriais. | |
| APARÊNCIA | |
| AROMA | |
| SABOR | |
| TEXTURA | |

Figura 9: Ficha para o levantamento dos atributos

Nome: _____ Data: _____

Por favor, avalie cada um dos atributos abaixo, indicando com um traço vertical, o ponto da escala que melhor quantifique a intensidade de cada atributo.

APARÊNCIA: _____
nada muito

AROMA: _____
nada muito

SABOR _____
nada muito

TEXTURA: _____
nada muito

Figura 10: Modelo de ficha de avaliação com escala não estruturada

APARÊNCIA:

Característica

Cor da Casca

AROMA

Característico

TEXTURA

Consistência

SABOR

Característico

Peixe

Figura 11: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão francês

APARÊNCIA:

Característica

Cor da Casca

Uniformidade

AROMA

Característico

Fermento

TEXTURA

Característica

Consistência

Maciez

Aderência

SABOR

Característico

Amargo

Fermento

Figura 12: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão de forma elaborado com pré-mistura

| APARÊNCIA: |
|-------------------|
| Característica |
| Cor da Casca |

| AROMA |
|----------------|
| Característico |
| Fermento |
| Manteiga |
| Peixe |

| TEXTURA |
|----------------|
| Característico |
| Homogêneo |
| Maciez |
| Firmeza |

| SABOR |
|----------------|
| Característico |
| Fermento |
| Adocicado |
| Peixe |
| Amargo |
| Manteiga |

Figura 13: Termos descritores levantados pela equipe sensorial do pão de forma preparado pelo método “convencional”

4.6.2.4 Treinamento e ADQ

O treinamento foi composto de 6 sessões. O objetivo dessas sessões foi treinar o grupo de provadores em relação aos termos descritores levantados, para isso utilizou-se materiais de referência para exemplificar cada termo levantado bem como sua intensidade (pouco ou muito; claro ou escuro - Figura 14, 15 e 16). Na ADQ final, as amostras foram servidas monadicamente à temperatura ambiente, em cabine individual com iluminação artificial, codificadas com 3 algarismos. Os provadores receberam a mesma ficha de avaliação utilizada durante o treinamento. A ADQ final foi feita em um dia e repetida no dia seguinte com intuito de aumentar a confiabilidade dos dados.

| Termo descritor (Atributo) | Definição | Referência |
|---------------------------------------|---|---|
| Aparência | | |
| 1. Característico | Refere-se à aparência característica de pão francês tradicional e pão francês integral. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco Característico: pão francês torrado. ● Muito Característico: pão francês integral e tradicional. |
| 2. Cor da Casca | Refere-se à cor da casca do pão francês variando da cor clara a cor escura. | <ul style="list-style-type: none"> ● Claro: casca de pão francês comum. ● Escuro: casca de pão francês torrada. |
| Aroma | | |
| 3. Característico | Refere-se ao aroma próprio dos pães francês integral e tradicional. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco Característico: pão francês com essência de erva-doce. ● Muito Característico: pão francês tradicional e pão francês integral. |
| Textura | | |
| 4. Consistência | Refere-se à firmeza do pão. Quanto mais consistente mais duro e esfarelento é o pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão doce. ● Muito: pão francês torrado. |
| Sabor | | |
| 5. Característico | Refere-se ao sabor próprio dos pães francês integral e tradicional. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco Característico: pão tipo bisnaga. ● Muito Característico: pão francês tradicional e pão francês integral. |
| 6. Sabor de peixe | Refere-se ao sabor de peixe conferido pela adição da semente de linhaça. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão francês tradicional e pão francês integral. ● Muito: pão francês integral com patê de atum. |

Figura 14: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão francês.

| Termo descritor (Atributo) | Definição | Referência |
|-----------------------------------|--|--|
| Aparência | | |
| 1. Característica | Refere-se à aparência característica de pão de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão bisnaga ● Muito: pão de forma com e sem linhaça |
| 2. Cor da Casca | Refere-se à cor da casca dos pães de forma variando da cor clara a cor escura. | <ul style="list-style-type: none"> ● Claro: pão de forma tradicional ● Escuro: pão de forma integral/centeio |
| 3. Uniformidade | Refere-se à presença ou ausência de buracos | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma com buracos ● Muito: pão de forma tradicional |
| Aroma | | |
| 4. Característico | Refere-se ao aroma próprio do pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão com gotas de essência de erva-doce ● Muito: pão de forma |
| 5. Aroma de Fermento | Refere-se à intensidade do aroma residual de fermento no pão | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional ● Muito: Fermento biológico |
| Textura | | |
| 6. Característica | Refere-se à textura do próprio pão das amostras. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão bisnaga ● Muito: pão de forma com e sem linhaça. |
| 7. Consistência | Refere-se à firmeza do pão. Quanto mais consistente mais duro e esfarelento é o pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional. ● Muito: pão seco/torrada |
| 8. Maciez | Refere-se à maciez do pão | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão seco/torrada ● Muito: pão de leite |
| 9. Aderência | Refere-se à aderência do pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma com e sem linhaça ● Muito: bala 7 belo |
| Sabor | | |
| 10. Característico | Refere-se ao sabor próprio do pão de forma. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão bisnaga ● Muito: pão de forma com e sem linhaça |
| 11. Amargo | Refere-se ao sabor amargo do pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional ● Muito: pão de forma com adição de cafeína |
| 12. Sabor de fermento | Refere-se ao residual de fermento presente no pão. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma com e sem linhaça ● Muito: fermento biológico |

Figura 15: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão elaborado com pré-mistura.

(Continua)

| Termo descritor (Atributo) | Definição | Referência |
|-----------------------------------|--|---|
| Aparência | | |
| 1. Característica | Refere-se à aparência característica de pão de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: fatia de pão sirio ● Muito: fatia de pão de forma tradicional e integral com grãos de Linhaça |
| 2. Cor da Casca | Refere-se à cor da casca dos pães de forma variando da cor clara a cor escura | <ul style="list-style-type: none"> ● Claro: pão de forma tradicional ● Escuro: Casca do pão de forma torrada |
| Aroma | | |
| 3. Característico | Refere-se ao aroma próprio do pão | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão com gotas de essência de erva doce ● Muito: pão de forma tradicional e integral |
| 4. Fermento | Refere-se à intensidade do aroma de fermento nos pães | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: Fermento biológico ● Muito: Fermento químico |
| 5. Manteiga | Refere-se ao aroma específico de manteiga nos pães | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional e integral ● Muito: pão de forma com manteiga |
| 6. Peixe | Refere-se ao aroma de peixe dos pães | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional e integral ● Muito: pão de forma com patê de atum |
| Textura | | |
| 7. Característico | Refere-se à textura característica de pão de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: fatia de pão sirio ● Muito: fatia de pão de forma tradicional e integral com grãos de Linhaça |
| 8. Homogêneo | Refere-se à aparência homogêneo de pão de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: fatia de pão de forma com buracos ● Muito: fatia de pão de forma tradicional e integral |
| 9. Maciez | Refere-se à maciez dos pães de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: Torrada ● Muito: Pão do tipo Bisnaga |
| 10. Firmeza | Refere-se à firmeza dos pães de forma tradicional e pão de forma integral | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: fatia de bolo Pullmam ● Muito: Pão francês amanhecido |
| Sabor | | |
| 11. Característico | Refere-se ao sabor próprio sabor do pão de forma tradicional e integral. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: Bolacha água e sal ● Muito: pão de forma tradicional e integral |
| 12. Fermento | Refere-se ao sabor de fermento dos pães. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional ● Muito: Fermento Biológico |

| | | Conclusão |
|---------------|--|--|
| 13. Adocicado | Refere-se ao sabor doce do pão | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional ● Muito: Sonho |
| 14. Peixe | Refere-se ao sabor de peixe dos pães | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional e integral ● Muito: pão de forma com patê de atum |
| 15. Amargo | Refere-se ao sabor amargo presente nos pães de forma tradicional e integral. | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão integral ● Muito: pão de forma integral com cafeína diluída |
| 16. Manteiga | Refere-se ao sabor de manteiga presente no pão tradicional | <ul style="list-style-type: none"> ● Pouco: pão de forma tradicional ● Muito: pão de forma tradicional com manteiga |

Figura 16: Termos descritores, definições e referências utilizadas durante o treinamento do pão de forma elaborado pelo método “convencional”.

4.7 Análises Microbiológicas

Foram realizadas análises nos 1^o, 7^o, 14^o e 21^o dias após a fabricação dos pães. As amostras foram analisadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ/USP, para os seguintes parâmetros microbiológicos:

- Estimativa do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais
- Estimativa do NMP de coliformes a 45^oC
- Contagem total de *Staphylococcus* coagulase positiva
- Contagem total de *Bacillus cereus*
- Contagem total de fungos (bolores + leveduras)
- Presença/ausência de *Salmonella*.

A Resolução RDC n.12, de 02/01/01 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA, 2001), em vigor, estipula para pães e produtos de panificação, padrões microbiológicos para coliformes a 45^oC e *Salmonella*. Ainda nesta mesma Resolução, no item massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza, há menção de tolerâncias para *Bacillus cereus* e *Staphylococcus* coagulase positiva. Como na Portaria 451, de 19/09/97, da Secretaria de Vigilância Sanitária, (ANVISA, 1997), que deu lugar a RDC n.12, havia menção de padrões tolerados para pães e produtos de panificação em relação a fungos, também este parâmetro microbiológico foi incluído nas análises para uma melhor avaliação da qualidade microbiológica das amostras.

Foram realizados 3 ensaios (primeiro com início em 10/11/09; segundo com início em 14/01/10 e terceiro com início em 31/03/11), nos quais as amostras com : 0% de linhaça e 0 kGy, 0% de linhaça e 6 kGy, 0% de linhaça e 8 kGy, 0% de linhaça e 10 kGy, 8% de linhaça e 0 kGy, 8% de linhaça e 6 kGy, 8% de linhaça e 8 kGy, 8% de linhaça e 10 kGy, 12% de linhaça e 0 kGy, 12% de linhaça e 6 kGy, 12% de linhaça e 8 kGy e 12% de linhaça e 10 kGy, foram analisadas para os parâmetros microbiológicos mencionados anteriormente.

Para a estimativa do NMP de coliformes totais e de coliformes a 45^oC/ g de pão, utilizou-se a técnica de tubos múltiplos, com teste presuntivo e confirmativo, segundo Kornacki e Johnson (2001) e consulta a Tabela de NMP de Thomas (1942) apud Swanson; Petran e Hanlin (2001).

As contagens totais microbianas, realizadas por plaqueamento em meios de cultivo apropriados para enumeração das unidades formadoras de colônias (UFC) e expressão das mesmas por grama de pão, foram realizadas de acordo com as recomendações de Lancette;

Bennett (2001) para *Staphylococcus* coagulase positiva, Bennett; Belay (2001) para *Bacillus cereus* e Beuchat e Cousin (2001) para fungos.

As análises microbiológicas para *Salmonella*, foram realizadas conforme o método oficial aprovado pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (2000), utilizando-se o kit 1-2 Test da Biocontrol, método rápido qualitativo para a detecção de espécies móveis de *Salmonella*.

Todos os resultados obtidos foram comparados com as legislações mencionadas para pães e produtos de panificação, a fim de verificar se as amostras analisadas apresentavam-se ou não em conformidade com tais referências.

Os parâmetros microbiológicos utilizados como padrões de referência (tolerância) para avaliação da conformidade foram:

NMP de coliformes a 45⁰C: até 10² NMP/g de pão

Salmonella em 25g: ausência

Bacillus cereus: até 5,0x10²UFC/g de pão

Staphylococcus coagulase positiva: até 5,0x10²UFC/g de pão

Fungos (bolors + leveduras): até 5,0x10³UFC/g de pão

4.8 Pesquisa de opinião

O perfil do consumidor em relação aos alimentos irradiados foi traçado por meio de um questionário respondido por entrevistados abordados nas imediações da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP (Figura 14). Foram entrevistadas 101 pessoas através de abordagem direta. O método de coleta dos dados deu prioridade à entrevista pessoal, por ser um dos métodos mais empregados em pesquisa de opinião do consumidor. Para não haver a possibilidade de distorções tendenciosas a pesquisa foi realizada sem qualquer explicação prévia sobre o assunto, sendo os esclarecimentos dados após a pesquisa.

(Conclusão)

7. Você consumiria produtos irradiados?

8. Para você alimento irradiado é a mesma coisa que alimento radiativo?

9. A irradiação de alimentos pode trazer algum prejuízo à saúde do consumidor e/ou meio ambiente?

10. Você compraria alimento irradiado? Por quê?

11. Você conhece o símbolo que identifica que um alimento foi irradiado?

12. Você consumiria alimento irradiado se soubesse que a irradiação aumenta a segurança alimentar contra inúmeras doenças?

Figura 17: Modelo de questionário para avaliar a opinião do consumidor em relação à irradiação de alimentos

4.9. Análise estatística

O delineamento experimental empregado foi o fatorial e inteiramente ao acaso. Relacionou-se as 3 concentrações de linhaça (0%, 8% e 12%) e as quatro doses de radiação (0, 6, 8 e 10 kGy). Foi utilizado o software Statistical Analysis System (SAS, 1998) para os cálculos. Foi realizada análise de variância pelo teste F e a comparação das médias das diferentes formulações de pães foi analisada segundo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) (PIMENTEL-GOMES, 1982).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PÃO FRANCÊS

5.1.1 Análises Químicas

5.1.1.1 Composição centesimal

A Tabela 1 apresenta a composição centesimal do pão francês com diferentes porcentagens de linhaça.

Tabela 1. Composição centesimal em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça.

| | 0% Linhaça¹ | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| % Umidade | 29,29 ± 0,00 ^{2a} | 27,50 ± 0,10 ^b | 28,10 ± 1,00 ^{ab} |
| % Carboidratos | 56,58 ± 0,30 ^a | 53,69 ± 0,10 ^b | 50,63 ± 1,6 ^c |
| % Proteínas | 9,86 ± 0,20 ^b | 11,37 ± 0,10 ^a | 10,36 ± 0,40 ^b |
| % Lipídeos | 0,54 ± 0,00 ^c | 1,78 ± 0,00 ^b | 2,49 ± 0,20 ^a |
| % Fibras Insolúveis | 0,80 ± 0,20 ^b | 1,55 ± 0,20 ^b | 3,63 ± 0,20 ^a |
| % Fibra Solúveis | 1,51 ± 0,20 ^b | 2,01 ± 0,20 ^b | 3,05 ± 0,20 ^a |
| % Cinzas | 2,36 ± 0,30 ^a | 2,29 ± 0,10 ^a | 2,28 ± 0,30 ^a |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na horizontal indicam diferença significativa ($P < 0,05$).

A porcentagem de carboidratos apresentou comportamento inversamente proporcional à porcentagem de linhaça. A linhaça possui menor quantidade de carboidratos (8,6 mg.100g⁻¹) em relação à farinha de trigo (78 mg.100g⁻¹) (MOLENA-FERNANDES et al., 2010; PEREZ; GERMANI, 2004) justificando assim a diminuição do teor de carboidratos com o aumento da quantidade de linhaça no pão. Os três pães diferiram entre si. Os pães com 8% de linhaça diferiram em relação à quantidade de proteínas em relação aos grupos controle e pães com 12% de linhaça, era esperado que o pão com 12% de linhaça apresentasse o maior teor.

Provavelmente a distribuição da linhaça e a amostragem não adequada podem ter ocasionado a maior quantidade de proteínas no pão com 8%. O aumento na porcentagem de linhaça ocasionou aumento na porcentagem de lipídeos e de fibras solúveis e insolúveis, devido à composição do grão de linhaça apresentar maiores teores de lipídeos, fibras solúveis e insolúveis. A linhaça possui em sua composição química cerca de 30 a 40% de gordura, 20 a 28% de fibra dietética total, 20 a 25% de proteína e 3 a 4% de cinzas (OLIVEIRA; PIROZI; BORGES, 2007). Segundo Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) dentre pães de forma com 0%, 3%, 6% e 9% de linhaça, o pão enriquecido com 9% de linhaça apresentou os maiores valores em relação às proteínas, lipídios e fibras alimentares, resultados que confirmam alteração nesses constituintes com a adição da linhaça.

5.1.1.2 Determinação de ácido fítico

Não foi possível detectar o ácido fítico em pão francês com a metodologia empregada. Segundo Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) os conteúdos de fitato em pães de forma, submetidos a 60 minutos de fermentação, foram de 184,0 mg/100g (0% de linhaça); 248,0 mg/100g (3% de linhaça); 292,0 mg/100g (6% de linhaça) e 376,0 mg/100g (9% linhaça). Estudos de Nayini e Markakis (1983) verificaram o decréscimo de inositol fosfato e acréscimo de fosfato inorgânico (P_i), o qual é o produto final da quebra do ácido fítico pela enzima fitase. Isto se deve à ativação da fitase endógena durante o processo de fermentação. O tempo de fermentação é inversamente proporcional à presença de intermediários da reação e diretamente proporcional à formação de fosfato inorgânico. Numa fermentação durante 120 minutos os decréscimos foram de 398 mg/100 g de IP_6 para 92 mg/100 g em pão integral, enquanto que a presença P_i aumentou de 45 mg/100 g para 157 mg/100 g. No presente estudo o tempo de fermentação do pão francês foi de 180 minutos, o que pode ter potencializado o efeito do decréscimo de ácido fítico em função do tempo fermentação utilizado. Desta maneira o tempo de fermentação pode ter diminuído o teor de ácido fítico. Ocorre aumento dos teores de ácido fítico com a adição de linhaça, porém esse aumento não foi o suficiente para que ocorresse aumento dos teores dos mesmos sendo possível sua detecção. No estudo de Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) foram usados grãos inteiros adicionados à massa do pão de forma, o que pode ter contribuído para a preservação do ácido fítico após a fermentação. No presente estudo a linhaça foi adicionada na forma de farinha à massa do pão francês, potencializando a degradação durante o processo de fermentação.

5.1.1.3 Taninos

Taninos não foram detectados em nenhuma amostra de pão francês. Segundo Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) os valores de taninos se mantiveram na casa de 0,96; 0,95; 0,98 e 1,01 mg.g⁻¹ em pão de forma com 0, 3, 6 e 9% de linhaça, respectivamente. Entretanto, a fermentação pode ter influenciado no aumento proporcional esperado, quando se variou a porcentagem de 0, 3, 6 e 9% de linhaça para 12% de linhaça no presente estudo, além do que na pesquisa de Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) foram adicionados os grãos, o que pode ter dificultado a degradação dos taninos durante o processo de fermentação. O tempo de fermentação do pão elaborado por esses autores foi de 60 minutos, o que é três vezes menor ao tempo utilizado no presente estudo, que utilizou pão francês, cuja massa foi fermentada durante 180 minutos. Os resultados apresentados no presente estudo concordam com Egounlety e Aworh (2003), que não detectaram tanino em leguminosas fermentadas.

5.1.1. 4 Fenólicos Totais

O teor de fenólicos totais em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetido à radiação é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Fenólicos totais (μg de catequina. g⁻¹) em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | Fenólicos totais ¹ (μg de catequina.g ⁻¹) | | |
|-------------|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 226,17 \pm 49,36 ^{b2B3} | 314,39 \pm 8,84 ^{aA} | 382,51 \pm 32,56 ^{aA} |
| 6,0 | 196,60 \pm 21,98 ^{bA} | 293,15 \pm 79,63 ^{aA} | 369,21 \pm 94,91 ^{aA} |
| 8,0 | 180,92 \pm 7,38 ^{bB} | 262,12 \pm 51,08 ^{aA} | 223,20 \pm 21,47 ^{bAB} |
| 10,0 | 362,50 \pm 43,59 ^{aA} | 231,74 \pm 27,84 ^{aB} | 224,82 \pm 17,48 ^{bB} |

¹Os dados são a média de três repetições \pm desvio padrão; ²Letras minúsculas diferente na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Pães sem adição de linhaça irradiados com 10,0 kGy apresentam fenólicos totais em maior quantidade, quando comparados aos pães irradiados com 6,0 e 8,0 kGy e não irradiados. Teores mais elevados de fenólicos totais foram encontrados em soja submetida à dose de 10,0 kGy (STAJNER; MILOSEVIC; POPOVIC, 2007), em comparação ao grupo controle, apresentando, deste modo, comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho.

Pães com 8% de linhaça não apresentaram diferença significativa em relação à irradiação. Os pães com 12% de linhaça apresentam níveis de fenólicos totais significativamente inferiores a partir de 8,0 kGy, demonstrando que com maior teor de linhaça ocorreu diminuição do fenólicos devido a irradiação. Provavelmente os fenólicos presentes na linhaça sejam sensíveis ao processo de irradiação, dessa forma os pães com maiores teores apresentaram as maiores alterações com a irradiação. Os pães não irradiados demonstram a efetividade da adição de linhaça no incremento de fenólicos totais em pão francês, porém quando é realizada a irradiação o teor de fenólicos é diminuído.

O aumento da porcentagem de linhaça para 12%, em pães não irradiados, demonstra que os compostos fenólicos totais não são conclusivos em relação à propriedade antioxidante do pão. Isto porque isômeros geométricos apresentam atividades antioxidantes diferentes (BOHM et al., 2002), segundo os autores isômeros cis apresentaram atividade antioxidante mais elevadas que seus isômeros trans. Os fenólicos totais indicam a presença de compostos potencialmente antioxidantes, mas a sua efetividade deve ser verificada com metodologias específicas para confirmar estas propriedades antioxidantes.

5.1.1.5 Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante pelos radicais DPPH e ABTS em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetido à irradiação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Atividade antioxidante em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade antioxidante ¹ por DPPH ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,37 \pm 0,02 ^{a2A3} | 0,37 \pm 0,02 ^{aA} | 0,23 \pm 0,02 ^{aB} |
| 6,0 | 0,33 \pm 0,01 ^{bA} | 0,19 \pm 0,02 ^{bB} | 0,20 \pm 0,03 ^{aB} |
| 8,0 | 0,31 \pm 0,01 ^{bA} | 0,21 \pm 0,01 ^{bB} | 0,15 \pm 0,02 ^{aC} |
| 10,0 | 0,31 \pm 0,00 ^{bA} | 0,15 \pm 0,00 ^{cB} | 0,15 \pm 0,06 ^{aB} |
| Atividade antioxidante ¹ por ABTS ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 4,78 \pm 0,38 ^{bB} | 5,41 \pm 0,14 ^{aB} | 6,95 \pm 0,22 ^{aA} |
| 6,0 | 6,07 \pm 0,50 ^{aA} | 6,16 \pm 0,28 ^{aA} | 6,84 \pm 0,04 ^{aA} |
| 8,0 | 4,68 \pm 0,30 ^{bB} | 5,59 \pm 0,33 ^{aAB} | 5,92 \pm 0,50 ^{bA} |
| 10,0 | 5,01 \pm 0,25 ^{bB} | 5,70 \pm 0,41 ^{aB} | 6,57 \pm 0,30 ^{abA} |

¹Os dados são a média de três repetições \pm desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

A Tabela 3 mostra que a atividade antioxidante aumentou significativamente em pães não irradiados, com 12% de linhaça quando utilizado o radical ABTS. A atividade antioxidante por ABTS do pão com 12% de linhaça é diretamente proporcional à presença de fenólicos totais nos pães não irradiados. Para o radical DPPH não foi observado o mesmo comportamento. Isso ocorre, pois os radicais apresentam comportamentos diferentes em relação aos compostos reativos.

Considerando o radical ABTS os pães sem adição de linhaça apresentaram diferença significativa em sua atividade antioxidante somente quando submetidos à dose de 6,0 kGy. Pães com 8% de linhaça não tiveram sua atividade antioxidante influenciada pela irradiação. Já os pães com 12% de linhaça apresentaram diferença significativa na dose de 8,0 kGy em relação ao controle e à dose de 6,0 kGy.

Considerando o radical DPPH as amostras irradiadas e que receberam adição de 0% e 8% de linhaça apresentaram atividade antioxidante significativamente menor quando comparadas às amostras que não foram irradiadas. As amostras que receberam 12% de adição de linhaça não apresentaram diferença estatística entre as doses, apesar de numericamente, as amostras irradiadas apresentarem atividade antioxidante menor que a do controle. Analisando apenas o efeito da linhaça, observou-se que a adição desse ingrediente não provocou aumento da atividade antioxidante nos pães, inclusive observou-se decréscimo no pão com 12% de linhaça. Comparando-se as diferentes porcentagens de linhaça em função de uma mesma dose, observou-se diminuição significativa da atividade antioxidante pelo radical DPPH.

O aumento da dose de radiação gama foi suficiente para diminuir a atividade antioxidante. A irradiação gera radicais livres, que é o passo inicial para o mecanismo de autoxidação lipídica (CALUCCI et al., 2003). A diminuição da atividade antioxidante pode estar relacionada aos processos autoxidativos, principalmente no pão com maior porcentagem de linhaça.

5.1.1.6 Índice glicêmico

Foi realizada medida do índice glicêmico do pão e os dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Índice Glicêmico em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Índice Glicêmico ¹ | | | |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 40,26 ± 0,00 ^{a2A3} | 40,18 ± 0,01 ^{CB} | 40,12 ± 0,01 ^{bC} |
| 6,0 | 40,19 ± 0,00 ^{dC} | 40,29 ± 0,01 ^{aA} | 40,21 ± 0,00 ^{aB} |
| 8,0 | 40,21 ± 0,01 ^{cA} | 40,19 ± 0,01 ^{cbA} | 40,20 ± 0,01 ^{aA} |
| 10,0 | 40,23 ± 0,00 ^{bA} | 40,21 ± 0,01 ^{bA} | 40,08 ± 0,01 ^{cB} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

As amostras que não receberam adição de linhaça em sua formulação apresentaram diferença estatística entre as doses aplicadas, sendo que a amostra controle apresentou maior índice glicêmico e a amostra que recebeu dose de 6 kGy apresentou o menor índice glicêmico. A formulação que recebeu 8 % de adição de linhaça e a que recebeu 12% de adição de linhaça na formulação também apresentaram diferença estatística entre as doses aplicadas. Nessas formulações a dose de 6 kGy apresentou maior índice glicêmico.

De acordo com a Tabela 4, conforme adicionou-se a linhaça, o índice glicêmico diferiu estatisticamente entre as amostras que não receberam irradiação, isto pode ser explicado pelo fato dos pães conterem elevado teor de fibra que pode favorecer a redução no índice glicêmico (TORRES, 2001; CARUSO; MENEZES, 2000). Já nas amostras com diferentes concentrações de linhaça e irradiadas com 6 kGy o índice glicêmico diferiu estatisticamente, sendo que a amostra que recebeu 8% de adição de linhaça apresentou maior valor. As amostras com diferentes concentrações de linhaça que receberam dose de 8 kGy não apresentaram diferença estatística, o mesmo ocorreu com a dose de 10 kGy, com exceção da amostra com 12% de linhaça.

De acordo com Truswell (1992) e Lemos et al. (2002) o índice glicêmico ideal para o tratamento nutricional de diabéticos e obesos deve ser inferior a 70. Os tratamentos apresentados nesse estudo apresentaram índice glicêmico entre 40.08 e 40.29, o que indica que obesos e diabéticos poderiam consumir qualquer um dos produtos pesquisados nesse estudo.

5.1.1.7 Determinação de ácidos graxos

O perfil dos ácidos graxos é apresentado na Tabela 5, considerando os diferentes ácidos graxos analisados, doses de radiação e porcentagens de linhaças utilizadas no estudo.

Tabela 5. Perfil de ácidos graxos (%) determinados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Ácido Palmítico (%)¹ | | | |
|---|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 22,35 ± 0,8 ^{a2A3} | 18,69 ± 0,2 ^{aB} | 11,71 ± 0,3 ^{abC} |
| 6,0 | 22,08 ± 0,7 ^{aA} | 16,16 ± 0,4 ^{bbB} | 12,20 ± 0,5 ^{abC} |
| 8,0 | 23,81 ± 0,5 ^{aA} | 16,16 ± 0,3 ^{bbB} | 13,05 ± 0,9 ^{aC} |
| 10,0 | 21,99 ± 0,6 ^{aA} | 14,86 ± 0,3 ^{cB} | 10,92 ± 0,5 ^{bcC} |
| Ácido Palmitoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 1,34 ± 0,7 ^{a2A3} | 1,21 ± 0,5 ^{aA} | 1,45 ± 0,1 ^{aA} |
| 6,0 | 1,28 ± 0,9 ^{aA} | 1,89 ± 0,03 ^{aA} | 1,03 ± 0,3 ^{aA} |
| 8,0 | 1,19 ± 0,3 ^{aA} | 1,56 ± 0,4 ^{aA} | 1,73 ± 0,3 ^{aA} |
| 10,0 | 1,32 ± 0,4 ^{aA} | 1,92 ± 0,2 ^{aA} | 1,55 ± 0,1 ^{aA} |
| Ácido Estearíco (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 6,06 ± 0,4 ^{a2A3} | 6,04 ± 0,2 ^{aA} | 4,30 ± 0,4 ^{aB} |
| 6,0 | 6,80 ± 0,2 ^{aA} | 6,73 ± 0,4 ^{aA} | 4,32 ± 0,3 ^{aB} |
| 8,0 | 6,67 ± 0,8 ^{aA} | 6,01 ± 0,6 ^{aA} | 4,08 ± 0,4 ^{aB} |
| 10,0 | 6,56 ± 0,7 ^{aA} | 5,41 ± 0,8 ^{aA} | 3,45 ± 0,2 ^{aB} |
| Ácido Oléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 14,63 ± 0,2 ^{a2A3} | 14,46 ± 0,2 ^{aA} | 15,06 ± 0,5 ^{aA} |
| 6,0 | 12,02 ± 0,6 ^{bbB} | 14,10 ± 0,6 ^{aA} | 15,14 ± 0,4 ^{aA} |
| 8,0 | 11,31 ± 0,6 ^{bbB} | 14,57 ± 0,9 ^{aA} | 14,63 ± 0,4 ^{aA} |
| 10,0 | 11,78 ± 0,5 ^{bbB} | 13,85 ± 0,6 ^{aA} | 14,35 ± 0,7 ^{aA} |
| Ácido Linoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 51,36 ± 0,06 ^{b2A3} | 46,38 ± 0,6 ^{aB} | 35,10 ± 0,9 ^{aC} |
| 6,0 | 50,98 ± 0,7 ^{baA} | 43,07 ± 0,4 ^{bbB} | 34,68 ± 0,5 ^{aC} |
| 8,0 | 54,86 ± 0,8 ^{aA} | 40,19 ± 0,6 ^{cbB} | 35,47 ± 0,3 ^{aC} |
| 10,0 | 55,10 ± 0,7 ^{aA} | 43,56 ± 0,4 ^{bbB} | 35,60 ± 0,9 ^{aC} |
| Ácido Linolênico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 1,95 ± 0,06 ^{b2C3} | 14,42 ± 0,9 ^{cB} | 28,08 ± 0,6 ^{cC} |
| 6,0 | 2,31 ± 0,3 ^{abC} | 15,77 ± 0,7 ^{cB} | 29,88 ± 0,7 ^{baA} |
| 8,0 | 2,70 ± 0,2 ^{aC} | 20,30 ± 0,4 ^{aB} | 27,19 ± 0,3 ^{cA} |
| 10,0 | 2,36 ± 0,3 ^{abC} | 18,26 ± 0,9 ^{bbB} | 34,88 ± 0,6 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de Linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Observou-se que a dose de irradiação acarretou diferenças entre os valores dos ácidos graxos, exceto para os ácidos palmitoléico e esteárico. A amostra com 0% de linhaça foi a que mais sofreu variações, diminuindo o teor de ácido oléico conforme o aumento da dose de irradiação e aumentando o teor de ácido linoléico e linolênico. A amostra com 8% de linhaça também apresentou variações nos teores de ácido palmítico, linoléico e linolênico. Para o ácido palmítico e linoléico as doses maiores diminuíram os teores, enquanto que para o ácido linolênico aumentou estes teores conforme o aumento da dose. A amostra com 12% de linhaça apresentou aumento também no teor de ácido linolênico, como ocorreu para o pão com adição de 8%. O teor de ácido palmítico foi reduzido quando aplicada a dose de 10 kGy nas amostras adicionadas de linhaça. Tipples e Norris (1965) analisando os efeitos da radiação gama nos lipídios da farinha de trigo, observaram variações nos teores dos ácidos linoléico, linolênico e palmítico, sendo as alterações maiores conforme o aumento da dose utilizada. Marathe et al. (2002) e Silva et al. (2010) analisando também o efeito de diferentes doses de radiação gama em farinhas observaram que a irradiação não afetou o teor de lipídeos da farinha de trigo.

Dos ácidos graxos analisados, apenas o ácido palmitoléico não apresentou variação devido ao aumento da adição de linhaça. Notou-se diminuição no teor dos ácidos palmítico, linoléico e esteárico conforme a adição de linhaça, sendo que este último sofreu variação nas amostras com adição de 12% de linhaça. Já em relação aos ácidos oléico e linolênico houve aumento destes de acordo com a porcentagem de linhaça adicionada ao pão. Mentis, Bakkalbassi e Ercan (2008) estudando a adição de linhaça em pães confeccionados com farinha de trigo constataram que o teor de ácidos graxos poliinsaturados aumentou nos pães que continham linhaça adicionada, sendo o ácido linolênico o mais abundante entre os ácidos graxos analisados. Conforti e Davis (2006) analisando o perfil de ácidos graxos em pães produzidos com farinha de linhaça observaram também que o conteúdo de ácidos graxos poliinsaturados sofreu aumento, tendo como um dos destaques o ácido oléico.

Ozden e Erkan (2010) estudaram o efeito da irradiação (2,5 e 5 kGy) nos ácidos graxos de robalos e verificaram aumento significativo de ácido linoléico e linolênico após a irradiação. De acordo com a Tabela 5, observou-se que os pães que não receberam adição de linhaça apresentaram aumento significativo no teor de ácido linoléico nas doses 8 e 10 kGy. Também para o ácido linolênico ocorreu aumento com a aplicação da irradiação, com exceção da amostra com 12% de linhaça irradiada com 8kGy, que apresentou teor desse nutriente inferior ao do controle.

Os ácidos palmitoléico e esteárico são os que apresentaram menores teores no pão francês quando comparados aos demais ácidos graxos, sendo o ácido linoléico o de maior teor seguido pelo ácido linolênico.

5.1.1.8 Índice de acidez

Os resultados da porcentagem de índice de acidez estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Porcentagem de Índice de acidez ¹ | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 1,87±0,29 ^{a2A3} | 0,37±0,09 ^{bB} | 0,41±0,06 ^{bB} |
| 6,0 | 3,36±0,83 ^{aA} | 0,60±0,21 ^{bB} | 0,53±0,07 ^{bB} |
| 8,0 | 2,23±0,77 ^{aA} | 0,49±0,21 ^{bB} | 0,59±0,08 ^{bB} |
| 10,0 | 2,51±0,39 ^{aA} | 1,12±0,18 ^{aB} | 0,94±0,10 ^{aB} |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Entre as amostras que não receberam adição de linhaça não houve diferença estatística entre as doses aplicadas, o mesmo aconteceu com a formulação que recebeu adição de 8% e 12 % de linhaça, com exceção da dose de 10 kGy que apresentou maior resultado para o índice de acidez nas formulações que receberam adição de linhaça. A maior quantidade de ácidos graxos proveniente da linhaça promoveu alteração com a dose de 10 kGy.

As amostras que receberam adição de linhaça apresentaram menor índice de acidez para todas as doses pesquisadas quando comparadas ao controle.

Silva et al. (2010) que estudaram o efeito de diferentes doses da radiação gama (3; 4,5; 6 kGy) nos atributos sensoriais e físico-químicos de farinha de trigo e fubá, verificaram que a irradiação provocou alteração na acidez da gordura nas farinhas e essa alteração foi maior quanto maior a dose de irradiação.

Na alteração hidrolítica dos lipídios ou lipólise, os ácidos graxos são liberados dos triglicerídeos. Assim, além do sabor desagradável, ocorre o aumento da acidez, susceptibilidade dos ácidos graxos às reações de oxidação e alterações das propriedades funcionais (GUTKOSKI; PEDÓ, 2000).

A irradiação gera radicais livres que são responsáveis por alterações moleculares como a fragmentação do amido (SOKHEY; HANNA, 1993), a redução da viscosidade, a maior capacidade de hidratação e o aumento da acidez (BAO; CORKE, 2002; LEE et al., 2008).

5.1.1.9 Teor de minerais

O teor de minerais é apresentado em duas Tabelas, Tabela 7 os macrominerais e a Tabela 8 os microminerais.

Tabela 7. Teor de macrominerais ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | P ¹ | K | Ca | Mg | S | Na |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 kGy | 0 | 0,84±0,58 ^{a2} | 1,36±0,29 ^a | 0,53±0,53 ^a | 0,61±0,80 ^a | 0,54±0,41 ^a | 4,85±1,59 ^a |
| | 8 | 1,33±0,10 ^a | 1,87±0,14 ^a | 0,71±0,44 ^a | 0,86±0,80 ^a | 0,95±0,48 ^a | 6,29±0,39 ^a |
| | 12 | 1,55±0,08 ^a | 1,79±0,26 ^a | 1,19±0,69 ^a | 1,41±0,88 ^a | 0,69±0,42 ^a | 5,70±0,29 ^a |
| 6 kGy | 0% | 1,13±0,09 ^b | 1,62±0,29 ^a | 0,64±0,50 ^a | 0,73±0,92 ^a | 0,79±0,43 ^a | 6,46±0,78 ^a |
| | 8% | 1,47±0,07 ^a | 1,87±0,14 ^a | 0,78±0,61 ^a | 0,95±0,95 ^a | 0,94±0,43 ^a | 5,95±0,14 ^a |
| | 12% | 1,58±0,10 ^a | 2,04±0,00 ^a | 1,18±0,59 ^a | 1,53±0,89 ^a | 0,79±0,47 ^a | 6,04±0,14 ^a |
| 8 kGy | 0% | 1,16±0,04 ^b | 1,62±0,29 ^a | 0,62±0,43 ^a | 0,73±0,92 ^a | 0,84±0,43 ^a | 6,63±0,51 ^a |
| | 8% | 1,31±0,02 ^{ab} | 1,79±0,26 ^a | 0,69±0,55 ^a | 0,88±1,00 ^a | 0,89±0,42 ^a | 5,70±0,39 ^a |
| | 12% | 1,41±0,11 ^a | 2,13±0,15 ^a | 1,09±0,57 ^a | 1,58±1,03 ^a | 0,73±0,40 ^a | 5,95±0,29 ^a |
| 10 kGy | 0% | 1,24±0,07 ^b | 1,62±0,15 ^a | 0,62±0,51 ^a | 0,73±0,92 ^a | 0,84±0,42 ^a | 6,38±0,26 ^a |
| | 8% | 1,44±0,06 ^a | 1,79±0,26 ^a | 1,06±0,61 ^a | 1,29±0,89 ^a | 0,67±0,46 ^a | 5,61±0,26 ^a |
| | 12% | 1,54±0,05 ^a | 1,96±0,29 ^a | 1,16±0,62 ^a | 1,50±0,98 ^a | 0,75±0,38 ^a | 5,61±0,92 ^a |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente da porcentagem de linhaça, dentro de cada dose. ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Em relação ao fósforo (P) não houve diferença estatística entre os pães com diferentes porcentagens de linhaça sem irradiação. Porém quando sofreram irradiação nas doses 6, 8 e 10 kGy a amostra que não recebeu linhaça apresentou os menores teores de fósforo, embora numericamente o pão sem irradiação com 0% de linhaça tenha apresentado valor menor. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2006), o pão francês tem em torno de 0,95 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ desse mineral. O teor de fósforo encontrado nesse estudo variou entre 0,84 e 1,24 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, concordando com a literatura. A adição de linhaça aumentou o teor desse elemento nos pães.

Quanto ao teor de potássio (K), não houve diferença estatística em nenhum tratamento. O teor de potássio encontrado em pão francês é de 1,42 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de acordo com a TACO (UNICAMP, 2006), que é bem próximo ao encontrado nesse estudo que foi de 1,36 e 1,62 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Também não verificou-se diferença estatística entre os macrominerais cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e sódio (Na) nos diferentes tratamentos aplicados. Apesar de não acusar diferença estatística entre os tratamentos, sempre que se adicionou linhaça nas

formulações, o teor de macrominerais foi elevado. Tal fato deve-se provavelmente pelos minerais encontrados na composição da linhaça.

De acordo com Moura (2008), que quantificou o teor de minerais na semente de linhaça marrom, encontrando-se os seguintes valores em mg.g^{-1} : 5,79 mg de fósforo; 9,09 mg de potássio; 2,67 mg de cálcio; 3,49 mg magnésio; 0,0156 mg de enxofre; 2,45 mg de sódio. Dentre os minerais quantificados na semente de linhaça, o potássio e o fósforo merecem especial destaque. A banana nanica possui 3,76 mg potássio. g^{-1} contra 9,44 mg de potássio. g^{-1} da semente de linhaça, ou seja, a semente de linhaça possui cerca de 2,5 vezes mais potássio. A sardinha crua possui 2,94 mg de fósforo. g^{-1} contra 6,01 mg de fósforo. g^{-1} da semente de linhaça, o que indica que a semente de linhaça tem aproximadamente o dobro de fósforo que a sardinha (UNICAMP, 2006).

Skrbic e Cvejanov (2011) estudaram o impacto sobre a composição nutricional de biscoitos, substituindo a farinha de trigo por sementes de girassol. Comparando-se o biscoito feito com farinha e o que foi enriquecido com sementes de girassol apresentaram respectivamente: 1,83 e 2,38 mg.g^{-1} de fósforo; 1,10 e 2,72 mg.g^{-1} para o magnésio e 4.79 e 7.04 mg.g^{-1} para o cálcio.

Tabela 8. Teor de microminerais $\mu\text{g.g}^{-1}$ quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Cu ¹ | Fe | Mn | Zn |
|--------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,80 ± 1,21 ^{a2} | 67,80 ± 0,90 ^a | 6,45 ± 1,45 ^a | 13,75 ± 1,05 ^a |
| | 8 | 3,17 ± 0,50 ^a | 64,80 ± 1,80 ^a | 6,27 ± 2,27 ^a | 15,20 ± 0,90 ^a |
| | 12 | 2,63 ± 0,51 ^a | 62,80 ± 4,00 ^a | 6,23 ± 0,70 ^a | 16,13 ± 2,17 ^a |
| 6 kGy | 0% | 2,70 ± 1,00 ^a | 72,30 ± 2,20 ^a | 5,83 ± 0,64 ^a | 14,23 ± 0,67 ^b |
| | 8% | 3,27 ± 0,65 ^a | 71,60 ± 3,10 ^a | 6,20 ± 1,31 ^a | 16,03 ± 1,29 ^b |
| | 12% | 3,37 ± 2,02 ^a | 67,03 ± 1,18 ^a | 7,43 ± 2,51 ^a | 18,50 ± 0,87 ^a |
| 8 kGy | 0% | 2,40 ± 0,52 ^a | 74,35 ± 0,15 ^b | 5,13 ± 1,12 ^a | 14,60 ± 0,46 ^b |
| | 8% | 2,37 ± 0,12 ^a | 61,05 ± 0,15 ^c | 5,73 ± 2,29 ^a | 13,50 ± 0,40 ^b |
| | 12% | 3,27 ± 1,29 ^a | 105,00 ± 1,80 ^a | 5,20 ± 1,82 ^a | 18,27 ± 0,75 ^a |
| 10 kGy | 0% | 2,20 ± 0,61 ^a | 67,20 ± 0,30 ^b | 5,80 ± 1,51 ^a | 13,10 ± 1,31 ^b |
| | 8% | 2,90 ± 0,80 ^a | 74,35 ± 1,15 ^a | 5,10 ± 0,98 ^a | 15,13 ± 1,63 ^{ab} |
| | 12% | 2,40 ± 0,35 ^a | 62,45 ± 0,15 ^c | 6,40 ± 0,95 ^a | 16,87 ± 0,78 ^a |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente da porcentagem de linhaça adicionada, dentro de cada dose ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Em relação aos microminerais cobre (Cu) , manganês (Mn) não houve diferença estatística entre os tratamentos. Quanto ao teor de Ferro (Fe), as amostras que receberam a dose de 8 kGy apresentaram maior teor para o tratamento que recebeu adição de 12% de

linhaça. Já na dose de 10 kGy, a amostra com 8% de linhaça em sua formulação apresentou maior teor.

Skrbic e Cvejanov (2011) encontraram para o biscoito controle e o enriquecido com semente de girassol $0,0124 \text{ mg.g}^{-1}$ e $0,0195 \text{ mg.g}^{-1}$ de ferro, respectivamente. Os valores encontrados por esses autores são inferiores aos encontrados no presente estudo, provavelmente essa diferença se dá pelo fato da pré-mistura utilizada para a confecção do pão francês ser enriquecida com ferro e ácido fólico.

Quanto ao zinco (Zn), as amostras que não receberam irradiação não apresentaram diferença estatística em relação a porcentagem de linhaça adicionada. Já nas doses 6, 8 e 10 kGy a amostra com 12% de linhaça apresentou maior teor de zinco.

Moura (2008) quantificou o teor de minerais na semente de linhaça marrom, encontrando-se os seguintes valores em mg.g^{-1} : 0,01 mg de cobre; 0,07 mg de ferro; 0,03 mg de manganês; 0,05mg de zinco. Skrbic e Cvejanov (2011) encontraram $0,0029 \text{ mg.g}^{-1}$ de zinco no biscoito preparado com farinha de trigo e $0,0163 \text{ mg.g}^{-1}$ no biscoito enriquecido com semente de girassol. A quantidade de zinco encontrada por esses autores é inferior a encontrada nesse estudo, que variou entre 13,10 e 18,50 mg.g^{-1} .

5.1.1.10 Diálise de Minerais *in vitro*

Além da quantificação dos teores de minerais é também importante saber o quanto está disponível para absorção no organismo. A Tabela 9 apresenta a porcentagem de disponibilidade dos minerais.

Tabela 9. Porcentagem de disponibilidade de minerais quantificados em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Ca | Mg | Fe | Zn |
|--------|--------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,21±0,40 ^{1a2} | 4,90±0,00 ^a | 0,76±0,00 ^a | 2,16±0,50 ^a |
| | 8 | 1,16±0,70 ^a | 3,36±1,00 ^a | 0,65±0,20 ^a | 1,17±0,50 ^a |
| | 12 | 1,02±0,80 ^a | 3,27±0,80 ^a | 0,20±0,00 ^b | 1,41±0,40 ^a |
| 6 kGy | 0% | 1,53±0,60 ^a | 4,90±0,00 ^a | 1,07±0,40 ^a | 2,80±0,30 ^a |
| | 8% | 1,14±0,30 ^a | 2,72±0,50 ^c | 0,61±0,20 ^{ab} | 1,26±0,50 ^b |
| | 12% | 1,08±0,20 ^a | 3,76±0,40 ^b | 0,28±0,10 ^b | 2,23±0,30 ^{ab} |
| 8 kGy | 0% | 1,70±0,80 ^a | 4,90±0,00 ^a | 0,89±0,10 ^a | 2,54±0,50 ^a |
| | 8% | 1,45±0,60 ^a | 3,63±0,60 ^b | 0,44±0,00 ^b | 1,07±0,30 ^b |
| | 12% | 1,39±0,20 ^a | 4,08±0,00 ^{ab} | 0,25±0,00 ^b | 1,89±0,00 ^a |
| 10 kGy | 0% | 1,32±0,20 ^a | 4,36±0,90 ^a | 0,94±0,10 ^a | 1,95±0,40 ^a |
| | 8% | 1,00±0,10 ^{ab} | 4,36±0,00 ^a | 0,15±0,00 ^b | 1,89±0,30 ^a |
| | 12% | 0,77±0,10 ^b | 3,05±0,40 ^a | 0,21±0,00 ^b | 0,80±0,20 ^b |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente da porcentagem de linhaça, dentro de cada dose (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Em relação à disponibilidade de cálcio no pão francês não houve diferença estatística entre as doses 0, 6 e 8 kGy. No entanto, na dose de 10 kGy, a amostra que recebeu adição de 12% de linhaça apresentou menor porcentagem de absorção desse nutriente. Provavelmente, essa diminuição da disponibilidade ocorreu devido as alterações provocadas pela irradiação nos componentes da amostra, proporcionando interações que impossibilitaram a disponibilidade do cálcio. Em relação ao magnésio, as amostras que receberam linhaça e que foram irradiadas com 6 e 8 kGy apresentaram alteração na disponibilidade desse mineral. A amostra controle e 10 kGy não apresentaram variação com a porcentagem de linhaça presente. As amostras que tiveram adição de linhaça, apresentaram sempre valores inferiores de disponibilidade de magnésio em comparação as amostras sem adição, para as doses de 6 e 8kGy. Já para o ferro a amostra que não recebeu linhaça apresentou maior teor desse nutriente independente da dose de irradiação aplicada. Para o zinco, nas amostras sem irradiação não se verificou diferença estatística entre as diferentes concentrações de linhaça pesquisada. Nas doses de 6 e 8 kGy a amostra que recebeu 8% de adição de linhaça apresentou menor disponibilidade para esse nutriente, já na dose de 10 kGy, a amostra com adição de 12% de linhaça apresentou menor disponibilidade desse mineral. Observa-se que a amostra com 12% de linhaça apresenta menor disponibilidade de cálcio, magnésio e zinco na dose de 10 kGy. Porém em relação ao cálcio e zinco essa queda foi mais abrupta, pois passou de 1,02% na dose 0 kGy para 0,77% de cálcio na dose 10 kGy e 1,41% de zinco na dose 0

kGy para 0,80% de zinco na dose de 10 KGy. Quando se observa numericamente apenas as amostras controle (sem adição de linhaça), verifica-se que o fato de adicionar linhaça na formulação não aumentou a disponibilidade de nenhum mineral. A dose de 10 kGy mostrou-se menos eficiente para preservar a disponibilidade dos minerais.

De acordo com Moura (2008), o teor de ácido fítico encontrado na semente de linhaça foi de 13,60 mg.g⁻¹ e o teor de taninos foi de 1,07 mg.g⁻¹. No presente estudo a linhaça foi adicionada na forma integral, o que aumenta ainda mais essas substâncias. Muitos alimentos de origem vegetal contêm elevado teor de fitato e em consequência podem diminuir a disponibilidade de minerais essenciais. Uma alternativa para reduzir os antinutricionais presentes nas sementes de linhaça são o tratamento térmico e a irradiação (AGTE; JOSHI, 1997).

5.1.1.11 Vitaminas do complexo B

A Tabela 10 demonstra os teores de vitaminas do complexo B, tiamina, riboflavina e niacina.

Tabela 10. Teor de vitamina B₁, B₂ e B₆ quantificada em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Teor de Vitamina B₁ (mg.100g⁻¹)¹ | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,079±0,003 ^{a2A3} | 0,090±0,011 ^{aA} | 0,073±0,001 ^{aA} |
| 6,0 | 0,073±0,013 ^{aA} | 0,088±0,009 ^{abA} | 0,068±0,001 ^{bA} |
| 8,0 | 0,065±0,001 ^{aA} | 0,066±0,002 ^{bA} | 0,067±0,001 ^{bA} |
| 10,0 | 0,073±0,002 ^{aA} | 0,070±0,002 ^{abA} | 0,069±0,001 ^{bA} |
| Teor de Vitamina B₂ (mg.100g⁻¹)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,156 ± 0,009 ^{a2B3} | 0,159± 0,001 ^{aB} | 0,181 ± 0,004 ^{aA} |
| 6,0 | 0,151 ± 0,006 ^{abC} | 0,172± 0,001 ^{aB} | 0,187 ± 0,001 ^{aA} |
| 8,0 | 0,151 ± 0,003 ^{abC} | 0,163 ± 0,004 ^{aB} | 0,180 ± 0,004 ^{aA} |
| 10,0 | 0,135 ± 0,004 ^{bbB} | 0,171± 0,009 ^{aA} | 0,180 ± 0,003 ^{aA} |
| Teor de Vitamina B₆ (mg.100g⁻¹)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,203 ± 0,011 ^{aB} | 0,270 ± 0,011 ^{aA} | 0,194 ± 0,004 ^{aB} |
| 6,0 | 0,187 ± 0,000 ^{abB} | 0,267 ± 0,014 ^{aA} | 0,198± 0,002 ^{aB} |
| 8,0 | 0,162± 0,004 ^{bc} | 0,212 ± 0,004 ^{bA} | 0,193 ± 0,001 ^{aB} |
| 10,0 | 0,186 ± 0,011 ^{abA} | 0,201 ± 0,014 ^{bA} | 0,179 ± 0,001 ^{bA} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Observou-se que em relação ao teor de vitamina B₁, não houve diferença estatística entre as doses aplicadas na amostra que não recebeu linhaça. Entre os tratamentos que receberam adição de 8% de linhaça houve diferença significativa na dose de 8 kGy em relação ao controle. Entre as amostras que receberam 12% de linhaça, a que não recebeu irradiação apresentou maior teor desse nutriente. De acordo com a UNICAMP (2006), a quantidade de vitamina B₁ encontrada no pão francês foi de 0,39 mg.100g⁻¹, já na Tabela de Composição de Alimentos (IBGE, 1999) o valor encontrado para pão francês foi de 0,08 mg/100g, o que coincide com o presente estudo.

Em estudo realizado por Villavicencio et al. (2000) foi avaliado o efeito da radiação γ no conteúdo de tiamina em duas variedades de feijão brasileiro cozido (Carioca e Macaça). Observou-se após seis meses de estocagem em temperatura ambiente, um pequeno efeito sobre o conteúdo de tiamina em feijão Carioca, quando foram utilizadas doses maiores que 2,5 kGy. Já para o feijão Macaça, não houve perdas significativas dessa vitamina. Aziz, Souzan e Shahinazza (2006) analisaram o efeito da radiação gama ionizante (5, 10 e 15 KGy) sobre tiamina em quatro tipos de cereais (trigo, milho, cevada e sorgo). Esses autores

identificaram redução de tiamina da ordem de 33,3 a 47,9 %, quando foi utilizada uma dose de 15 KGy.

Em relação à vitamina B₂ a amostra controle apresentou maior teor dessa vitamina, as amostras que receberam adição de linhaça (8 e 12%) não apresentaram diferença estatística entre as doses de irradiação. Quando se comparou as diferentes porcentagens de linhaça na mesma dose, a amostra com 12% de linhaça apresentou maior teor de vitamina B₂ em todas as doses. A Tabela TACO (UNICAMP, 2006) apresentou para o pão francês o teor de 0,67 mg/100g⁻¹ de vitamina B₂, cerca de 4 vezes maior que o encontrado nesse experimento. A Tabela IBGE (1999), apresentou 0,06 mg/100g, cerca de 2 vezes menor que o presente estudo.

De acordo com Villavicencio (2000), O conteúdo de riboflavina não apresentou variação significativa entre o controle e as amostras irradiadas do feijão Carioca. No feijão Macaça houve uma elevação no teor dessa vitamina, com o aumento da dose utilizada. Aziz, Souzan e Shahinazza (2006) verificaram uma redução no conteúdo de riboflavina de 20,8 a 32,1%, quando foi utilizada uma dose de 15 KGy.

Quanto ao teor de vitamina B₆, entre os pães que não receberam linhaça, a amostra sem irradiação apresentou maior teor de vitamina B₆. Entre as amostras que receberam 8% de linhaça, as doses de 0 e 6 kGy mostraram diferença estatística entre as outras doses. Entre as amostras com 12% de linhaça a amostra que recebeu dose de 10 kGy apresentou maior teor desse nutriente. Quando se comparou as 3 diferentes porcentagens de linhaça na mesma dose, o tratamento que recebeu 8% de linhaça apresentou os maiores teores em todas as doses. De acordo com a TACO (UNICAMP, 2006), a quantidade de vitamina B₆ do pão francês foi de 0,60 mg.100g⁻¹, cerca de 3 vezes maior do que o presente estudo.

5. 1.2 Análises Físicas

5.1.2.1 Índice de cocção

O índice de cocção foi realizado e é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Índice de cocção do pão francês com diferentes porcentagens de linhaça e submetido à radiação gama.

| Tratamento | Peso Cru (g) | Peso Assado (g) | Rend. Assado (embalado) Un. | Índice de Cocção |
|-------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 0% | 6.050 | 4.998 | 100 | 0,82 |
| 8% | 4.690 | 4.582 | 100 | 0,97 |
| 12% | 5.250 | 4.904 | 100 | 0,93 |

A amostragem de cada tratamento (0%, 8% e 12% de adição de linhaça) foi composta por 100 unidades de pão francês, perfazendo um total de 300 unidades. Cada cento de pão foi separado em lotes de 25 unidades com a finalidade de receber a irradiação nas doses de 6, 8 e 10 kGy. Um lote de 25 unidades também foi separado para representar o controle. O índice de conversão (IC) que representa a relação entre o peso do alimento assado e o peso do alimento cru variou entre 0,82 e 0,97.

Os resultados da pesagem antes e depois da irradiação estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Peso do pão francês (g) antes e após à submissão da radiação gama.

| Dose | 0% | | 8% | | 12% | |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Peso (g) | Peso(g) | Peso (g) | Peso (g) | Peso (g) | Peso (g) |
| | Antes | Após | Antes | Após | Antes | Após |
| 0 kGy | 1241,5 | 1291,3 | 1207,5 | 1207,7 | 1223,5 | 1218,9 |
| 6 kGy | 1203,5 | 1263,5 | 1183,5 | 1186,1 | 1277,5 | 1280,7 |
| 8 kGy | 1259,5 | 1264,1 | 1065,5 | 1070,7 | 1215,5 | 1220,4 |
| 10 kGy | 1293,5 | 1293,1 | 1125,5 | 1126,8 | 1187,5 | 1192,3 |
| Total | 4998 | 5112 | 4582 | 4591,3 | 4904 | 4912,3 |

O peso do pão após irradiação variou entre 4.591,3g e 5.112g. O tratamento que recebeu adição de 8% de linhaça foi o que apresentou menor peso e o tratamento controle apresentou maior peso. No tratamento sem adição de linhaça, os pães irradiados com as diferentes doses e o controle apresentaram ganho de peso, com exceção do pão irradiado com 10 kGy, que manteve o peso após a irradiação. No tratamento com adição de 8% de linhaça, os pães irradiados com as diferentes doses apresentaram ganho de peso, já o controle manteve o mesmo peso após irradiação. No tratamento com adição de 12% de linhaça, os pães irradiados com as diferentes doses apresentaram ganho de peso, já o controle apresentou pequena diminuição no

peso após a irradiação. Somando o lote de cada pão destinado aos diferentes níveis de irradiação, encontrou-se um ganho de peso de 114g após o processo de irradiação. No tratamento com 8% de adição de linhaça, o aumento do peso após a irradiação foi de 9,3 g e no tratamento com 12 % de adição de linhaça o aumento de peso foi de 8,3 g. Essa diferença no peso dos pães após a irradiação deve-se ao fato da pesagem inicial (antes da irradiação) ter sido efetuada em uma determinada balança e o peso final (após a irradiação) foi mensurado em outra balança.

5.1.2.2 Volume

Os resultados do volume/deslocamento (mL) e volume específico do pão francês com e sem a adição de linhaça, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Volume específico encontrados no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Volume Específico mL. g ⁻¹ | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 7,72 ± 2,4 ^{a2A3} | 9,92 ± 1,8 ^{aA} | 7,96 ± 3,3 ^{aA} |
| 6,0 | 9,34 ± 2,2 ^{aA} | 9,89 ± 1,7 ^{aA} | 8,38 ± 1,4 ^{aA} |
| 8,0 | 9,66 ± 3,1 ^{aA} | 9,06 ± 1,4 ^{aA} | 7,28 ± 0,2 ^{aA} |
| 10,0 | 9,19 ± 0,4 ^{aA} | 9,67 ± 1,9 ^{aA} | 7,55 ± 0,6 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Em relação ao volume específico, as amostras com adição de diferentes porcentagens de linhaça e submetidas a diferentes taxas de irradiação não apresentaram diferença estatística entre si.

De acordo com Ferreira, Watanabe e Benassi (1999) pães com volume específico entre 6-8 cm³/g, estão dentro da faixa adequada para um pão de boa qualidade. Normalmente, valores baixos de volume específico (<5,0) para pão francês são verificados quando a massa dos pães é submetida a congelamento prévio ao assamento. Apesar da qualidade do pão francês ser prejudicada, principalmente pela redução no volume específico, um volume excessivo confere textura fraca e granulosidade grosseira, características que não são aceitáveis (EL-DASH; CAMARGO; DIAZ, 1982).

No presente estudo, os pães sem linhaça, irradiados com as diferentes doses, apresentaram volume específico superior a 8 cm³/g. Os pães que receberam adição de 8% de

linhaça independente da dose de irradiação apresentaram também volume específico superior a 8 cm³/g. Os pães com adição de 12% de linhaça apresentaram volume específico considerados dentro da faixa adequada para um pão francês de boa qualidade.

5.1.2.3 Cor

A medida de cor da casca e do miolo do pão francês foi expressa pelo croma. Os resultados do croma do miolo e da casca do pão francês com e sem a adição de linhaça, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Croma do miolo e da casca encontrado no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Croma do Miolo¹ | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 10,28 ± 1,0 ^{a2A3} | 10,45 ± 0,8 ^{aA} | 11,07 ± 0,7 ^{aA} |
| 6,0 | 10,30 ± 0,6 ^{aAB} | 10,12 ± 0,5 ^{aB} | 10,83 ± 0,6 ^{aA} |
| 8,0 | 10,34 ± 1,4 ^{aA} | 10,15 ± 0,6 ^{aA} | 10,77 ± 0,5 ^{aA} |
| 10,0 | 10,71 ± 0,4 ^{aA} | 10,35 ± 0,8 ^{aA} | 10,95 ± 0,5 ^{aA} |
| Croma da Casca¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 21,87 ± 2,3 ^{a2A3} | 19,21 ± 2,1 ^{aB} | 20,14 ± 2,2 ^{aAB} |
| 6,0 | 19,52 ± 2,9 ^{aA} | 18,74 ± 1,8 ^{aA} | 19,79 ± 1,8 ^{aA} |
| 8,0 | 19,08 ± 2,1 ^{aAB} | 16,90 ± 1,9 ^{aB} | 20,65 ± 1,9 ^{aA} |
| 10,0 | 20,51 ± 4,2 ^{aA} | 18,82 ± 2,6 ^{aA} | 20,23 ± 1,9 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Através da análise dos dados apresentados na Tabela 14, não verificou-se diferença estatística entre o croma do miolo e o croma da casca entre as doses estudadas.

Quando se comparou as 3 porcentagens de linhaça na mesma dose, observou-se que no croma do miolo a amostra com 12% de linhaça irradiada com 6 kGy apresentou maior valor em comparação as amostras com 0% e 8 % de linhaça. Quanto ao croma da casca, a amostra controle apresentou maior valor em relação às demais porcentagens. Na dose de 8 kGy, a amostra com 12% apresentou maior valor para o croma da casca.

A temperatura de assamento para a maioria dos pães oscila entre 190 e 250°C, exceto os “flat bread” (pão sírio, pita, chapati, paratha, ataif, incluindo pizzas e esfihas) que podem ser assados em temperaturas superiores a 300°C (QAROONI, 1996). No centro do miolo, a

temperatura atinge cerca de 98°C. A presença de açúcares na formulação acelera reações de caramelização e Maillard, o que provoca o escurecimento progressivo da crosta e miolo (ESTELLER; LIMA; LANNES, 2006). No miolo não ocorreu nenhuma alteração, porém na casca pode ser observado alterações, provavelmente devido à reação de escurecimento (Tabela 14).

5.1.2.4 Atividade de água

A atividade de água dos pães é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15. Atividade de água encontrada no pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade de Água ¹ | | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,81 ± 0,009 ^{a2B3} | 0,81 ± 0,011 ^{aB} | 0,84 ± 0,004 ^{aA} |
| 6,0 | 0,82 ± 0,008 ^{aAB} | 0,81 ± 0,011 ^{aB} | 0,84 ± 0,005 ^{aA} |
| 8,0 | 0,83 ± 0,008 ^{aAB} | 0,82 ± 0,007 ^{aB} | 0,84 ± 0,001 ^{aA} |
| 10,0 | 0,82 ± 0,010 ^{aAB} | 0,81 ± 0,003 ^{aB} | 0,84 ± 0,007 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

A Tabela 15 indica que não houve diferença estatística entre os tratamentos com 0%, 8% e 12% de linhaça nas 4 doses pesquisadas. Quando se comparou as 3 porcentagens de linhaça na mesma dose, observou-se que a amostra com 12% de linhaça apresentou maior atividade de água em todas as doses.

A atividade de água indica a quantidade de água disponível para realizar o movimento molecular e suas transformações e promover o crescimento microbiano no produto (GUTKOSKI et al., 2007).

Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de micro-organismos (CHISTÉ et al., 2007). Neste trabalho, as amostras em estudo apresentaram atividade de água na faixa de 0,81 a 0,84.

5.1.3 Análise Sensorial

O perfil dos consumidores entrevistados está expresso na Tabela 16.

Tabela 16. Perfil dos entrevistados na análise de aceitação de pão.

| | | |
|----------|--------------|---------|
| Sexo | F | 64,02 % |
| | M | 35,98 % |
| Idade | 18 a 35 | 45,12 % |
| | 36 a 50 | 31,71 % |
| | Maior de 50 | 23,17 % |
| Tipo Pão | Pão Forma | 14,63 % |
| | Pão Francês | 65,24 % |
| | Pão Integral | 20,12 % |

A maior porcentagem dos entrevistados era do sexo feminino com idade entre 18 a 35 anos e o tipo de pão mais consumido entre os entrevistados foi o francês.

5.1.3.1 Teste de preferência

A preferência do pão foi avaliada através de escala hedônica, variando de 1 a 9. As médias das notas atribuídas pelos consumidores estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Média das notas atribuídas ao pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama e controle.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|-------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0,0 | 6,56±1,83 ^{1a2A3} | 6,73±2,16 ^{aA} | 6,89±1,95 ^{aA} |
| 6,0 | 6,52±1,70 ^{aA} | 6,10±2,28 ^{aA} | 6,68±2,18 ^{aA} |
| 8,0 | 6,26±1,68 ^{aA} | 6,63±2,29 ^{aA} | 6,46±2,40 ^{aA} |
| 10,0 | 6,64±1,67 ^{aA} | 6,43±2,34 ^{aA} | 6,67±2,26 ^{aA} |

¹Nota média ± desvio padrão ; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

De acordo com os dados apresentados, os consumidores não conseguiram identificar diferenças significativas em relação à preferência dos pães levando em consideração a dose e concentração de linhaça. A nota média atribuída pelos consumidores foi de aproximadamente 6 que significa “gostei ligeiramente”. Isso indica que o consumidor aceita o pão francês independente da concentração da linhaça e dose de irradiação aplicada.

Tabela 18 apresenta a distribuição das notas dos provadores por tratamento.

Tabela 18. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica

| Dose | % Linhaça | ESCALA | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|--------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Valores observados para a escala | | | | | | | | | | |
| 0 kGy | 0 | 1 | 1 | 5 | 4 | 12 | 6 | 27 | 15 | 11 |
| | 8 | 2 | 5 | 2 | 4 | 6 | 9 | 14 | 24 | 16 |
| | 12 | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 10 | 20 | 20 | 17 |
| 6 kGy | 0 | 0 | 1 | 5 | 5 | 9 | 16 | 19 | 19 | 8 |
| | 8 | 4 | 5 | 2 | 9 | 9 | 10 | 15 | 17 | 11 |
| | 12 | 4 | 1 | 4 | 4 | 6 | 12 | 14 | 19 | 18 |
| 8 kGy | 0 | 2 | 0 | 3 | 3 | 19 | 13 | 25 | 10 | 7 |
| | 8 | 4 | 3 | 6 | 0 | 7 | 9 | 11 | 28 | 14 |
| | 12 | 2 | 7 | 4 | 5 | 6 | 12 | 10 | 14 | 22 |
| 10 kGy | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 14 | 11 | 20 | 22 | 8 |
| | 8 | 4 | 4 | 6 | 2 | 8 | 6 | 14 | 26 | 12 |
| | 12 | 3 | 4 | 3 | 5 | 5 | 9 | 15 | 19 | 19 |

Os consumidores atribuíram com maior frequência a nota 7 “Gostei regularmente” para os tratamentos: 0 kGy e 0% de linhaça; 0 kGy e 12% de linhaça; 6 kGy e 0 % de linhaça e 8 kGy e 0 % de linhaça . A nota 8 “gostei muito” foi atribuída nos tratamentos: 0 kGy e 8% de linhaça; 0 kGy e 12% de linhaça; 6 kGy e 0 % de linhaça; 6 kGy e 8 % de linhaça; 6 kGy e 12 % de linhaça; 8 kGy e 8 % de linhaça; 10 kGy e 0 % de linhaça; 10 kGy e 8 % de linhaça e 10 kGy e 12 % de linhaça. A nota 9 “Gostei muitíssimo” foi atribuída ao tratamento: 8 kGy e 12% de linhaça e 10 kGy e 12% de linhaça. Entre os tratamentos que receberam com maior frequência a nota 7, o maior número de consumidores apontou a amostra sem irradiação e sem linhaça como a mais preferida. Entre os tratamentos que receberam com maior frequência a nota 8, a maioria indicou a amostra com 8% de linhaça e dose de 8 kGy. Entre os tratamentos que receberam com maior frequência a nota 9, a amostra com 12% de linhaça e dose de 8 kGy foi a mais preferida. A observação das frequências das notas pode dar uma possível explicação ao fato de não ter havido diferença estatística entre dose e concentração de linhaça apresentados na Tabela 17. Participaram do teste de preferência 82 pessoas.

5.1.3.2 Intenção de compra

A intenção de compra dos produtos foi avaliada através de escala hedônica, variando de 1 a 5. As médias das notas atribuídas pelos consumidores estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Média das notas atribuídas a intenção de compra do pão francês com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0,0 | 3,57±1,44 ^{1a2A3} | 3,71±1,60 ^{aA} | 3,79±1,48 ^{aA} |
| 6,0 | 3,24±1,55 ^{aA} | 3,28±1,62 ^{aA} | 3,43±1,58 ^{aA} |
| 8,0 | 3,28±1,51 ^{aA} | 3,76±1,60 ^{aA} | 3,48±1,65 ^{aA} |
| 10,0 | 3,45±1,54 ^{aA} | 3,62±1,65 ^{aA} | 3,76±1,56 ^{aA} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Em relação à intenção de compra, observou-se que as amostras não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. A nota de intenção de compra foi em torno de 3 que significa que o consumidor “talvez comprasse talvez não comprasse”, porém sempre foi maior que 3.

5.1.3.3 Análise Descritiva Quantitativa

Foram escolhidos 5 tratamentos para a realização da Análise Descritiva Quantitativa. O critério para a escolhas baseou-se na maior somatória das notas 8 e 9 apresentada no teste de preferência.

Na Tabela 20 podem ser observadas as avaliações do pão francês realizada pela equipe de provadores treinados na ADQ.

Tabela 20. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados.

| Atributos | Controle | 8% linhaça e 0 kGy | 8% linhaça e 8 kGy | 8% linhaça e 10 kGy | 12% linhaça e 10 kGy |
|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Aparência | | | | | |
| Característica | 8,82±0,9 ^{1a2} | 7,77±1,9 ^{ab} | 7,96±1,3 ^{ab} | 8,07±1,4 ^{ab} | 7,44±1,9 ^b |
| Cor da Casca | 3,50±0,8 ^a | 4,58±1,1 ^a | 3,07±0,70 ^a | 3,43±0,83 ^a | 4,27±1,03 ^a |
| Aroma | | | | | |
| Característico | 7,61 ±1,9 ^a | 6,41±1,6 ^a | 7,32±1,8 ^a | 7,15±1,7 ^a | 7,43±1,7 ^a |
| Textura | | | | | |
| Consistência | 6,00±1,55 ^a | 5,49±1,37 ^a | 6,01±1,5 ^a | 5,53±1,3 ^a | 5,95±1,4 ^a |
| Sabor | | | | | |
| Característico | 8,08 ±1,71 ^a | 6,52±1,6 ^a | 7,64±1,9 ^a | 7,03±1,7 ^a | 7,30±1,8 ^a |
| Sabor de Peixe | 0,34±0,08 ^b | 0,76±0,1 ^{ab} | 0,97±0,2 ^{ab} | 1,27±0,24 ^a | 1,45±0,3 ^a |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras diferentes na horizontal indicam diferença significativa entre os tratamentos no nível de 5%

De acordo com a Tabela 20, a amostra controle, não apresentou diferença estatística em todos os atributos, com exceção ao atributo “sabor de peixe” e “aparência característica”, indicando assim que se trata de um pão muito característico em relação aos atributos levantados na análise e que não apresentou “sabor de peixe”, provavelmente por não ter linhaça e não ter sido irradiado.

Quanto à “aparência característica”, observou-se que a amostra controle diferiu estatisticamente da amostra que recebeu 12% de linhaça e dose de 10 kGy. Essa diferença provavelmente se deva a adição de linhaça e a aplicação da irradiação. Já as amostras com 8% de linhaça e 0 kGy, 8% de linhaça e 8 kGy e a que recebeu 8% de linhaça e dose de 10 kGy não diferiram entre si e nem da amostra controle e nem da amostra que recebeu 12% de linhaça e 10 kGy.

Em relação à “cor da casca” “aroma característico”, “textura consistente” e “sabor característico”, não houve diferença significativa, indicando assim que a adição de linhaça e a irradiação não influenciaram de modo determinante esses atributos levantados pelos provadores.

Já referente ao atributo “sabor de peixe”, a amostra controle diferiu estatisticamente das amostras com 8% de linhaça e 10 kGy e 12% de linhaça e 10 kGy. As amostras com 8%

de linhaça e 10 kGy e 12% de linhaça e 10 kGy apresentaram os maiores valores para esse atributo, pois em suas respectivas formulações receberam as maiores concentrações de linhaça (8 e 12%) bem como a maior dose de radiação (10 kGy), isto pode ter intensificado o “sabor de peixe” das amostras. Os provadores evidenciaram pelas notas que as amostras com 8% de linhaça e 0 kGy e 8% de linhaça e 8 kGy apresentaram “sabor de peixe” mesmo que suavemente, não diferindo do controle.

De acordo com Ventura et al. (2010) é frequente, utilizando radiação, encontrar gorduras com sabor a ranço, provocadas pelo processo natural de autoxidação que é iniciado pela radiação. Os ácidos insaturados são mais susceptíveis à oxidação do que os ácidos saturados, porque são mais instáveis. Este processo pode ser mais demorado pela eliminação do oxigênio pelo vácuo ou pela atmosférica modificada. Nos lipídeos, particularmente os ácidos graxos insaturados, a decomposição radiolítica é por via de uma quebra preferencialmente na posição do carbono funcional da dupla ligação. Esta decomposição induz a formação de alguns compostos voláteis responsáveis por odores indesejáveis.

Ainda é possível observar que a amostra com 8% de linhaça e 0 kGy, que recebeu apenas adição de linhaça em sua formulação, o atributo sabor de peixe apresentou valores mais elevados em comparação a amostra controle. As notas numéricas aumentaram de acordo com a porcentagem de linhaça adicionada e a dose aplicada.

Na avaliação sensorial realizada com provadores treinados, permite identificar o aparecimento progressivo dos produtos de degradação dos lipídios, causadores de *off flavors* ou de *off odors*. Extremamente sensível, permite detectar quantidades da ordem dos $\mu\text{g.kg}^{-1}$, enquanto que outros métodos possuem em geral um limiar mil vezes superior. O ranço torna-se perceptível, sensorialmente, para um conteúdo lipídico peroxidado da ordem dos 0,5%. Se por um lado os diferentes constituintes de um produto influenciam a percepção (a natureza dos *off flavors* pode sofrer alterações pela interação de outros constituintes da matriz), por outro lado a sensibilidade difere de indivíduo para indivíduo (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

5.1.4 Análises Microbiológicas

Foram realizadas avaliações microbiológicas quanto a bolores e leveduras, *Bacillus cereus*, coliformes totais e fecais no tempo zero, 7,14 e 21 dias. Os resultados obtidos mostraram que os pães encontram-se de acordo com a RDC nº 12, sendo próprios para o consumo (ANVISA, 2001). Os resultados de bolores e leveduras mostraram-se estáveis nas avaliações zero, 7, 14 e 21 para as amostras irradiadas (Tabelas 21 a 23).

Em relação aos coliformes 35°C e coliformes 45 °C, o número mais provável por grama (NMP/g) foi menor que 2 em todos os tratamentos e tempos analisados. Também não encontrou-se *Salmonella* em 25g em nenhum tratamento e em nenhum tempo analisado. A Resolução RDC nº 12 estabelece que para pães e produtos panificados deve haver ausência de *Salmonella* em 25g e que a tolerância de coliformes a 45°C é de 10² NMP/g (ANVISA, 2001). Os resultados encontrados para *Salmonella* e coliformes estão de acordo com a referida legislação.

As quantidades de unidades formadoras de colônia por grama (UFC/g) de *Bacillus cereus*, bolores e leveduras e *Staphylococcus* coagulase positiva estão nas Tabelas 21, 22 e 23.

Tabela 21. Quantidades de UFC.g⁻¹) de *Bacillus cereus* em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,0x10 | 2,8x10 ² | 1,5x10 ³ | 2,3x10 ³ |
| | 8 | 5,0x10 | 4,3x10 ² | 5,0x10 ³ | 1,2x10 ³ |
| | 12 | 1,0x10 ² | 1,7x10 ² | 2,9x10 ³ | 2,0x10 ³ |
| 6 kGy | 0 | 2,0x10 | 2,0x10 ² | 1,0x10 | 1,5x10 ² |
| | 8 | 1,0x10 | 9,2x10 | 6,0x10 | < 10 |
| | 12 | 2,0x10 | 2,0x10 | 2,5x10 ² | 6,0x10 ² |
| 8 kGy | 0 | 5,0x10 | 1,5x10 ² | 5,0x10 | 2,0x10 ² |
| | 8 | 2,0x10 | 1,0x10 | 1,0x10 | 4,1x10 ² |
| | 12 | 1,0x10 | 5,0x10 | 3,0x10 | 7,5x10 ² |
| 10 kGy | 0 | 1,0x10 | 7,0x10 | 1,0x10 | 6,0x10 |
| | 8 | 2,0x10 | 5,0x10 | 4,0x10 | 2,0x10 ² |
| | 12 | < 10 | 1,0x10 | 8,0x10 | 8,0x10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12 que encontra-se em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Bacillus cereus* é de 5,0x10² UFC.g⁻¹ em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

No 7º dia, ocorreu algumas vezes aumento da contaminação mesmo com o aumento da dose de irradiação utilizada, isto pode ser explicado pelo fato das amostras analíticas não serem as mesmas do 1º dia do ensaio, fato que pode ter provocado o aumento ou diminuição da contagem do microorganismo no mesmo tipo de pão, considerando a porcentagem de linhaça e dose de irradiação.

Nota-se pela Tabela que a partir do 14º dia as amostras controle estavam impróprias para o consumo, obtendo-se valores acima dos tolerados pela legislação. Já as amostras que receberam irradiação permaneceram próprias para o consumo até o último período analisado, com exceção da amostra com 12% de linhaça irradiada com 6 kGy e 8 kGy.

A Portaria 451 tolera até 10^3 UFC.g⁻¹ de *Bacillus cereus* para alimentos de consumo direto sem padrões específicos. (ANVISA, 1997). De acordo com essa Portaria, as amostras que não receberam irradiação estariam impróprias para o consumo a partir do 7º dia. As amostras sem linhaça que receberam doses de 6 e 8 kGy também são impróprias a partir do 7º dia. A amostra com 12% de linhaça e irradiada com 6 kGy é imprópria a partir do 14º dia. Porém, a partir do 21º, dentre o grupo de amostras que receberam 10 kGy, apenas uma amostra é imprópria para o consumo.

Tabela 22. Quantidade de UFC.g⁻¹ de bolores e leveduras em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,5x10 ² | 5,0x10 ³ | 9,5x10 ⁵ | 7,5x10 ⁶ |
| | 8 | 1,0x10 ² | 6,8x10 ³ | 4,3x10 ⁵ | 2,3x10 ⁷ |
| | 12 | 3,0x10 ² | 5,2x10 ³ | 6,5x10 ⁵ | 1,5x10 ⁷ |
| 6 kGy | 0 | 1,0x10 | 7,0x10 ² | 5,0x10 ³ | 1,0x10 ³ |
| | 8 | 8,0x10 | 4,0x10 ² | 8,0x10 | 6,0x10 ³ |
| | 12 | 2,0x10 | 1,5x10 ² | 4,0x10 ² | 3,5x10 ³ |
| 8 kGy | 0 | 2,5x10 | 2,0x10 ² | 3,0x10 ² | 2,0x10 ³ |
| | 8 | 1,0x10 | 3,0x10 ² | 6,5x10 | 7,0x10 ² |
| | 12 | 2,5x10 | 5,0x10 | 7,0x10 | 1,2x10 ³ |
| 10 kGy | 0 | 1,0x10 | 8,0x10 | < 10 | 2,0x10 ² |
| | 8 | 3,0x10 | 9,0x10 | 2,0x10 ² | < 10 |
| | 12 | 4,0x10 | 4,5x10 | < 10 | 7,0x10 ² |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a Portaria 451, considerava-se aceitável para o consumo a presença de até $5,0 \times 10^3$ UFC.g⁻¹ de bolores e leveduras para pães e produtos de panificação (ANVISA, 1997). Essa Portaria não está mais em vigor, porém apresenta padrão para fungos e leveduras que a RDC nº12 não menciona.

Observou-se que as amostras controle apresentaram-se impróprias para o consumo a partir do 7º dia, indicando coerência nos resultados obtidos nas contagens de fungos. Dentre as amostras que receberam dose de 6 kGy, a amostra com 8% de linhaça apresentou-se imprópria para o consumo no 21º dia. Conforme se aumentou a dose de irradiação, as amostras apresentaram tendência para o aumento do *shelf-life* e adequadas para consumo.

Tabela 23. Quantidade de UFC.g⁻¹ de *Staphylococcus* coagulase positiva em pão francês com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,2x10 ² | 1,0x10 | 1,4x10 ² | 7,0x10 |
| | 8 | 1,0x10 | < 10 | 1,5x10 ² | 1,2x10 ² |
| | 12 | 5,0x10 | 4,8x10 ² | 1,3x10 ² | 1,0x10 ² |
| 6 kGy | 0 | < 10 | 2,0x10 | 2,0x10 | < 10 |
| | 8 | 7,0x10 | 2,0x10 | 1,0x10 | < 10 |
| | 12 | 9,0x10 | < 10 | 2,0x10 | < 10 |
| 8 kGy | 0 | 2,0x10 | 1,0x10 | 6,0x10 | < 10 |
| | 8 | 1,0x10 | 3,0x10 | 5,0x10 | < 10 |
| | 12 | 1,0x10 | < 10 | < 10 | 3,0x10 |
| 10 kGy | 0 | 5,0x10 | 1,0x10 | 6,0x10 | 9,0x10 |
| | 8 | < 10 | 2,0x10 | < 10 | < 10 |
| | 12 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12, que encontra-se em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Staphylococcus* coagulase positiva é de 5,0x10² UFC.g⁻¹ em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

De acordo com a Portaria 451, considerava-se aceitável para o consumo a presença de até 10³ UFC.g⁻¹ de *Staphylococcus* para alimentos de consumo direto sem padrões específicos (ANVISA, 1997).

Observa-se que não há no 1º dia, correlação entre aumento da dose de irradiação e diminuição da bactéria, por exemplo, as amostras que receberam dose de 6 kGy, apresentaram maior quantidade de UFC.g⁻¹ para as amostras com 8 e 12% de linhaça em comparação as amostras que receberam dose de 10 kGy. Isto pode ser explicado por recontaminação pós-tratamento, uma vez que se trata de bactéria extremamente sensível à irradiação. Ainda assim todas as amostras apresentaram contagem microbiana de acordo com a legislação no 7º dia. Todas as amostras analisadas mostraram-se em conformidade com a legislação em vigor no

país (RDC nº 12) para o parâmetro microbiológico referente à contagem de *Staphylococcus* coagulase positiva.

5.2 PÃO DE FORMA ELABORADO COM PRÉ-MISTURA

5.2.1 Análises Químicas

5.2.1.1 Composição centesimal

A Tabela 24 apresenta a composição centesimal do pão de forma elaborado com pré-mistura pré-pronta e com diferentes porcentagens de linhaça.

Tabela 24. Composição centesimal em pão forma com diferentes porcentagens de linhaça.

| | 0% Linhaça ¹ | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| % Umidade | 31,59 ± 0,5 ^{2a} | 29,86 ± 0,7 ^b | 32,47 ± 0,1 ^a |
| % Carboidratos | 54,73 ± 0,1 ^a | 52,25 ± 0,1 ^b | 47,57 ± 0,1 ^c |
| % Proteínas | 8,72 ± 0,3 ^a | 9,12 ± 0,7 ^a | 9,48 ± 0,2 ^a |
| % Lipídeos | 0,57 ± 0,0 ^b | 2,18 ± 1,0 ^{ab} | 2,79 ± 0,6 ^a |
| % Fibras Insolúveis | 1,55 ± 0,1 ^c | 2,97 ± 0,1 ^b | 3,36 ± 0,1 ^a |
| % Fibra Solúveis | 1,42 ± 0,2 ^b | 2,09 ± 0,2 ^{ab} | 2,67 ± 0,0 ^a |
| % Cinzas | 1,42 ± 0,1 ^b | 1,53 ± 0,1 ^{ab} | 1,66 ± 0,0 ^a |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na horizontal indicam diferença significativa (P<0,05).

Os resultados indicaram que o maior teor de umidade foi encontrado nos pães com 0 % e 12 % de linhaça. Provavelmente o tempo de forno do pão com 8% de linhaça pode ter sido superior promovendo a perda de maior quantidade de água do pão. Em relação aos carboidratos, houve diferença estatística entre os 3 tipos de pães, sendo que o tratamento que não recebeu linhaça apresentou maior teor, seguido pelo tratamento com 8% de linhaça e por último o tratamento com 12% de linhaça. A diminuição de carboidrato entre esses 3 tratamentos, provavelmente deve-se ao aumento do teor de linhaça na composição dos pães. Em relação às proteínas não houve diferença estatística. O tratamento que recebeu 12% de adição de linhaça apresentou diferença estatística em relação às fibras solúveis, fibras insolúveis e cinzas.

De acordo com Moura (2008) que estudou os efeitos da adição de linhaça na composição centesimal de pães de forma, observou que o pão enriquecido com 9% de linhaça, os maiores valores em relação às proteínas, lipídios e fibras alimentares, resultados que confirmam alteração nesses constituintes com a adição da linhaça.

5.2.1.2 Determinação de ácido fítico

Não foi detectado ácido fítico em nenhuma amostra do pão de forma elaborado com pré-mistura. O mesmo ocorreu no pão francês. Os dados obtidos concordam com estudos conduzidos por Nayini e Markakis (1983) que verificaram o decréscimo de inositol fosfato e acréscimo de fosfato inorgânico (P_i), os quais são produtos finais da quebra do ácido fítico pela enzima fitase. Isto se deve à ativação da fitase endógena durante o processo de fermentação. O tempo de fermentação é inversamente proporcional à presença de intermediários da reação e diretamente proporcional à formação de fosfato inorgânico. Numa fermentação durante 120 minutos os decréscimos foram de 398 mg/100 g de inositol fosfato para 92 mg/100 g em pão integral, enquanto que a presença P_i aumentou de 45 mg/100 g para 157 mg/100 g. No presente estudo o tempo de fermentação do pão de forma também foi de 120 minutos, além disso, aplicou-se também a irradiação nas doses 6, 8 e 10 kGy, o que pode ter potencializado o efeito do decréscimo de ácido fítico.

De acordo com Mechi, Caniatti-Brazaca e Arthur (2005), que avaliaram o teor de ácido fítico após irradiação em feijão preto, observaram diminuição significativa no teor desse antinutricional de acordo com as doses aplicadas (2,4,6,8 e 10 kGy). A diminuição foi de 8,02 mg. g⁻¹ para 5,04 mg. g⁻¹, controle e amostra tratada com 8 kGy, respectivamente.

O ácido fítico, em condições naturais nos alimentos tem a capacidade de associar-se a cátions ou proteínas devido à carga negativa da molécula. Em pH levemente ácido ou neutro, os seis grupamentos fosfato da molécula de ácido fítico expõem suas 12 cargas negativas, favorecendo a complexação direta ou indireta desta molécula com cátions bivalentes (Ca, Fe, Zn, Mg, Cu), também com amido, proteínas e enzimas, podendo alterar a digestibilidade e absorção destes nutrientes (PALLAUF; RIMBACH, 1997).

5.2.1.3 Taninos

Também não foi detectado taninos em nenhuma amostra, o que igualmente ocorreu com o pão francês. Os resultados apresentados no presente estudo concordam com Egounlety e Aworh (2003), que não detectaram taninos em leguminosas fermentadas.

Segundo Moura, Canniatti-Brazaca e Silva (2009) os valores de taninos se mantiveram na casa de 0,96; 0,95; 0,98 e 1,01 mg.g⁻¹ em pão de forma com 0, 3, 6 e 9% de adição de sementes de linhaça, respectivamente. O tempo de fermentação do pão elaborado por esses autores foi de 60 minutos, o que é duas vezes menor ao tempo utilizado no presente estudo, que foi de 120 minutos.

Os taninos, como é um composto fenólico sofre a ação da irradiação, diminuído seu teor com o emprego da mesma (POLOVKA; SUHAJ, 2010).

Mechi, Caniatti-Brazaca e Arthur (2005) também avaliaram o teor de taninos em feijão preto após a irradiação. Eles encontraram os seguintes teores em mg. g⁻¹ para os tratamentos 0, 2, 4, 6, 8 e 10 kGy: 0,93; 0,62; 0,91; 0,80; 1,43; 1,12. Os tratamentos que receberam doses de 2, 4 e 6 kGy foram os mais eficientes para reduzir os taninos. A redução no teor de taninos é muito favorável, pois este fator antinutricional tem a capacidade de reduzir drasticamente a digestibilidade de proteínas (PINO; LAJOL, 2003).

5.2.1.4 Fenólicos Totais

O teor de fenólicos totais no pão forma com diferentes porcentagens de linhaça e submetido à radiação é apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. Fenólicos totais (µg de catequina.g⁻¹) em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | Fenólicos totais ¹ (µg de catequina.g ⁻¹) | | |
|-------------|--|----------------------------|-----------------------------|
| | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 20,97 ± 1,38 ^{a2B3} | 25,02 ± 1,25 ^{aA} | 21,86 ± 1,86 ^{aAB} |
| 6,0 | 15,96 ± 1,68 ^{bB} | 13,18 ± 0,17 ^{cB} | 22,07 ± 2,98 ^{aA} |
| 8,0 | 17,41 ± 0,76 ^{bB} | 16,49 ± 1,10 ^{bB} | 20,59 ± 0,87 ^{aA} |
| 10,0 | 16,28 ± 1,30 ^{bA} | 16,73 ± 1,19 ^{bA} | 18,20 ± 0,62 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Analisando o efeito da dose de irradiação aplicada, observou-se que a amostra que não sofreu irradiação apresentou maior teor de fenólicos no grupo que não recebeu adição de linhaça bem como no grupo que recebeu adição de 8% de linhaça. As amostras que receberam 12% de linhaça não apresentaram diferença estatística entre as doses aplicadas.

Song et al. (2006) investigaram cenoura e suco de couve durante um período de armazenamento de três dias (10°C). Eles relataram que o conteúdo de fenólicos totais de ambos os sucos vegetais foram significativamente maiores nas amostras irradiadas com 3 kGy que no controle não irradiado.

Em muitos alimentos processados, a irradiação pode provocar alterações na sua estrutura, gerando efeitos positivos quanto negativos na atividade antioxidante dos mesmos.

No caso de pimentas, a dose de radiação aplicada pode induzir mudanças significativas, entre essas, a diminuição de alguns antioxidantes como carotenóides, ácido ascórbico, compostos voláteis e ácidos fenólicos (POLOVKA; SUHAJ, 2010).

Ao se comparar o efeito da adição da linhaça, observou-se que a adição desse ingrediente provocou aumento no teor de fenólicos totais em comparação às amostras que não foram enriquecidas.

Moura (2008) estudou o efeito da adição de sementes de linhaça em pães de forma, observou que o teor de fenólicos totais presentes nas amostras aumentaram de acordo com a adição de sementes de linhaça (3%, 6% e 9%).

5.2.1.5 Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante por DPPH e ABTS em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetido à irradiação são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Atividade antioxidante¹ em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade antioxidante ¹ por DPPH ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,267 \pm 0,014 ^{a2A3} | 0,276 \pm 0,011 ^{aA} | 0,220 \pm 0,019 ^{aB} |
| 6,0 | 0,282 \pm 0,012 ^{aA} | 0,231 \pm 0,015 ^{bB} | 0,150 \pm 0,014 ^{bC} |
| 8,0 | 0,215 \pm 0,011 ^{bA} | 0,118 \pm 0,015 ^{cB} | 0,105 \pm 0,014 ^{cB} |
| 10,0 | 0,071 \pm 0,010 ^{cA} | 0,098 \pm 0,008 ^{cA} | 0,077 \pm 0,017 ^{cA} |
| Atividade antioxidante ¹ por ABTS ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 6,28 \pm 0,11 ^{aA} | 3,44 \pm 0,23 ^{bC} | 4,45 \pm 0,18 ^{abB} |
| 6,0 | 5,61 \pm 0,50 ^{aA} | 3,48 \pm 0,36 ^{bB} | 4,30 \pm 0,61 ^{bB} |
| 8,0 | 4,38 \pm 0,095 ^{bAB} | 3,85 \pm 0,69 ^{abB} | 5,28 \pm 0,29 ^{aA} |
| 10,0 | 4,75 \pm 0,30 ^{bA} | 4,79 \pm 0,16 ^{aA} | 4,18 \pm 0,09 ^{bB} |

¹Os dados são a média de três repetições \pm desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Quanto à atividade antioxidante medida pelo radical DPPH, observou-se que no grupo que não recebeu adição de linhaça a atividade antioxidante diminuiu conforme aumentou a dose de irradiação, com exceção da amostra irradiada com 6 kGy que não diferiu do controle.

No grupo que recebeu adição de linhaça (8% e 12%) verificou-se diminuição da atividade antioxidante conforme o aumento da dose de radiação.

A capacidade antioxidante total foi medida por Hung et al. (2009) em farinha de grãos integrais e em farinha branca de trigo. Esses autores observaram maior capacidade antioxidante, devido à presença do germe, na farinha feita com grãos integrais do que na farinha de trigo processada, que continha apenas o esperma, provavelmente a linhaça também tem esse potencial.

De acordo com Polovka e Suhaj (2010) a irradiação gama pode aumentar a formação de radicais orgânicos. Esses autores também observaram que a atividade antioxidante do radical DPPH é fortemente influenciada pela composição química do alimento, pH, método de determinação, solvente usado para a extração e a dose e o processo de irradiação aplicado. O que explica o diferente comportamento da atividade antioxidante medido pelo radical DPPH.

Em relação à atividade antioxidante medida pelo radical ABTS, as amostras que não receberam adição de linhaça apresentaram maior atividade antioxidante nas doses 0 e 6 kGy. O tratamento que recebeu 8% e 12% de adição de linhaça apresentou maior atividade na dose de 10 kGy e 8 kGy, respectivamente, provavelmente devido a diferente composição dos pães como constatado para outros materiais segundo Polovka e Suhaj (2010).

Quando se comparou as diferentes porcentagens de linhaça com a mesma dose, observou-se que a amostra com 0% de linhaça apresentou maior atividade antioxidante em todas as doses, com exceção da dose de 8kGy, nessa dose, a amostra com 12% de linhaça apresentou maior atividade antioxidante. A adição da linhaça não melhorou a atividade antioxidante dos pães de forma elaborados com pré-mistura.

5.2.1.6 Índice glicêmico

O índice glicêmico foi calculado para os pães de forma elaborados com pré-mistura e é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27. Índice glicêmico em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Índice Glicêmico¹ | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 40,26 ± 0,00 ^{d2B3} | 40,47 ± 0,00 ^{cA} | 40,26 ± 0,01 ^{cB} |
| 6,0 | 40,66 ± 0,00 ^{cA} | 40,55 ± 0,00 ^{aB} | 40,47 ± 0,01 ^{bC} |
| 8,0 | 40,85 ± 0,02 ^{aA} | 40,35 ± 0,01 ^{dC} | 40,70 ± 0,01 ^{aB} |
| 10,0 | 40,76 ± 0,01 ^{bA} | 40,53 ± 0,01 ^{bC} | 40,68 ± 0,00 ^{aB} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Os resultados indicados na Tabela 27 mostraram que houve diferença estatística entre as doses aplicadas em todas as formulações testadas. A formulação que não recebeu adição de linhaça apresentou maior índice glicêmico para a dose de 8 kGy. A formulação com 8% de linhaça apresentou maior índice glicêmico para a dose de 6 kGy. Entre as formulações que receberam 12% de linhaça, as amostras que sofreram irradiação apresentaram índice glicêmico superior à amostra controle não irradiada.

Ao se comparar as diferentes formulações em virtude da mesma dose, observou-se que as amostras que sofreram adição de linhaça em sua composição apresentaram menor índice glicêmico em todas as doses aplicadas.

Os resultados desse estudo mostraram que o pão de forma contendo linhaça e submetidos à radiação gama apresentaram índice glicêmico inferiores aos dados da literatura para outros tipos, por exemplo, pão com grãos de aveia (IG=49), pão com grãos de centeio (IG=48), pão com grãos de cereais (IG=50) (FOSTER-POWELL; HOLT; BRAND-MILLER, 2002).

Rolim et al. (2011) que elaborou pães com diferentes níveis de farinha de yacon (6% e 11%) e analisou-os quanto ao índice glicêmico, observaram que o pão com 11% de farinha de yacon mostrou baixo índice glicêmico (IG=42), se assemelhando aos resultados encontrados pelo presente estudo.

A vantagem do baixo IG se reflete em uma maior sensação de saciedade (BRAND-MILLER; GILBERTSON, 2002), desacelerando o retorno dos hormônios colecistoquinina e glucagon, que são responsáveis pela plenitude gástrica (LEMOS et al, 2002).

A escolha de um alimento não se deve dar apenas pelo seu índice glicêmico, mas deve levar em consideração aspectos como tipo de açúcar, o teor de amilase e amilopectina, a presença de amido resistente, o processamento térmico, o tamanho das partículas e

constituente de alimentos, tais como a gordura e a interação entre amido-proteína e amido-lípidios bem como a quantidade e qualidade de hidratos de carbono (ADA, 2002; MONRO; SHAW, 2008).

5.2.1.7 Determinação de ácidos graxos

A determinação de ácidos graxos foi realizada nas amostras e é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28. Perfil de ácidos graxos determinados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Ácido Palmítico (%)¹ | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,28 ± 0,005 ^{b2B3} | 0,27 ± 0,016 ^{aB} | 0,31 ± 0,011 ^{aA} |
| 6,0 | 0,41 ± 0,028 ^{aA} | 0,25 ± 0,001 ^{aB} | 0,29 ± 0,030 ^{aB} |
| 8,0 | 0,31 ± 0,015 ^{bA} | 0,24 ± 0,021 ^{abB} | 0,34 ± 0,023 ^{aA} |
| 10,0 | 0,29 ± 0,023 ^{bA} | 0,20 ± 0,019 ^{bB} | 0,29 ± 0,002 ^{aA} |
| Ácido Palmitoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,021 ± 0,002 ^{ab2A3} | 0,008 ± 0,001 ^{bB} | 0,011 ± 0,001 ^{bB} |
| 6,0 | 0,012 ± 0,007 ^{ab A} | 0,008 ± 0,001 ^{b A} | 0,010 ± 0,00 ^{b A} |
| 8,0 | 0,011 ± 0,001 ^{bA} | 0,009 ± 0,002 ^{ab A} | 0,019 ± 0,007 ^{ab A} |
| 10,0 | 0,022 ± 0,001 ^{a A} | 0,015 ± 0,004 ^{a B} | 0,020 ± 0,00 ^{a AB} |
| Ácido Esteárico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,33 ± 0,008 ^{a2B3} | 0,29 ± 0,009 ^{bC} | 0,45 ± 0,005 ^{bA} |
| 6,0 | 0,27 ± 0,006 ^{b C} | 0,31 ± 0,001 ^{ab B} | 0,43 ± 0,005 ^{cA} |
| 8,0 | 0,27 ± 0,027 ^{b B} | 0,31 ± 0,013 ^{abB} | 0,49 ± 0,002 ^{a A} |
| 10,0 | 0,33 ± 0,008 ^{a B} | 0,33 ± 0,088 ^{a B} | 0,45 ± 0,04 ^{bA} |
| Ácido Oléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,42 ± 0,009 ^{b2C3} | 0,71 ± 0,018 ^{b B} | 1,07 ± 0,021 ^{a A} |
| 6,0 | 0,47 ± 0,021 ^{bC} | 0,79 ± 0,016 ^{a B} | 0,97 ± 0,006 ^{bA} |
| 8,0 | 0,43 ± 0,022 ^{bC} | 0,70 ± 0,039 ^{b B} | 1,10 ± 0,016 ^{a A} |
| 10,0 | 0,66 ± 0,057 ^{abB} | 0,73 ± 0,006 ^{abB} | 0,86 ± 0,012 ^{c A} |
| Ácido Linoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 1,07 ± 0,06 ^{a2B3} | 0,97 ± 0,4 ^{a C} | 1,26 ± 0,3 ^{aA} |
| 6,0 | 0,91 ± 0,6 ^{b B} | 0,90 ± 0,5 ^{bB} | 1,18 ± 0,7 ^{a A} |
| 8,0 | 0,69 ± 0,9 ^{c B} | 0,97 ± 0,8 ^{a A} | 0,99 ± 0,4 ^{cA} |
| 10,0 | 1,08 ± 0,7 ^{a A} | 0,97 ± 0,6 ^{a B} | 1,08 ± 0,9 ^{b A} |
| Ácido Linolênico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,00 ± 0,00 ^{b2C3} | 0,632 ± 0,004 ^{a B} | 1,12 ± 0,094 ^{aA} |
| 6,0 | 0,033 ± 0,013 ^{aC} | 0,621 ± 0,024 ^{abB} | 0,98 ± 0,016 ^{bA} |
| 8,0 | 0,039 ± 0,002 ^{a C} | 0,492 ± 0,039 ^{b B} | 0,83 ± 0,007 ^{c A} |
| 10,0 | 0,00 ± 0,00 ^{b C} | 0,638 ± 0,051 ^{a B} | 0,77 ± 0,037 ^{c A} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Observou-se que a dose de irradiação acarretou diferenças entre os valores dos ácidos graxos, exceto para o ácido palmítico da formulação que recebeu adição de 12% de linhaça. Entre a formulação que não recebeu adição de linhaça, os maiores teores de ácidos graxos foram encontrados nas amostras que sofreram irradiação.

A amostra com 8% de linhaça não apresentou variações nos teores de ácido linoléico e linolênico, com exceção da dose de 6 kGy e 8 kGy, respectivamente. A amostra com 12% de linhaça apresentou diminuição no teor de ácido linoléico na dose de 8 kGy e apresentou menores teores de ácido linolênico nas amostras irradiadas com 8 e 10 kGy. O teor de ácido palmítico foi reduzido quando aplicada a dose de 10 kGy nas amostras que receberam adição de 8% de linhaça. Tipples e Norris (1965) analisando os efeitos da radiação gama nos lipídios da farinha de trigo, observaram variações nos teores dos ácidos linoléico, linolênico e palmítico, sendo as alterações maiores conforme o aumento da dose utilizada.

O ácido palmitoléico não apresentou diferença estatística quando se comparou as duas formulações que receberam adição de linhaça em função da mesma dose.

Já em relação aos ácidos oléico, linoléico e linolênico houve aumento destes de acordo com a porcentagem de linhaça adicionada ao pão. Mentis, Bakkalbassi e Ercan (2008) estudando a adição de linhaça em pães confeccionados com farinha de trigo constataram que o teor de ácidos graxos poliinsaturados aumentou nos pães que continham linhaça adicionada, sendo o ácido linolênico o mais abundante entre os ácidos graxos analisados. Conforti e Davis (2006) analisando o perfil de ácidos graxos em pães produzidos com farinha de linhaça observaram também que o conteúdo de ácidos poliinsaturados sofreu aumento, tendo como um dos destaques o ácido oléico.

O ácido palmitoléico apresentou os menores teores no pão de forma quando comparados aos demais ácidos graxos.

A irradiação leva ao dano oxidativo dos lipídios devido à aceleração do processo de auto-oxidação, formando radicais livres reativos. A oxidação lipídica depende do número e da posição das ligações duplas. Em geral, quanto maior o grau de insaturação maior é a sensibilidade à oxidação provocada pela radiação. O ácido linoléico e linolênico são mais propensos à auto-oxidação (STEFANOVA et al., 2011).

5.2.1.8 Índice de acidez

O índice de acidez foi medido nos pães de forma preparados com pré-mistura e é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Porcentagem de Índice de acidez¹ | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 2,75±0,60 ^{a2A3} | 0,39±0,06 ^{bB} | 0,54±0,00 ^{aB} |
| 6,0 | 2,83±0,57 ^{aA} | 0,76±0,19 ^{abB} | 0,56±0,11 ^{aB} |
| 8,0 | 2,94±0,00 ^{aA} | 1,06±0,23 ^{aB} | 0,38±0,00 ^{aC} |
| 10,0 | 2,61±0,00 ^{aA} | 0,47±0,20 ^{bB} | 0,44±0,11 ^{aB} |

¹ Nota média ± desvio padrão; ² Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³ Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Entre as amostras que não receberam adição de linhaça não houve diferença estatística entre as doses aplicadas, o mesmo aconteceu com a formulação que recebeu adição de 8% e 12 % de linhaça, com exceção das doses de 6 e 8 kGy que apresentaram maior resultado para o índice de acidez na formulação que recebeu 8% de adição de linhaça.

As amostras que receberam adição de linhaça apresentaram menor índice de acidez para todas as doses pesquisadas quando comparadas ao controle.

Silva et al. (2010) que estudaram o efeito de diferentes doses da radiação gama (3; 4,5; 6 kGy) nos atributos sensoriais e físico-químicos de farinha de trigo e fubá, verificaram que a irradiação provocou alteração na acidez graxa nas farinhas e essa alteração foi maior quanto maior a dose de irradiação.

Na alteração hidrolítica dos lipídios ou lipólise, os ácidos graxos são liberados dos triglicerídeos. Assim, além do sabor desagradável, ocorre o aumento da acidez, susceptibilidade dos ácidos graxos às reações de oxidação e alterações das propriedades funcionais (GUTKOSKI; PEDÓ, 2000).

5.2.1.9 Teor de minerais

O teor de macrominerais é apresentado na Tabela 30.

Tabela 30. Teor de macrominerais ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | P ¹ | K | Ca | Mg | S | Na |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,39±0,10 ^{b2} | 2,55±0,70 ^a | 0,30±0,00 ^c | 0,30±0,00 ^b | 1,22±0,00 ^b | 7,40±0,40 ^a |
| | 8 | 1,71±0,00 ^a | 2,47±0,10 ^a | 0,43±0,00 ^b | 0,43±0,10 ^{ab} | 1,46±0,20 ^a | 6,12±0,00 ^b |
| | 12 | 1,94±0,20 ^a | 2,21±0,20 ^a | 0,50±0,00 ^a | 0,50±0,00 ^a | 1,28±0,00 ^{ab} | 6,12±0,00 ^b |
| 6 kGy | 0% | 1,38±0,10 ^b | 1,96±0,10 ^a | 0,28±0,00 ^b | 0,30±0,00 ^b | 1,32±0,10 ^a | 7,14±0,90 ^a |
| | 8% | 1,78±0,10 ^a | 2,30±0,30 ^a | 0,45±0,10 ^a | 0,43±0,10 ^{ab} | 1,42±0,30 ^a | 6,12±0,80 ^a |
| | 12% | 1,89±0,10 ^a | 2,13±0,20 ^a | 0,50±0,00 ^a | 0,50±0,00 ^a | 1,32±0,10 ^a | 5,87±0,40 ^a |
| 8 kGy | 0% | 1,35±0,00 ^b | 1,96±0,40 ^a | 0,28±0,43 ^b | 0,30±0,00 ^c | 1,28±0,10 ^a | 6,63±0,40 ^a |
| | 8% | 1,76±0,10 ^a | 1,79±0,00 ^a | 0,40±0,00 ^a | 0,40±0,00 ^b | 1,23±0,00 ^a | 6,12±0,00 ^a |
| | 12% | 1,88±0,00 ^a | 1,96±0,10 ^a | 0,43±0,00 ^a | 0,50±0,00 ^a | 1,24±0,00 ^a | 6,12±0,00 ^a |
| 10 kGy | 0% | 1,39±0,20 ^b | 1,70±0,20 ^b | 0,32±0,00 ^b | 0,30±0,00 ^c | 1,35±0,30 ^a | 6,89±0,80 ^a |
| | 8% | 1,88±0,10 ^a | 2,04±0,30 ^b | 0,45±0,10 ^{ab} | 0,43±0,10 ^b | 1,26±0,00 ^a | 6,12±0,80 ^a |
| | 12% | 1,86±0,00 ^a | 2,68±0,20 ^a | 0,50±0,00 ^a | 0,60±0,00 ^a | 1,26±0,00 ^a | 6,89±0,00 ^a |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente da concentração de linhaça dentro de cada dose ($P<0,05$).

Em relação ao teor de fósforo (P), as amostras que não receberam adição de linhaça apresentaram menor teor para esse mineral em todas as doses aplicadas, indicando que a linhaça contribuiu com esse elemento na composição do pão.

Quanto ao teor de potássio (K), apenas as amostras sem adição de linhaça e com adição de 12% de linhaça e irradiadas com 10 kGy, apresentaram diferença estatística, em relação ao controle e com a adição de 8%.

Em relação ao cálcio (Ca), todas as amostras que não receberam adição de linhaça apresentaram teor de cálcio inferior às amostras que receberam adição de linhaça em sua formulação. O mesmo comportamento também foi observado para o magnésio (Mg). Assim como para o fósforo, a adição da linhaça nos pães contribuiu para o incremento desses dois elementos.

Os minerais enxofre (S) e sódio (Na) apresentaram diferença estatística apenas para as amostras que não foram irradiadas.

Ao se adicionar a linhaça triturada, observou-se aumento no teor dos minerais. De acordo com Moura (2008), que quantificou o teor de minerais na semente de linhaça marrom, encontrando-se os seguintes valores em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$: 5,79 mg de fósforo; 9,09 mg de potássio; 2,67 mg de cálcio; 3,49 mg magnésio; 0,0156 mg de enxofre; 2,45 mg de sódio.

Bhat et al. (2009), que investigaram a composição de minerais da farinha de semente de lótus irradiada com doses entre 0 e 30 kGy, não encontraram diminuição significativa nas

concentrações de minerais na farinha de semente de lótus irradiada. Geralmente, os minerais não se degradam na irradiação, mas uma mudança em seu estado de oxidação pode ocorrer devido a um solvente particular. Esses autores, ainda afirmam que a queda no teor de minerais pode ser devido à presença de antinutrientes determinados em concentrações mais elevadas (como oligossacarídeos, inibidores de proteases, saponinas e outros) que podem formar quelatos com os minerais, formando complexos insolúveis levando à redução da biodisponibilidade dos minerais. O mecanismo real da diminuição de alguns minerais ainda é obscura e precisa ser mais investigada. No entanto, a diminuição dos minerais não deve ser um impedimento para a utilização da tecnologia de radiação, quando se considera os aspectos benéficos relacionados com a segurança.

Na Tabela 31 são apresentados os microminerais.

Tabela 31. Teor de microminerais ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Cu ¹ | Fe | Mn | Zn |
|--------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0 kGy | 0 | 3,13 ± 0,30 ^{a2} | 65,47 ± 1,10 ^a | 7,83 ± 1,60 ^a | 14,20 ± 0,30 ^b |
| | 8 | 3,87 ± 0,10 ^a | 59,23 ± 1,80 ^b | 8,53 ± 1,60 ^a | 19,13 ± 0,20 ^a |
| | 12 | 3,63 ± 1,00 ^a | 59,90 ± 1,50 ^b | 9,87 ± 1,50 ^a | 18,90 ± 0,90 ^a |
| 6 kGy | 0% | 3,07 ± 0,20 ^a | 62,73 ± 0,70 ^a | 7,50 ± 1,00 ^a | 15,47 ± 1,10 ^b |
| | 8% | 3,33 ± 0,20 ^a | 61,47 ± 2,50 ^a | 8,93 ± 0,60 ^a | 17,57 ± 1,10 ^{ab} |
| | 12% | 3,93 ± 0,90 ^a | 59,10 ± 2,50 ^a | 9,20 ± 1,30 ^a | 18,40 ± 0,20 ^a |
| 8 kGy | 0% | 2,97 ± 0,20 ^a | 67,05 ± 2,60 ^a | 7,93 ± 0,70 ^a | 16,93 ± 1,10 ^a |
| | 8% | 4,47 ± 1,00 ^a | 59,85 ± 1,00 ^b | 8,63 ± 0,60 ^a | 17,90 ± 2,20 ^a |
| | 12% | 4,10 ± 0,40 ^a | 60,35 ± 0,80 ^b | 9,60 ± 0,80 ^a | 18,40 ± 0,20 ^a |
| 10 kGy | 0% | 2,97 ± 0,30 ^b | 61,75 ± 2,20 ^a | 7,57 ± 1,00 ^a | 16,30 ± 0,30 ^b |
| | 8% | 3,20 ± 0,20 ^b | 56,00 ± 1,70 ^b | 9,70 ± 1,00 ^a | 17,40 ± 0,70 ^b |
| | 12% | 3,80 ± 0,00 ^a | 59,00 ± 0,10 ^{ab} | 9,45 ± 1,5 ^a | 19,35 ± 0,50 ^a |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Em relação ao teor de cobre (Cu) a diferença estatística foi identificada apenas nas amostras irradiadas com 10 kGy sem adição de linhaça e com adição de 8% de linhaça.

Quanto ao ferro (Fe), as amostras com adição de linhaça apresentaram menor teor desse nutriente nas doses 0, 8 e 10 kGy.

As amostras que não receberam adição de linhaça apresentaram os menores teores de zinco (Zn) em todas as doses aplicadas.

Não observou-se diferença estatística em relação ao teor de manganês (Mn).

Skrbic e Cvejanov (2011) encontraram para o biscoito controle e para o enriquecido com semente de girassol $0,0124 \text{ mg.g}^{-1}$ e $0,0195 \text{ mg.g}^{-1}$ de ferro, respectivamente. Os valores encontrados por esses autores são inferiores aos encontrados no presente estudo, provavelmente essa diferença se dá pelo fato da pré-mistura utilizada para a confecção do pão de forma ser enriquecida com ferro e ácido fólico.

Moura (2008) quantificou o teor de minerais na semente de linhaça marrom, encontrando-se os seguintes valores em mg.g^{-1} : 0,01 mg de cobre; 0,07 mg de ferro; 0,03 mg de manganês; 0,05mg de zinco. Skrbic e Cvejanov (2011) encontraram $0,0029 \text{ mg.g}^{-1}$ de zinco no biscoito preparado com farinha de trigo e $0,0163 \text{ mg.g}^{-1}$ no biscoito enriquecido com semente de girassol. A quantidade de zinco encontrada por esses autores é inferior a encontrada nesse estudo, que variou entre 14,20 e $19,35 \text{ mg.g}^{-1}$.

5.2.1.10 Diálise de minerais “in vitro”

Os resultados obtidos para a disponibilidade de minerais são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32. Porcentagem de Disponibilidade de minerais quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Ca ¹ | Mg | Fe | Zn |
|--------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 0 kGy | 0 | $0,09 \pm 0,10^{\text{b}2}$ | $0,37 \pm 0,30^{\text{b}}$ | $0,16 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,34 \pm 0,20^{\text{a}}$ |
| | 8 | $0,22 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,94 \pm 0,30^{\text{a}}$ | $0,10 \pm 0,00^{\text{b}}$ | $0,25 \pm 0,10^{\text{a}}$ |
| | 12 | $0,49 \pm 0,00^{\text{a}}$ | $0,85 \pm 0,10^{\text{ab}}$ | $0,58 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,39 \pm 0,10^{\text{a}}$ |
| 6 kGy | 0% | $0,17 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,44 \pm 0,20^{\text{a}}$ | $0,19 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,27 \pm 0,1^{\text{a}}$ |
| | 8% | $0,22 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $1,23 \pm 0,60^{\text{a}}$ | $0,08 \pm 0,00^{\text{b}}$ | $0,26 \pm 0,10^{\text{a}}$ |
| | 12% | $0,26 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,33 \pm 0,20^{\text{a}}$ | $0,34 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,40 \pm 0,30^{\text{a}}$ |
| 8 kGy | 0% | $0,06 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,22 \pm 0,00^{\text{b}}$ | $0,06 \pm 0,00^{\text{c}}$ | $0,13 \pm 0,00^{\text{b}}$ |
| | 8% | $0,74 \pm 0,40^{\text{a}}$ | $1,06 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,60 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,45 \pm 0,10^{\text{a}}$ |
| | 12% | $0,23 \pm 0,10^{\text{ab}}$ | $0,26 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,33 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,28 \pm 0,10^{\text{b}}$ |
| 10 kGy | 0% | $0,21 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $1,04 \pm 0,40^{\text{a}}$ | $0,15 \pm 0,00^{\text{b}}$ | $0,40 \pm 0,20^{\text{a}}$ |
| | 8% | $0,51 \pm 0,20^{\text{a}}$ | $0,83 \pm 0,10^{\text{ab}}$ | $0,54 \pm 0,20^{\text{a}}$ | $0,34 \pm 0,10^{\text{a}}$ |
| | 12% | $0,20 \pm 0,10^{\text{a}}$ | $0,27 \pm 0,10^{\text{b}}$ | $0,37 \pm 0,10^{\text{ab}}$ | $0,39 \pm 0,20^{\text{a}}$ |

¹Nota média \pm desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente da concentração de linhaça dentro de cada dose ($P < 0,05$).

A disponibilidade do cálcio apresentou diferença estatística para as amostras que receberam adição de linhaça em sua composição.

Quanto a disponibilidade de magnésio, as amostras que receberam adição de linhaça apresentaram maior disponibilidade nas doses 0 e 8 kGy. Na dose de 10 kGy, a amostra que não recebeu linhaça apresentou maior disponibilidade de magnésio, provavelmente, a irradiação interferiu no produto com maior teor de linhaça e conseqüentemente alterou a composição dos demais tratamentos para esse elemento.

Em relação à disponibilidade de ferro a amostra que recebeu adição de 12% de linhaça diferiu estatisticamente das demais nas doses 0 e 8 kGy. Na dose de 8 kGy, as amostras com adição de linhaça de 8% apresentou maior disponibilidade de ferro, quando comparadas a que não recebeu linhaça e com 12%. Na dose de 10 kGy, a amostra com adição de 8% de linhaça apresentou maior disponibilidade de ferro quando comparada às amostras que não receberam adição de linhaça.

Em relação ao zinco (Zn), não houve diferença estatística, com exceção das amostras sem linhaça e com adição de 12 % ambas irradiadas com 8 kGy, que apresentaram os menores valores, comparada com a amostra de 8% de adição.

Mohamed et al. (2010) estudaram o efeito da irradiação na biodisponibilidade de cálcio e ferro de farinha de sementes inteiras submetidas a dose de 20 Gy, esses autores não observaram diferença estatística entre as amostras controles e a irradiada, provavelmente pela baixa dose utilizada para a irradiação.

5.2.1.11 Vitaminas do complexo B

A Tabela 33 mostra os teores de vitamina B₁, B₂ e B₆ nas amostras de pães de forma preparados com adição de linhaça e irradiados.

Tabela 33. Teor de vitamina B₁, B₂ e B₆ quantificada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Teor de Vitamina B₁ (mg.100g⁻¹)¹ | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,081±0,001 ^{a2A3} | 0,028±0,01 ^{aB} | 0,031±0,00 ^{aB} |
| 6,0 | 0,078±0,001 ^{aA} | 0,026±0,00 ^{aB} | 0,026±0,00 ^{abB} |
| 8,0 | 0,071±0,001 ^{bA} | 0,021±0,00 ^{bC} | 0,026±0,00 ^{bB} |
| 10,0 | 0,029±0,000 ^{cA} | 0,020±0,00 ^{bB} | 0,028±0,00 ^{abA} |
| Teor de Vitamina B₂ (mg.100g⁻¹) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,074 ± 0,003 ^{a2A3} | 0,060 ± 0,002 ^{cB} | 0,080 ± 0,001 ^{aA} |
| 6,0 | 0,076± 0,000 ^{aB} | 0,081± 0,001 ^{aA} | 0,070 ± 0,001 ^{bC} |
| 8,0 | 0,074± 0,000 ^{aAB} | 0,076 ± 0,000 ^{abA} | 0,074 ± 0,001 ^{abB} |
| 10,0 | 0,064± 0,000 ^{bB} | 0,074 ± 0,003 ^{bA} | 0,062 ± 0,005 ^{cB} |
| Teor de Vitamina B₆ mg.100g⁻¹) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,156 ± 0,036 ^{bB} | 0,274 ± 0,002 ^{aA} | 0,227 ± 0,018 ^{aAB} |
| 6,0 | 0,246 ± 0,004 ^{aA} | 0,281 ± 0,036 ^{aA} | 0,181 ± 0,003 ^{bB} |
| 8,0 | 0,249 ± 0,001 ^{aB} | 0,295 ± 0,008 ^{aA} | 0,232 ± 0,008 ^{aB} |
| 10,0 | 0,205 ± 0,000 ^{abAB} | 0,252 ± 0,043 ^{aA} | 0,150 ± 0,001 ^{bB} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05) para cada parâmetro estudado.

Os dados apresentados na Tabela 33 indicaram que com a irradiação, o teor de vitamina B₁ foi reduzido quando comparado à amostra controle. A adição de linhaça não aumentou o teor de vitamina B₁ nas amostras. De acordo com a Tabela TACO (UNICAMP, 2006), a quantidade de vitamina B₁ encontrada no pão de forma tradicional foi de 0,04 mg/100g, que foi inferior ao teor encontrado nesse estudo com exceção da amostra que recebeu irradiação de 10 kGy (0,029 mg/100g). Já o teor de vitamina B₁ encontrado na TACO (UNICAMP, 2006) para o pão de forma integral foi de 0,08 mg/100g, valor que se aproxima aos encontrados no pão sem adição de linhaça, fato que pode ser explicado a diferença de ingredientes entre as formulações.

Quanto ao teor de vitamina B₂, observou-se que as doses de irradiação aplicadas diminuiriam a quantidade desse nutriente, com exceção das amostras que receberam adição de 8% de linhaça. De acordo com a Tabela TACO (UNICAMP, 2006), a quantidade de riboflavina foi de 0,03 mg/100g para o pão de forma tradicional e 0,04 mg/100g no pão de forma integral. Os valores encontrados nesse estudo são superiores aos apontados pela Tabela TACO (UNICAMP, 2006).

Em relação ao teor de vitamina B₆, todas as amostras que sofreram irradiação apresentaram maior teor desse nutriente em relação ao controle. Nos tratamentos que receberam 8 % de adição de linhaça, a irradiação não implicou em diferença estatística entre as doses. Nas amostras com 12% de adição de linhaça, as amostras que receberam doses de 6 e 10 kGy sofreram diferença estatística. De acordo com a Tabela TACO (UNICAMP, 2006) a quantidade de vitamina B₆ foi de 0,15 mg.100g⁻¹ para o pão integral, esse valor coincidiu apenas com o valor encontrado no pão controle desse experimento.

Presoto e Almeida-Muradian (2008) avaliaram os teores das vitaminas B₁, B₂ e B₆ em farinha de trigo procedente de 5 fornecedores diferentes. Os valores variaram entre 0,13 e 0,54 mg.100g⁻¹ para B₁; 0,02 e 0,08 mg./100g⁻¹ para vitamina B₂ e 0,08 e 0,22 mg/100g⁻¹ para vitamina B₆. Esses valores estão próximos aos encontrados nesse estudo, com exceção da vitamina B₁, que nesse estudo foi inferior.

De acordo com Ventura et al. (2010), as vitaminas particularmente a vitamina A, B₁₂, C, E, K, e tiamina, que é bastante estável, são degradadas quando a irradiação é feita na presença de oxigênio.

5.2.2 Análises Físicas

5.2.2.1 Índice de cocção

Os resultados do índice de cocção do pão de forma elaborado com pré-mistura com e sem a adição de linhaça, estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34. Índice de cocção do pão forma com diferentes porcentagens de linhaça e submetidos à radiação gama.

| Tratamento | Peso Cru (g) | Peso Assado (g) | Rend. Assado (formas) | Índice de Cocção |
|------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------------|
| 0% | 4.400 | 3.870 | 8 | 0,88 |
| 8% | 4.400 | 3.970 | 8 | 0,90 |
| 12% | 4.400 | 3.904 | 8 | 0,89 |

A amostragem de cada tratamento (0%, 8% e 12% de adição de linhaça) foi composta por 8 unidades de pão de forma, perfazendo um total de 24 unidades. Foram destinados 2 pães para cada dose de irradiação (6, 8 e 10 kGy), inclusive para o controle (0 kGy). O índice de conversão (IC), que representa a relação entre o peso do alimento assado e o peso do alimento

cru, variou entre 0,88 e 0,90. A diferença entre o peso cru e o peso depois do assamento variou entre 430 g a 530 g.

Os resultados da pesagem antes e depois da irradiação estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35. Peso do pão de forma antes e após à submissão da radiação gama

| Dosagem | 0% | | 8% | | 12% | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Peso (g) Antes | Peso(g) Após | Peso (g) Antes | Peso (g) Após | Peso (g) Antes | Peso (g) Após |
| 0 kGy | 956 | 956 | 986 | 986 | 990 | 990 |
| 6 kGy | 962 | 946,5 | 998 | 999,8 | 988 | 991,9 |
| 8 kGy | 978 | 979,1 | 988 | 981,5 | 982 | 939,2 |
| 10 kGy | 974 | 987,3 | 998 | 992,3 | 944 | 968,5 |
| Total | 3.870 | 3.868,9 | 3.970 | 3.959,6 | 3.904 | 3.889,6 |

A diferença entre o peso do pão antes e depois de irradiá-lo foi pequena, devido ao fato da irradiação não interferir no peso. No pão sem adição de linhaça, a amostra sem irradiação não apresentou diferença no peso antes e depois da irradiação, a dose de 6 kGy apresentou pequena diminuição no peso após irradiação. As doses 8 kGy e 10 kGy apresentaram aumento de peso após irradiação. No pão com adição de 8 % de linhaça, a dose sem irradiação não apresentou diferença no peso, a dose de 6 kGy apresentou ligeiro aumento. Já as doses de 8 kGy e 10 kGy apresentaram pequena diminuição no peso. No pão que recebeu adição de 12% de linhaça não houve diferença de peso na amostra sem irradiação. A amostra que recebeu dose de 6 kGy apresentou ligeiro aumento, o mesmo ocorreu com a amostra irradiada com 10 kGy. A amostra que recebeu dose de 8 kGy apresentou diminuição no peso. As diferenças nos pesos antes e depois da irradiação podem ser explicadas pela pesagem, que foi realizada em balanças diferentes. O peso antes da irradiação foi levantado na panificadora e o peso após irradiação foi levantado já no laboratório, o que pode ter ocasionado a diferença.

5.2.2.2 Volume

Os resultados do volume específico do pão forma elaborado com pré-mistura com e sem a adição de linhaça estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36. Volume específico encontrados no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Volume Específico mL. g⁻¹ | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 4,84 ± 0,4 ^{ab2A3} | 4,00 ± 0,6 ^{aA} | 3,09 ± 1,3 ^{aA} |
| 6,0 | 5,34 ± 1,0 ^{aA} | 3,95 ± 0,5 ^{aAB} | 3,23 ± 0,6 ^{aB} |
| 8,0 | 4,64 ± 0,3 ^{abA} | 4,72 ± 0,7 ^{aA} | 4,43 ± 0,6 ^{aA} |
| 10,0 | 3,59 ± 0,7 ^{ba} | 4,82 ± 0,4 ^{aA} | 3,91 ± 0,8 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

O volume específico variou entre 3,09 a 5,34 cm³/g. Entre o pão sem linhaça, a amostra que recebeu dose de 10 kGy apresentou menor volume específico. No pão que recebeu adição de 8% de linhaça, as amostras não apresentaram diferença estatística, o mesmo aconteceu com as amostras que receberam adição de 12% de linhaça.

Nabeshima et al. (2005) verificaram os efeitos da adição de três diferentes fontes de ferro nas propriedades físicas de pão de forma enriquecido com esses compostos e encontraram para o volume específico valores de 3,54 a 3,03 cm³/g. Esteller, Lima e Lannes (2006) encontraram volume específico (cm³/g) para vários tipos de pães, sendo: 4,63 para pão francês; 4,10 para pão de forma, que concordam com os valores dessa pesquisa.

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 kGy aplicadas no trigo.

5.2.2.3 Cor

Os resultados do croma do miolo e da casca do pão de forma com e sem a adição de linhaça estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37. Cromo do miolo e da casca encontrado no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Croma do Miolo¹ | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 12,47 ± 0,4 ^{b2B3} | 13,22 ± 0,9 ^{aAB} | 14,25 ± 0,2 ^{aA} |
| 6,0 | 13,37 ± 0,3 ^{abA} | 11,90 ± 0,3 ^{aB} | 13,13 ± 0,7 ^{aA} |
| 8,0 | 13,25 ± 0,9 ^{abA} | 12,98 ± 0,3 ^{aA} | 13,53 ± 0,2 ^{aA} |
| 10,0 | 13,92 ± 0,1 ^{aA} | 12,90 ± 1,2 ^{aA} | 13,63 ± 0,7 ^{aA} |
| Croma da Casca¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 40,41 ± 0,3 ^{b2A3} | 38,45 ± 1,7 ^{aA} | 38,50 ± 0,1 ^{aA} |
| 6,0 | 41,58 ± 0,1 ^{aA} | 38,23 ± 1,9 ^{aB} | 37,22 ± 0,9 ^{aB} |
| 8,0 | 41,59 ± 0,2 ^{aA} | 39,27 ± 1,5 ^{aAB} | 35,45 ± 3,3 ^{aB} |
| 10,0 | 41,24 ± 0,5 ^{aA} | 39,43 ± 0,9 ^{aA} | 36,37 ± 1,2 ^{aB} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

De acordo com a Tabela 37, observou-se que houve diferença estatística entre a amostra controle e as que foram irradiadas, isso ocorreu no croma do miolo e no croma da casca. Já nas amostras que receberam adição de linhaça (8 e 12%) não houve diferença estatística entre o croma do miolo e da casca.

Moura (2008) expressou a medida de cor da casca e do miolo de pães de forma enriquecidos com linhaça, observou que esses pães apresentaram croma entre 12,32 e 14,76 para o miolo e 16,85 e 36,97 para a casca, que estão em conformidade aos encontrados nesse estudo.

5.2.2.4 Atividade de água

A atividade de água foi medida nos pães de forma adicionados ou não de linhaça e irradiados bem como no controle. Os dados são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38. Atividade de água encontrada no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade de Água | | | |
|-------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,85 ± 0,00 ^{1b2A3} | 0,85 ± 0,00 ^{aA} | 0,86 ± 0,01 ^{aA} |
| 6,0 | 0,84 ± 0,00 ^{bA} | 0,85 ± 0,00 ^{aA} | 0,86 ± 0,01 ^{aA} |
| 8,0 | 0,85 ± 0,01 ^{bA} | 0,85 ± 0,01 ^{aA} | 0,86 ± 0,01 ^{aA} |
| 10,0 | 0,87 ± 0,00 ^{aA} | 0,85 ± 0,02 ^{aA} | 0,86 ± 0,02 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

De acordo com os resultados, não houve diferença estatística entre as amostras, com exceção da amostra que não recebeu linhaça e que foi irradiada com 10 kGy, que apresentou maior atividade de água.

De acordo com Hoffmann (2001), o valor absoluto da atividade de água dá uma indicação segura do conteúdo de água livre do alimento, sendo esta a única forma de água utilizada por parte dos microrganismos. A possibilidade de alteração microbiana em alimentos acaba naqueles que apresentam atividade de água abaixo de 0,60, embora isso não signifique a destruição dos microrganismos. A maioria das bactérias se desenvolve em atividade de água mínima de 0,91 - 0,88; das leveduras, em 0,88 e dos bolores, em 0,80. Os valores de atividade de água encontrados nesse estudo são favoráveis ao desenvolvimento de bolores.

5.2.3 Análise Sensorial

O perfil dos consumidores entrevistados está expresso na Tabela 39.

Tabela 39. Perfil dos entrevistados

| | | |
|----------|--------------|---------|
| Sexo | F | 70,12 % |
| | M | 29,87 % |
| Idade | 18 a 35 | 40,24 % |
| | 36 a 50 | 32,92 % |
| | Maior de 50 | 26,82 % |
| Tipo Pão | Pão Forma | 12,80 % |
| | Pão Francês | 58,53 % |
| | Pão Integral | 26,21 % |
| | Outros | 2,43% |

A Tabela 39 revela o perfil dos provadores que participaram do teste de aceitação, sendo a maioria do sexo feminino com idade entre 18 a 35 anos e que prefere consumir pão francês.

5.2.3.1 Teste de preferência

A preferência do pão foi avaliada através de escala hedônica, variando de 1 a 9. As médias das notas atribuídas pelos consumidores estão apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40. Média das notas atribuídas ao pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|-------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0,0 | 6,33±1,8 ^{1a2B3} | 7,00±1,9 ^{aAB} | 7,37±1,7 ^{aA} |
| 6,0 | 6,64±1,6 ^{aB} | 6,84±1,9 ^{aB} | 7,54±1,7 ^{aA} |
| 8,0 | 6,03±1,8 ^{aB} | 6,70±1,8 ^{aAB} | 7,20±1,7 ^{aA} |
| 10,0 | 6,13±1,9 ^{aB} | 6,44±1,8 ^{aAB} | 7,02±1,8 ^{aA} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P<0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça ($P<0,05$), para cada parâmetro estudado.

Em relação ao parâmetro dose, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Em relação ao parâmetro porcentagem de linhaça as amostras que receberam 12% de adição de linhaça em sua formulação apresentaram as maiores notas. Isso indica que os provadores preferiram os tratamentos que receberam maior adição de linhaça independente da dose de irradiação aplicada.

A Tabela 41 indica a distribuição das notas dos provadores.

Tabela 41. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica

| Dose | % Linhaça | ESCALA | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|--------|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Valores observados para a escala | | | | | | | | | | |
| 0 kGy | 0 | 1 | 1 | 6 | 1 | 21 | 10 | 17 | 15 | 10 |
| | 8 | 3 | 1 | 2 | 0 | 8 | 11 | 12 | 32 | 13 |
| | 12 | 2 | 1 | 0 | 2 | 4 | 10 | 17 | 20 | 26 |
| 6 kGy | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 12 | 16 | 25 | 10 | 13 |
| | 8 | 2 | 2 | 2 | 0 | 13 | 8 | 19 | 21 | 15 |
| | 12 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 15 | 18 | 32 |
| 8 kGy | 0 | 2 | 0 | 5 | 4 | 29 | 7 | 14 | 12 | 9 |
| | 8 | 1 | 3 | 0 | 7 | 8 | 13 | 14 | 25 | 11 |
| | 12 | 0 | 0 | 2 | 9 | 6 | 7 | 9 | 27 | 22 |
| 10 kGy | 0 | 1 | 2 | 6 | 5 | 19 | 10 | 16 | 14 | 9 |
| | 8 | 1 | 0 | 3 | 12 | 6 | 16 | 18 | 16 | 10 |
| | 12 | 0 | 1 | 2 | 8 | 9 | 5 | 14 | 24 | 19 |

De acordo com a Tabela 41 de distribuição de notas, a maior concentração dos provadores para a nota 5 “Indiferente” foi para as amostras que não receberam adição de linhaça e que foram irradiadas nas doses 0, 8 e 10 kGy. A maioria dos provadores atribuíram nota 7 “Gostei regularmente” para o tratamento que não recebeu adição de linhaça e que foi irradiado na dose de 6 kGy e para o tratamento que recebeu 8 % de adição de linhaça e que foi irradiado com 10 kGy. A nota 8 “Gostei muito” foi atribuída pela maioria dos provadores ao tratamento que recebeu adição de 8 % de linhaça e irradiado nas doses 0, 6 e 8 kGy e também para o tratamento que recebeu 12% de adição de linhaça e irradiado nas doses 8 e 10 kGy. A maior nota “Gostei muitíssimo” foi dada ao tratamento com adição de 12% de linhaça sem irradiação e com irradiação com dose de 6 kGy. Notou-se claramente que os provadores preferiram os tratamentos com maior concentração de linhaça e que foram submetidos às doses mais altas de irradiação.

5.2.3.2 Intenção de compra

A intenção de compra dos produtos foi avaliada através de escala hedônica, variando de 1 a 5. As médias das notas atribuídas pelos consumidores estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42. Média das notas atribuídas à intenção de compra do pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|-------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0,0 | 2,85±1,5 ^{1a2B3} | 3,47±1,1 ^{1aA} | 3,65±1,2 ^{aA} |
| 6,0 | 3,09±1,4 ^{aB} | 3,51±1,1 ^{aAB} | 3,85±1,5 ^{aA} |
| 8,0 | 2,98±1,5 ^{aB} | 3,33±1,2 ^{aB} | 4,00±1,3 ^{aA} |
| 10,0 | 2,84±1,5 ^{aB} | 3,08±1,1 ^{aB} | 3,60±1,3 ^{aA} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

A diferença estatística foi observada entre a porcentagem de linhaça adicionada, os tratamentos que receberam maior porcentagem de adição desse ingrediente receberam as maiores notas em todas as doses de irradiação aplicada.

Moura (2008) levantou os motivos pelos quais os consumidores comprariam pão de forma com adição de altas porcentagens de linhaça, os principais motivos indicados pelos provadores para justificar a compra desse produto foram: “Melhor Sabor”; “Benefícios para a Saúde” e “Maior quantidade de linhaça”.

5.2.3.3 Análise Descritiva Quantitativa

As notas referentes à análise descritiva são apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados

| Atributos | Controle | 8% linhaça e 0 kGy | 12% linhaça e 0 kGy | 12% linhaça e 6 kGy | 12% linhaça e 8 kGy |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Aparência | | | | | |
| Característica | 8,37±0,95 ^{1a2} | 8,08±1,69 ^a | 7,67±1,50 ^a | 7,54±1,78 ^a | 7,85±1,96 ^a |
| Cor da Casca | 2,40±0,60 ^a | 2,29±0,60 ^a | 2,59±0,61 ^a | 3,06±0,70 ^a | 3,31±0,80 ^a |
| Uniformidade | 8,10±2,09 ^a | 7,1±1,71 ^a | 6,63±1,62 ^a | 6,81±1,73 ^a | 7,01±1,72 ^a |
| Aroma | | | | | |
| Característico | 8,65±1,12 ^a | 7,39±1,68 ^{ab} | 7,17±1,63 ^{ab} | 7,13±1,67 ^{ab} | 6,73±1,68 ^b |
| Fermento | 0,85±0,21 ^a | 1,00±0,21 ^a | 1,29±0,31 ^a | 1,54±0,38 ^a | 1,93±0,48 ^a |
| Textura | | | | | |
| Característica | 8,31±2,11 ^a | 7,86±1,98 ^a | 7,65±1,99 ^a | 7,58±1,89 ^a | 7,56±1,89 ^a |
| Consistência | 4,56±1,14 ^a | 4,92±1,23 ^a | 4,96±1,20 ^a | 5,71±1,48 ^a | 5,77±1,39 ^a |
| Maciez | 8,17±1,04 ^a | 6,96±1,72 ^{ab} | 6,61±1,65 ^{ab} | 6,35±1,56 ^b | 6,32±1,61 ^b |
| Aderência | 3,03±0,76 ^a | 2,82±0,72 ^a | 2,78±0,69 ^a | 2,94±0,73 ^a | 2,85±0,71 ^a |
| Sabor | | | | | |
| Característico | 8,87±0,87 ^a | 7,82±1,90 ^{ab} | 7,56±1,59 ^{ab} | 7,11±1,64 ^b | 7,08±1,74 ^b |
| Amargo | 0,21±0,05 ^b | 0,84±0,22 ^{ab} | 0,92±0,23 ^{ab} | 0,88±0,25 ^{ab} | 1,12±0,28 ^a |
| Fermento | 0,60±0,16 ^a | 0,75±0,18 ^a | 1,17±0,29 ^a | 1,08±0,30 ^a | 1,53±0,38 ^a |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras diferentes na horizontal indicam diferença significativa entre os tratamentos no nível de 5%

Através da análise da Tabela 43, observou-se que em relação aos atributos: “Aparência Característica”; “Cor da Casca”; “Uniformidade”; “Aroma de Fermento”; “Textura Característica”; “Consistência Característica”; “Aderência” e “Sabor de fermento” não houve diferença estatística entre as 5 amostras de pão de forma.

Quanto aos atributos “Aroma Característico”; “Maciez”; “Sabor Característico” e “Sabor Amargo” houve diferenças significativas entre as amostras.

Em relação ao atributo “Aroma Característico”, “Maciez” e “Sabor Característico” observou-se diminuição das notas em relação ao controle, que obteve a maior nota. Isso indica

que a adição de linhaça e a irradiação podem ter alterado as características sensoriais referentes à aroma, textura e sabor.

Em relação ao atributo “Sabor amargo” a amostra controle obteve a menor nota e a amostra que recebeu 12% de linhaça e dose de 8 kGy recebeu a maior nota, indicando que a adição de linhaça e a irradiação potencializaram esse atributo.

Moura (2008) que realizou ADQ em pão de forma com adição de 3, 6 e 9% de semente de linhaça marrom, levantou atributos semelhantes ao encontrado nesse estudo. Os termos semelhantes para Aparência foram: “cor da casca”, “característica” e “uniforme”. Em relação ao Aroma, os termos semelhantes foram: “característico”. Em relação a Textura: “Consistente” e “Macio” e quanto ao Sabor, os termos semelhantes entre esses dois estudos foram: “Característico” e “Amargo”.

Os atributos “Aroma de fermento”, “Aderência”, “Sabor Amargo” e “Sabor de Fermento” que poderiam ser considerados indesejáveis, foram quantificados pelos provadores com notas baixas (inferior a 3) o que não comprometeu a aceitação dos produtos pelos provadores.

5.2.4 Análises Microbiológicas

Em relação aos coliformes 35°C e coliformes 45 °C, o número mais provável por grama (NMP/g) foi menor que 2 em todos os tratamentos e tempos analisados. Também não foi encontrada *Salmonella* em 25g em nenhum tratamento e em nenhum tempo analisado. A Resolução RDC nº 12, estabelece que para pães e produtos panificados deva haver ausência de *Salmonella* em 25g e que a tolerância de coliformes a 45°C é de 10² NMP (ANVISA, 2001). Os resultados encontrados para *Salmonella* e coliformes estão de acordo com a referida legislação.

As quantidades de unidades formadoras de colônia por grama (UFC/g) de *Bacillus cereus*, bolores e leveduras e *Staphylococcus* coagulase positiva estão nas Tabelas 44, 45 e 46.

Tabela 44. Quantidades de UFC. g^{-1} de *Bacillus cereus* em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 kGy | 0 | <10 | $3,0 \times 10^2$ | $5,0 \times 10^3$ | $3,5 \times 10^3$ |
| | 8 | $8,4 \times 10$ | $4,0 \times 10^2$ | $2,5 \times 10^3$ | $3,2 \times 10^3$ |
| | 12 | <10 | $5,0 \times 10^2$ | $3,2 \times 10^3$ | $4,0 \times 10^3$ |
| 6 kGy | 0 | <10 | <10 | $2,2 \times 10^3$ | $1,1 \times 10^3$ |
| | 8 | <10 | $4,5 \times 10^2$ | $4,6 \times 10^2$ | $2,3 \times 10^3$ |
| | 12 | <10 | $1,0 \times 10$ | $7,0 \times 10$ | $6,0 \times 10$ |
| 8 kGy | 0 | $1,0 \times 10$ | $1,7 \times 10^2$ | $1,4 \times 10^3$ | $5,8 \times 10^2$ |
| | 8 | <10 | $1,4 \times 10^2$ | <10 | $5,2 \times 10^2$ |
| | 12 | $4,0 \times 10$ | $3,0 \times 10$ | $4,0 \times 10$ | <10 |
| 10 kGy | 0 | <10 | $1,5 \times 10^2$ | $2,0 \times 10$ | $1,0 \times 10$ |
| | 8 | $4,1 \times 10$ | <10 | $8,0 \times 10^2$ | <10 |
| | 12 | $2,3 \times 10$ | $1,8 \times 10^2$ | <10 | $3,4 \times 10$ |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12, que encontra-se em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Bacillus cereus* é de $5,0 \times 10^2$ UFC. g^{-1} em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

A Tabela 44 revelou que a partir do 14º dia as amostras que receberam 0,8 e 12% de adição de linhaça e que não sofreram irradiação encontravam-se impróprias para o consumo, apresentando parâmetros microbiológicos superiores aos indicados pela legislação.

Na dose de 6 kGy, todos os tratamentos apresentaram parâmetros microbiológicos superiores ao da legislação no 21º dia, o mesmo aconteceu no período do 14º dia, com exceção da amostra que recebeu 8 de adição de linhaça.

Na dose de 8 kGy, a partir do 14º dia uma amostra apresentou-se imprópria para o consumo (0% de linhaça) e no 21º duas amostras apresentaram valores acima aos do recomendado pela legislação (0 % e 8 % de adição de linhaça).

Em relação à dose de 10 kGy, a amostra que recebeu 8% de adição de linhaça no apresentou valores acima aos do recomendado no 14º período.

Em vários momentos ocorreu aumento da contaminação mesmo com o aumento da dose de irradiação utilizada, esse fato pode ser explicado pelo fato das amostras não serem do mesmo lote do primeiro dia e também pela recontaminação.

Tabela 45. Quantidade UFC.g⁻¹ de bolores e leveduras de pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 4,0x10 | 2,0x10 ⁴ | 4,0x10 ⁶ | 7,0x10 ⁶ |
| | 8 | 1,2x10 ² | 5,5x10 ⁴ | 8,5x10 ⁶ | 8,9x10 ⁶ |
| | 12 | 1,0x10 | 7,2x10 ⁴ | 1,1x10 ⁷ | 1,5x10 ⁷ |
| 6 kGy | 0 | <10 | 7,0x10 | 4,5x10 | 1,0x10 ² |
| | 8 | <10 | 6,0x10 | 1,2x10 ² | 7,4x10 |
| | 12 | <10 | 2,0x10 | 7,0x10 | 2,7x10 ² |
| 8 kGy | 0 | 1,0x10 | 2,0x10 | 2,5x10 | 1,5x10 ² |
| | 8 | 2,5x10 ² | 2,0x10 ² | 2,5x10 ² | 9,1x10 ² |
| | 12 | 9,5x10 ² | 3,4x10 ² | 3,0x10 | 1,5x10 |
| 10 kGy | 0 | 1,0x10 | 1,0x10 ² | < 10 | <10 |
| | 8 | <10 | 1,0x10 | 1,9x10 ² | 2,0x10 |
| | 12 | 1,0x10 | 4,0x10 ² | 6,0x10 | 7,0x10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a Portaria 451, considerava-se aceitável para o consumo a presença de até $5,0 \times 10^3$ UFC. g⁻¹ de bolores e leveduras para pães e produtos de panificação (ANVISA, 1997).

As amostras que não sofreram irradiação apresentaram-se impróprias a partir do 14º dia. Todas as amostras que foram irradiadas apresentaram-se com valores de acordo com a referida legislação. O aumento da dose empregada provocou nas amostras tendência ao aumento do *shelf-life*.

Singer (2006) que estudou o efeito da radiação ionizante sobre as propriedades microbiológicas de farinha de trigo tratada com as doses de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kGy e armazenadas, observou 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. Para as amostras irradiadas observou-se que a contagem diminuiu ou se manteve muito baixa ao longo do período de armazenamento. Os resultados encontrados por Singer (2006) indicaram que o processo, além de ser eficiente para diminuir a carga microbiológica de cereais e derivados, foi capaz de manter o alimento seguro contra a contaminação microbiana durante longo período de armazenamento (9 meses).

Tabela 46. Quantidade de UFC. g^{-1} de *Staphylococcus coagulase* positiva em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 kGy | 0 | $7,0 \times 10$ | $2,0 \times 10^2$ | $3,0 \times 10^2$ | $2,0 \times 10^2$ |
| | 8 | $1,0 \times 10^2$ | $5,0 \times 10$ | $1,5 \times 10^2$ | $2,2 \times 10^2$ |
| | 12 | $1,6 \times 10^2$ | $6,0 \times 10$ | $6,0 \times 10$ | $5,0 \times 10$ |
| 6 kGy | 0 | < 10 | $2,0 \times 10$ | $2,0 \times 10$ | $3,0 \times 10$ |
| | 8 | <10 | $1,0 \times 10$ | <10 | < 10 |
| | 12 | <10 | < 10 | <10 | $1,0 \times 10$ |
| 8 kGy | 0 | <10 | $2,2 \times 10^2$ | <10 | < 10 |
| | 8 | <10 | $6,0 \times 10$ | <10 | < 10 |
| | 12 | <10 | $1,0 \times 10$ | $1,0 \times 10$ | <10 |
| 10 kGy | 0 | <10 | $1,0 \times 10$ | <10 | <10 |
| | 8 | < 10 | $2,0 \times 10$ | $5,0 \times 10$ | $1,0 \times 10$ |
| | 12 | < 10 | < 10 | < 10 | $1,0 \times 10$ |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12, que se encontra em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Staphylococcus coagulase* positiva é de $5,0 \times 10^2$ UFC. g^{-1} em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

Os resultados apresentados pela Tabela 46 indicaram que nenhuma amostra apresentou padrões microbiológicos superiores aos apresentados pela RDC nº 12, indicando assim que a irradiação foi eficiente para manter ou diminuir a carga microbiana nos produtos.

Hilsenrath (2005) observou diminuição na contagem de micro-organismos 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 micro-organismos aeróbios e bolores e leveduras em amostras de farinha de trigo irradiada a 1,0 kGy, em relação a amostras não irradiadas.

5.3 PÃO DE FORMA ELABORADO PELO MÉTODO “CONVENCIONAL”

5.3.1 Análises Químicas

5.3.1.1 Composição centesimal

A composição dos pães de forma elaborados pelo método “convencional” com diferentes porcentagens de linhaça é apresentada na Tabela 47.

Tabela 47. Composição centesimal em pão forma com diferentes porcentagens de linhaça

| | 0% Linhaça¹ | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| % Umidade | 29,68 ± 0,2 ^{2a} | 28,87 ± 0,0 ^b | 29,80 ± 0,3 ^a |
| % Carboidratos | 54,49 ± 0,1 ^a | 51,08 ± 0,1 ^b | 47,92 ± 0,1 ^c |
| % Proteínas | 7,70 ± 0,3 ^b | 8,69 ± 0,3 ^a | 9,02 ± 0,2 ^a |
| % Lipídeos | 2,86 ± 0,1 ^c | 4,63 ± 0,1 ^b | 5,26 ± 0,1 ^a |
| % Fibras Insolúveis | 2,07 ± 0,1 ^b | 2,44 ± 0,0 ^b | 3,41 ± 0,1 ^a |
| % Fibra Solúveis | 1,17 ± 0,1 ^b | 2,19 ± 0,0 ^a | 2,43 ± 0,0 ^a |
| % Cinzas | 2,03 ± 0,0 ^b | 2,10 ± 0,0 ^a | 2,16 ± 0,0 ^a |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na horizontal indicam diferença significativa (P<0,05).

Através da análise da Tabela 47, observou-se aumento significativo no teor de proteína, lipídeos, fibras solúveis e insolúveis e cinzas com a adição das sementes de linhaça triturada. O teor de carboidratos diminuiu com a adição de linhaça.

Moraes et al. (2010) que elaboraram bolos contendo quatro diferentes níveis de farinha de linhaça (5, 15, 30 e 45%) em substituição parcial da farinha de trigo, observaram que os componentes que apresentaram maiores variações quantitativas foram o de fibra alimentar, lipídeos e ácido linolênico.

5.3.1.2 Determinação de ácido fítico

Não foi detectado ácido fítico no pão de forma elaborado pelo método “convencional”. O mesmo ocorreu no pão francês e no pão de forma elaborado com pré-mistura. Os dados obtidos concordam com estudos conduzidos por Nayini e Markakis (1983) que verificaram o decréscimo de inositol fosfato e acréscimo de fosfato inorgânico (P_i), o qual é o produto final da quebra do ácido fítico pela enzima fitase. Isto se deve à ativação da fitase endógena durante o processo de fermentação.

Mohamed et al. (2010) estudaram o efeito da radiação sobre fatores antinutricionais de farinhas de milho elaboradas a partir de grãos com e sem a casca. Os resultados mostraram que o descascamento dos grãos combinados à cocção foram eficientes para a redução do teor

de fitato. Quando testado apenas o efeito da radiação, o resultado não foi eficiente, pois a dose aplicada foi inferior a 2 kGy, que é incapaz de provocar alterações no fitato. Porém, a radiação combinada com a cocção reduziu significativamente o teor de fitatos, cerca de 2,5 vezes.

El-Niely (2007) relatou que o processo de irradiação reduziu significativamente os níveis de ácido fítico e taninos em legumes e Toledo et al. (2007) observou diminuição nos fatores antinutricionais após a cocção de grãos de soja. Comprovando a eficiência do processo de irradiação e cocção na diminuição do teor de ácido fítico, como constatado para os pães.

5.3.1.3 Taninos

Não foi detectado tanino em nenhuma amostra. Os dados estão de acordo com os resultados encontrados no pão francês e no pão de forma elaborado com pré-mistura. Os resultados apresentados no presente estudo concordam com Egounlety e Aworth (2003), que não detectaram tanino em leguminosas fermentadas. Os pães foram adicionados de fermento, o que pode ter diminuído o teor de taninos a níveis que não puderam ser detectados pela metodologia utilizada.

5.3.1.4 Fenólicos totais

Também não foi detectado fenólicos totais em nenhuma amostra de pão de forma preparado pelo método “convencional”.

Strandas et al. (2008), analisaram glicosídeos fenólicos em 17 pães comerciais contendo linhaça em suas formulações. Esses autores analisaram os glicosídeos fenólicos das amostras usando o HPLC. Porém, em 3 das 17 amostras, os picos não foram observados no cromatograma. Em sementes de linhaça, os glicosídeos fenólicos podem ser analisados por hidrólise ácida. No entanto a pré-mistura de álcali com as amostras de pão contendo grandes quantidades de amido provocou o aumento da viscosidade das amostras, o que dificultou o tratamento da amostra. A interação com outros ingredientes também pode ter dificultado a identificação desses picos nos cromatogramas. Esses autores também identificaram variação considerável no conteúdo total dos glicosídeos fenólicos, sendo que em 2 tratamentos a quantidade foi inferior à dos outros pães e inferior à quantidade analisada anteriormente por Eliasson et al. (2003). A diferença no teor de glicosídeos fenólicos relatada nesses estudos para pode ser explicada pela variedade da linhaça adicionada aos pães ou pela distribuição desigual da linhaça nos mesmos.

No presente estudo, a interação entre os ingredientes utilizados para elaborar o pão, as condições de panificação e a dose de irradiação aplicada podem ter interferido na medida do teor dos fenólicos totais.

5.3.1.5 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante por DPPH e ABTS em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetido à irradiação são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48. Atividade antioxidante¹ em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade antioxidante ¹ por DPPH ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,14 \pm 0,01 ^{a2B3} | 0,11 \pm 0,02 ^{bB} | 0,17 \pm 0,00 ^{aA} |
| 6,0 | 0,04 \pm 0,02 ^{bA} | 0,16 \pm 0,00 ^{aA} | 0,17 \pm 0,09 ^{aA} |
| 8,0 | 0,12 \pm 0,03 ^{aA} | 0,08 \pm 0,01 ^{cAB} | 0,05 \pm 0,02 ^{bB} |
| 10,0 | 0,04 \pm 0,02 ^{bA} | 0,05 \pm 0,01 ^{cA} | 0,05 \pm 0,01 ^{bA} |
| Atividade antioxidante ¹ por ABTS ($\mu\text{mol TEAC.g}^{-1}$) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 5,33 \pm 0,51 ^{aB} | 6,71 \pm 0,64 ^{aA} | 5,45 \pm 0,41 ^{aAB} |
| 6,0 | 4,21 \pm 0,08 ^{bB} | 5,15 \pm 0,08 ^{bA} | 3,85 \pm 0,23 ^{bB} |
| 8,0 | 4,77 \pm 0,50 ^{abA} | 4,71 \pm 0,72 ^{bA} | 3,89 \pm 0,51 ^{bA} |
| 10,0 | 4,16 \pm 0,04 ^{bB} | 4,86 \pm 0,09 ^{bA} | 3,45 \pm 0,12 ^{bC} |

¹Os dados são a média de três repetições \pm desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

Em relação à atividade antioxidante expressa pelo radical DPPH, observou-se que a aplicação da irradiação promoveu a diminuição dessa atividade em todas as amostras, com exceção da que recebeu adição de 8% de linhaça e dose de 6 kGy e 0% de linhaça e dose de 8kGy. A baixa atividade antioxidante detectada nesses produtos pode estar relacionada a ausência de detecção de fenólicos totais.

A irradiação de alimentos é considerada uma técnica de esterilização segura, vários efeitos positivos podem ser alcançados, incluindo o aumento do *shelf-life*. Por outro lado, altas doses de radiação ionizante podem resultar em irreversíveis mudanças na estrutura química dos alimentos (POLOVKA; SUHAJ, 2010), causando aumento dos radicais livres.

Quanto à atividade antioxidante medida pelo radical ABTS, observou-se que entre a formulação que não recebeu a adição das sementes de linhaça, essa atividade foi significativamente menor nas amostras que receberam irradiação quando comparadas ao controle, o mesmo comportamento foi observado nas amostras que receberam adição de 8% e 12% de adição de linhaça.

De acordo com Pérez; Calderón e Croci (2007) a irradiação de ervas e especiarias resulta em aumento da formação de radicais orgânicos de origem e estrutura diferentes e diminui o conteúdo de alguns antioxidante, por exemplo, o ácido ascórbico, carotenóides ou ácidos fenólicos, o que provavelmente ocorreu com os pães irradiados

Quando comparou-se a atividade antioxidante por ABTS, levando em consideração as 3 porcentagens de linhaça em uma mesma dose de irradiação, observou-se que a amostra que recebeu 8% de adição de linhaça apresentou maior atividade antioxidante nas doses 0, 6 e 10 kGy.

5.3.1.6 Índice glicêmico

O índice glicêmico para os pães de forma elaborados pelo método “convencional” é apresentado na Tabela 49.

Tabela 49. Índice glicêmico em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Índice Glicêmico¹ | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 40,26 ± 0,01 ^{c2C3} | 40,54 ± 0,02 ^{cB} | 40,68 ± 0,03 ^{aA} |
| 6,0 | 40,36 ± 0,03 ^{bC} | 40,47 ± 0,02 ^{cB} | 40,60 ± 0,01 ^{bA} |
| 8,0 | 40,44 ± 0,02 ^{aC} | 40,94 ± 0,01 ^{aB} | 40,57 ± 0,01 ^{bA} |
| 10,0 | 40,46 ± 0,01 ^{aB} | 40,75 ± 0,04 ^{bA} | 40,70 ± 0,02 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

De acordo com a Tabela 49, o índice glicêmico medido nos pães de forma sem adição de linhaça e sem irradiação foi significativamente menor que as amostras que receberam irradiação.

Dentre as amostras que receberam 8 % de adição de linhaça a amostra controle e a que recebeu irradiação de 6 kGy apresentaram índice glicêmico significativamente menores que as

demais amostras. Entre as amostras que receberam adição de 12% de linhaça, as que receberam irradiação de 6 e 8 kGy apresentaram índice glicêmico inferior às demais.

Ao se comparar as amostras com as diferentes porcentagens de linhaça, observou-se que as amostras que não receberam adição de linhaça apresentaram menor índice glicêmico em todas as doses aplicadas, comportamento inverso ao observado no pão de forma laborado com pré-mistura e no pão francês.

Rolim et al. (2011) que elaboraram pães com diferentes níveis de farinha de yacon (6% e 11%) e analisou-os quanto ao índice glicêmico, observaram que o pão com 11% de farinha de yacon mostrou baixo índice glicêmico (IG=42), se assemelhando aos resultados encontrados pelo presente estudo.

De acordo com Padilha (2008), que desenvolveu bolos utilizando farinha de yacon (20 e 40%) em substituição parcial à farinha de trigo, encontrou índice glicêmico de 73,18 para o bolo padrão; 25,22 para o bolo com 20% de farinha de yacon e 17,16 para o bolo com 40% de farinha de yacon.

Segundo a classificação de Brand-Miller e Gilbertson, (2002) que segue a recomendação da American Diabetic Association (ADA, 2002), considera-se baixo o índice glicêmico para alimentos, quando este é menor ou igual a 55 e alto quando o índice glicêmico é maior ou igual a 70. De acordo com essa classificação, todos os tratamentos do presente estudo apresentaram índice glicêmico baixo. Estes resultados podem ser explicados pela fração da fibra presente na linhaça, além disso, as interações amido-lipídio e amido-proteína ocorridos durante o processamento térmico possivelmente interferiu no índice glicêmico (FRANZ et al., 2002; KELLEY, 2003).

Comparando-se os resultados do pão de forma padrão com a literatura, observou-se que o índice glicêmico encontrado nesse experimento foi inferior ao relatado por Wolever et al. (2004). Esses autores encontraram índice glicêmico para pães em torno de 70. As divergências nos resultados descritos são decorrentes dos diferentes ingredientes utilizados nas formulações, tempo e temperatura do processo térmico, dentre outros.

5.3.1.7 Determinação de ácidos graxos

O perfil dos ácidos graxos das amostras é apresentado na Tabela 50.

Tabela 50. Perfil de ácidos graxos determinados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Ácido Palmítico (%)¹ | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,73 ± 0,002 ^{a2A3} | 0,65 ± 0,01 ^{c B} | 0,64 ± 0,00 ^{cB} |
| 6,0 | 0,68 ± 0,03 ^{bC} | 0,75 ± 0,008 ^{b B} | 0,81 ± 0,005 ^{bA} |
| 8,0 | 0,76 ± 0,01 ^{aB} | 0,79 ± 0,01 ^{a AB} | 0,80 ± 0,01 ^{bA} |
| 10,0 | 0,77 ± 0,01 ^{aB} | 0,65 ± 0,006 ^{c C} | 0,87 ± 0,01 ^{aA} |
| Ácido Palmitoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,006 ± 0,001 ^{a2AB3} | 0,004 ± 0,00 ^{bB} | 0,007 ± 0,001 ^{cA} |
| 6,0 | 0,006 ± 0,001 ^{a A} | 0,006 ± 0,001 ^{aA} | 0,007 ± 0,001 ^{cA} |
| 8,0 | 0,003 ± 0,001 ^{abC} | 0,007 ± 0,00 ^{aB} | 0,012 ± 0,001 ^{bA} |
| 10,0 | 0,002 ± 0,001 ^{bB} | 0,004 ± 0,00 ^{bB} | 0,015 ± 0,001 ^{aA} |
| Ácido Esteárico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,50 ± 0,006 ^{c2B3} | 0,52 ± 0,005 ^{bA} | 0,46 ± 0,003 ^{cC} |
| 6,0 | 0,53 ± 0,002 ^{bB} | 0,52 ± 0,002 ^{bB} | 0,56 ± 0,013 ^{aA} |
| 8,0 | 0,46 ± 0,014 ^{dB} | 0,54 ± 0,013 ^{aA} | 0,54 ± 0,001 ^{aA} |
| 10,0 | 0,56 ± 0,006 ^{aA} | 0,52 ± 0,005 ^{bB} | 0,50 ± 0,006 ^{bB} |
| Ácido Oléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,75 ± 0,001 ^{c2B3} | 0,89 ± 0,013 ^{bA} | 0,91 ± 0,005 ^{dA} |
| 6,0 | 0,83 ± 0,005 ^{aC} | 0,92 ± 0,001 ^{aB} | 1,04 ± 0,002 ^{cA} |
| 8,0 | 0,72 ± 0,009 ^{dC} | 0,92 ± 0,019 ^{aB} | 1,22 ± 0,001 ^{aA} |
| 10,0 | 0,80 ± 0,007 ^{bC} | 0,86 ± 0,003 ^{cB} | 1,16 ± 0,024 ^{bA} |
| Ácido Linoléico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 1,38 ± 0,06 ^{b2A3} | 1,37 ± 0,4 ^{bA} | 1,26 ± 0,3 ^{dB} |
| 6,0 | 1,45 ± 0,6 ^{bB} | 1,44 ± 0,5 ^{a B} | 1,64 ± 0,7 ^{bA} |
| 8,0 | 1,63 ± 0,9 ^{a A} | 1,38 ± 0,8 ^{bB} | 1,57 ± 0,4 ^{c A} |
| 10,0 | 1,46 ± 0,7 ^{bB} | 1,37 ± 0,6 ^{bC} | 1,68 ± 0,9 ^{aA} |
| Ácido Linolênico (%)¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,059 ± 0,008 ^{b2C3} | 0,59 ± 0,028 ^{abB} | 0,85 ± 0,004 ^{cA} |
| 6,0 | 0,027 ± 0,005 ^{cC} | 0,55 ± 0,001 ^{bB} | 0,97 ± 0,074 ^{abA} |
| 8,0 | 0,064 ± 0,010 ^{abC} | 0,47 ± 0,007 ^{cB} | 1,07 ± 0,006 ^{aA} |
| 10,0 | 0,084 ± 0,004 ^{aC} | 0,60 ± 0,014 ^{ab} | 0,89 ± 0,048 ^{cA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Em relação ao ácido palmítico, observou-se que a amostra que recebeu dose de 6kGy apresentou menor valor desse ácido graxo entre as amostras que não receberam adição de

linhaça. Entre as amostras que receberam adição de 8% de linhaça, a dose de 10 kGy apresentou menor valor para esse nutriente. Já nas amostras que receberam adição de 12% de linhaça, a irradiação aumentou significativamente o teor desse nutriente quando comparada à amostra que não recebeu radiação.

Quanto ao ácido palmitoléico, a dose de 10 kGy apresentou menor teor desse nutriente tanto no grupo que não recebeu adição da linhaça, quanto o grupo que recebeu 8% de linhaça. Entre as amostras que receberam 12% de linhaça, a amostra controle e a que recebeu irradiação de 6 kGy foram as que apresentaram menor teor desse ácido graxo.

Em relação ao ácido esteárico, a aplicação da dose de 8 kGy no grupo que não recebeu adição de linhaça provocou diminuição significativa desse nutriente. Já entre as amostras que receberam adição de 8% de linhaça não houve diferença estatística entre as doses, com exceção da dose de 8 kGy que apresentou valor maior para essa substância. Entre as amostras que receberam adição de 12% de linhaça, a amostra que não recebeu irradiação apresentou teor significativamente menor desse ácido graxo. Comportamento semelhante foi observado em relação ao ácido oléico.

A dose de 8 kGy provocou diminuição no teor de ácido linoléico nas amostras que não receberam linhaça. Nos tratamentos que receberam 8% de linhaça, foi a dose de 6 kGy a responsável por provocar a queda no teor desse nutriente em relação às demais amostras. As amostras que receberam adição de 12% de linhaça e que foram irradiadas, apresentaram maior teor desse nutriente quando comparada a amostra que não sofreu irradiação.

Em se tratando do ácido linolênico, observou-se diminuição desse nutriente na amostra que foi irradiada com 6 kGy entre o grupo que não recebeu adição de linhaça. Entre as amostras que receberam 8% de adição de linhaça, a dose de 8 kGy provocou diminuição no teor do ácido linolênico e a amostra que não recebeu irradiação apresentou menor valor dessa substância entre as formulações que receberam 12% de adição de linhaça.

A adição da linhaça foi eficiente para elevar os teores do ácido oléico e do ácido linolênico em todas as doses aplicadas.

Mentes, Bakkalbas e Ercan (2008), elaboraram pães substituindo a farinha de trigo por sementes de linhaça moída nas porcentagens 10, 15, 20 e 25% e observaram que essa substituição foi positiva, aumentando significativamente o teor de ácido linolênico (de 5,37 % na amostra controle para 55,55% na amostra que recebeu 25% de substituição de farinha de trigo pela linhaça triturada).

5.3.1.8 Índice de acidez

O índice de acidez foi medido nos diferentes tratamentos e é apresentado na Tabela 51.

Tabela 51. Porcentagem de índice de acidez determinada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Porcentagem de Índice de acidez ¹ | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,29±0,15 ^{a2A3} | 0,15±0,05 ^{aA} | 0,18±0,05 ^{aA} |
| 6,0 | 0,29±0,00 ^{aA} | 0,17±0,00 ^{aB} | 0,16±0,00 ^{aC} |
| 8,0 | 0,42±0,00 ^{aA} | 0,19±0,00 ^{aB} | 0,14±0,00 ^{aC} |
| 10,0 | 0,36±0,09 ^{aA} | 0,21±0,05 ^{aAB} | 0,16±0,00 ^{aB} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

A Tabela 51 revelou que não houve diferença estatística entre as diferentes doses aplicadas nas diferentes porcentagens de linhaça estudadas. Houve diferença estatística quando se comparou as diferentes porcentagens de linhaça adicionada em uma mesma dose de irradiação. Na dose de 6, 8 e 10 kGy, a adição de linhaça provocou a diminuição do índice de acidez

De acordo com Stefanova et al. (2011), quanto maior o grau de insaturação maior é a sensibilidade à oxidação, sendo que o ácido linoléico e linolênico são os mais propensos à auto-oxidação. No entanto, os valores encontrados nesse estudo para o índice de acidez, indicam que o nível de oxidação de ácidos graxos poliinsaturados no pão foi baixa.

Silva (2003), que verificou o efeito de diferentes doses de irradiação (0; 3; 4,5 e 6 kGy) na estabilidade oxidativa de farinha de trigo, encontrou índice de acidez (%) entre 5,02% e 8,31%, resultados superiores ao encontrada na presente pesquisa, provavelmente devido a diferentes qualidades de ingredientes utilizados.

5.3.1.9 Teor de minerais

Os teores de macrominerais são apresentados na Tabela 52.

Tabela 52. Teor de macrominerais (mg.g^{-1}) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | P ¹ | K | Ca | Mg | S | Na |
|-----------|--------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0 kGy | 0 | 1,78±0,10 ^{b2} | 1,96±0,30 ^a | 1,48±0,20 ^b | 0,23±0,10 ^c | 1,20±0,20 ^a | 7,23±1,00 ^a |
| | 8 | 2,15±0,10 ^a | 2,38±0,40 ^a | 2,42±0,40 ^a | 0,43±0,10 ^b | 1,25±0,10 ^a | 7,48±0,40 ^a |
| | 12 | 2,13±0,10 ^a | 2,46±0,20 ^a | 1,85±0,30 ^{ab} | 0,60±0,00 ^a | 1,04±0,10 ^a | 6,29±0,20 ^a |
| 6 kGy | 0 | 1,80±0,10 ^a | 1,96±0,40 ^a | 1,45±0,10 ^b | 0,30±0,00 ^c | 1,19±0,10 ^a | 7,65±0,50 ^a |
| | 8 | 1,88±0,30 ^a | 2,38±0,10 ^a | 2,78±0,10 ^a | 0,40±0,00 ^b | 1,25±0,20 ^a | 6,97±0,80 ^a |
| | 12 | 2,06±0,10 ^a | 2,55±0,50 ^a | 1,75±0,20 ^b | 0,60±0,00 ^a | 1,04±0,10 ^a | 6,38±0,70 ^a |
| 8 kGy | 0 | 1,90±0,00 ^b | 2,21±0,20 ^a | 1,50±0,10 ^a | 0,30±0,00 ^c | 1,37±0,20 ^a | 7,99±1,00 ^a |
| | 8 | 1,90±0,10 ^b | 2,72±0,10 ^a | 1,33±0,10 ^a | 0,47±0,10 ^b | 0,93±0,10 ^b | 7,06±0,60 ^a |
| | 12 | 2,20±0,00 ^a | 2,46±0,30 ^a | 1,32±0,10 ^a | 0,60±0,00 ^a | 1,07±0,20 ^{ab} | 6,29±0,60 ^a |
| 10 kGy | 0 | 1,78±0,10 ^b | 2,04±0,00 ^a | 1,68±0,10 ^a | 0,30±0,00 ^b | 1,14±0,20 ^a | 7,91±0,40 ^a |
| | 8 | 1,78±0,20 ^b | 1,95±0,40 ^a | 1,48±0,20 ^a | 0,47±0,10 ^a | 1,06±0,20 ^a | 5,61±0,70 ^b |
| | 12 | 2,15±0,00 ^a | 2,55±0,30 ^a | 1,37±0,10 ^a | 0,53±0,10 ^a | 1,32±0,20 ^a | 6,55±0,40 ^b |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dependente do teor de linhaça adicionado ao pão ($P < 0,05$) para cada dose aplicada.

Observou-se aumento no teor de fósforo nas amostras que receberam linhaça, com exceção da amostra irradiada com 6kGy.

Não houve diferença estatística em relação ao potássio nas diferentes doses aplicadas.

Quanto ao cálcio, houve aumento desse nutriente nas amostras adicionadas de linhaça, que não recebeu irradiação e na dose de 6 kGy.

Observou-se acentuado aumento no teor de magnésio conforme a adição de linhaça, indicando ser esse grão rico em magnésio.

O mineral enxofre não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, com exceção do que recebeu 8% de linhaça e dose de 8kGy.

Quanto ao sódio, observou-se que a adição de linhaça e a irradiação de 10 kGy diminuiu significativamente o teor desse mineral.

De acordo com a TACO (UNICAMP, 2006), o teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio foram de: 1,05; 0,65; 1,56; 0,24; 0,22 mg.g^{-1} , respectivamente, para o pão de forma tradicional. De acordo com o atual estudo, os valores se assemelham ao pão controle apenas para fósforo, cálcio e magnésio.

Bhat et al. (2009) determinaram a composição mineral de farinha de semente de lótus tratada com radiação gama nas doses (0; 2,5; 5; 7,5; 10,15 e 30 kGy), observaram que não

houve diferença estatística em relação ao sódio, potássio, fósforo, magnésio. Quanto ao cálcio, as doses de 15 e 30 kGy apresentaram os menores teores para esse mineral, a amostra que não recebeu irradiação apresentou o maior teor e as amostras tratadas com 2,5; 5; 7,5 e 10 kGy não apresentaram diferença estatística.

Os teores de microminerais são apresentados na Tabela 53.

Tabela 53: Teor de microminerais ($\mu\text{g.g}^{-1}$) quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Cu ¹ | Fe | Mn | Zn |
|--------|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0 kGy | 0 | 2,36 ± 0,50 ^{b2} | 163,65 ± 4,50 ^a | 6,73 ± 1,80 ^b | 15,73 ± 0,70 ^b |
| | 8 | 3,00 ± 0,30 ^b | 114,25 ± 0,30 ^b | 8,70 ± 0,90 ^b | 18,60 ± 0,70 ^a |
| | 12 | 7,10 ± 0,10 ^a | 115,20 ± 1,60 ^b | 13,23 ± 0,60 ^a | 19,40 ± 0,30 ^a |
| 6 kGy | 0% | 2,77 ± 0,40 ^b | 115,65 ± 3,20 ^a | 6,87 ± 1,40 ^b | 16,07 ± 1,40 ^b |
| | 8% | 2,83 ± 0,40 ^b | 108,77 ± 2,10 ^b | 7,77 ± 1,10 ^b | 17,33 ± 0,90 ^b |
| | 12% | 6,97 ± 0,20 ^a | 111,25 ± 1,00 ^{ab} | 13,20 ± 0,40 ^a | 19,83 ± 0,20 ^a |
| 8 kGy | 0% | 2,47 ± 0,60 ^b | 115,40 ± 3,00 ^a | 7,43 ± 0,30 ^b | 16,33 ± 0,80 ^b |
| | 8% | 6,50 ± 0,20 ^a | 108,40 ± 1,30 ^b | 12,13 ± 0,80 ^a | 16,83 ± 1,70 ^b |
| | 12% | 7,07 ± 0,10 ^a | 109,20 ± 1,00 ^b | 13,03 ± 0,30 ^a | 19,97 ± 1,00 ^a |
| 10 kGy | 0% | 2,10 ± 0,40 ^b | 114,85 ± 2,60 ^b | 7,17 ± 0,70 ^b | 16,23 ± 0,10 ^b |
| | 8% | 6,43 ± 0,30 ^a | 113,70 ± 1,10 ^b | 11,57 ± 1,30 ^a | 19,03 ± 1,30 ^{ab} |
| | 12% | 8,03 ± 1,20 ^a | 124,00 ± 2,80 ^a | 13,07 ± 0,20 ^a | 22,20 ± 2,00 ^a |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

O teor do cobre, do manganês e do zinco aumentou significativamente com a adição de linhaça em todas as doses aplicadas. Comportamento inverso foi observado em relação ao mineral ferro, com exceção da amostra que recebeu adição de 12% de linhaça e dose de 10 kGy, que apresentou maior teor em comparação as demais amostras que receberam irradiação de 10 kGy.

De acordo com Moura (2008) que quantificou microminerais em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça (0, 3, 6 e 9%) não encontrou diferença estatística para o ferro, manganês e zinco. De acordo com esse autor, o teor de ferro variou entre 0,04 e 0,11 $\mu\text{g.g}^{-1}$, para o mineral manganês e zinco o teor foi de 0,01 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para todos os tratamentos. Esses valores foram inferiores ao encontrado no presente estudo.

De acordo com a Tabela de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2006) a composição de minerais em 100 g de semente de linhaça é de: 1,09 mg de cobre, 4,7 mg de ferro, 2,81mg de manganês e 4,4 mg de zinco.

5.3.1.10 Diálise de minerais “in vitro”

A Tabela 54 apresenta a disponibilidade de cálcio, magnésio, ferro e zinco para o pão de forma elaborado pelo método “convencional”.

Tabela 54. Porcentagem de disponibilidade de minerais quantificados em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Dose | % de linhaça | Ca | Mg | Fe | Zn |
|--------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0 kGy | 0 | 0,79±0,40 ^{1a2} | 1,63±0,70 ^{1a2} | 0,49±0,00 ^{1 a2} | 0,76±0,10 ^{1a2} |
| | 8 | 0,30±0,10 ^a | 1,02±0,40 ^a | 0,35±0,20 ^a | 0,51±0,30 ^a |
| | 12 | 0,39±0,00 ^a | 0,60±0,10 ^a | 0,26±0,00 ^a | 0,98±0,40 ^a |
| 6 kGy | 0% | 0,56±0,20 ^a | 0,76±0,20 ^{ab} | 0,45±0,20 ^a | 0,55±0,30 ^a |
| | 8% | 0,28±0,10 ^a | 0,98±0,20 ^a | 0,32±0,00 ^a | 0,59±0,10 ^a |
| | 12% | 0,29±0,00 ^a | 0,49±0,00 ^b | 0,41±0,20 ^a | 0,68±0,30 ^a |
| 8 kGy | 0% | 0,50±0,10 ^a | 0,87±0,20 ^a | 0,32±0,00 ^a | 0,50±0,00 ^a |
| | 8% | 0,53±0,00 ^a | 0,78±0,20 ^a | 0,45±0,20 ^a | 0,62±0,20 ^a |
| | 12% | 0,43±0,10 ^a | 0,60±0,10 ^a | 0,32±0,10 ^a | 0,60±0,20 ^a |
| 10 kGy | 0% | 0,38±0,00 ^a | 0,76±0,20 ^a | 0,43±0,20 ^a | 0,48±0,10 ^a |
| | 8% | 0,44±0,10 ^a | 0,57±0,20 ^a | 0,22±0,00 ^a | 0,43±0,00 ^a |
| | 12% | 0,43±0,00 ^a | 0,55±0,20 ^a | 0,42±0,30 ^a | 0,40±0,30 ^a |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Quanto a porcentagem de disponibilidade de minerais não observou-se diferença estatística para o cálcio, ferro e zinco quanto a adição de linhaça e as doses aplicadas.

Quanto ao elemento magnésio, a diferença estatística foi observada na dose de 6 kGy na amostra com 12% de adição de linhaça, que apresentou menor teor desse mineral em relação às demais amostras do mesmo grupo de dose.

Mohamed et al. (2010) estudou o efeito da irradiação na biodisponibilidade de cálcio e ferro de farinha de sementes inteiras. Esses autores não observaram diferença estatística entre as amostras controles e a irradiada, dados que coincidem com o presente estudo. Porém, a dose utilizada por Mohamed et al. (2010) foi inferior ao do presente estudo. A dose que esse autor usou foi de 20 Gy.

Geralmente os minerais não se degradam com a irradiação, mas uma mudança em seu estado de oxidação pode ocorrer devido ao processo de extração, dependendo do solvente utilizado. Outra razão para a queda na disponibilidade de alguns minerais pode ser devido à presença de antinutricionais em altas concentrações como (oligossacarídeos, oxalatos, inibidores de proteases, saponinas), que podem ser capazes de quelar os cátions minerais, formando complexos insolúveis, levando a redução da biodisponibilidade dos minerais. No

entanto, a diminuição de alguns minerais não deve ser impedimento para utilização da tecnologia da radiação, quando se considera aspectos relacionados a segurança (BHAT et al., 2009).

5.3.1.11 Vitaminas do complexo B

Os teores das vitaminas B₁, B₂ e B₆ são apresentados na Tabela 55.

Tabela 55. Teor de vitamina B₁, B₂ e B₆ quantificada em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Teor de Vitamina B₁ (mg. 100g⁻¹) | | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,038±0,002 ^{1a2A3} | 0,036±0,001 ^{aAB} | 0,033±0,000 ^{abB} |
| 6,0 | 0,032±0,000 ^{bA} | 0,029±0,001 ^{cB} | 0,029±0,001 ^{bB} |
| 8,0 | 0,031±0,001 ^{bA} | 0,033±0,001 ^{bA} | 0,027±0,000 ^{cB} |
| 10,0 | 0,032±0,001 ^{bA} | 0,030±0,000 ^{cbB} | 0,025±0,001 ^{dC} |
| Teor de Vitamina B₂ (mg.100g⁻¹) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,106 ± 0,001 ^{b2A3} | 0,082 ± 0,002 ^{abB} | 0,080 ± 0,003 ^{abB} |
| 6,0 | 0,069± 0,004 ^{dB} | 0,085± 0,001 ^{aA} | 0,077 ± 0,001 ^{bA} |
| 8,0 | 0,117± 0,003 ^{aA} | 0,083 ± 0,00 ^{abB} | 0,079 ± 0,001 ^{abB} |
| 10,0 | 0,082± 0,003 ^{cA} | 0,084 ± 0,002 ^{aA} | 0,085 ± 0,003 ^{aA} |
| Teor de Vitamina B₆ (mg.100g⁻¹) | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,173 ± 0,002 ^{bB} | 0,155 ± 0,006 ^{aC} | 0,200 ± 0,003 ^{aA} |
| 6,0 | 0,163 ± 0,004 ^{cB} | 0,121 ± 0,006 ^{bC} | 0,180 ± 0,006 ^{bA} |
| 8,0 | 0,124 ± 0,001 ^{dB} | 0,134 ± 0,004 ^{abB} | 0,151 ± 0,004 ^{ca} |
| 10,0 | 0,203 ± 0,002 ^{aA} | 0,128 ± 0,011 ^{bC} | 0,169 ± 0,005 ^{bB} |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

De acordo com a Tabela 55, o teor de vitamina B₁ diminuiu significativamente com a irradiação e com a adição de linhaça. Comportamento semelhante aconteceu com a vitamina B₂, com exceção da amostra que recebeu dose de 8 kGy no grupo que não recebeu adição de linhaça e com a amostra que recebeu dose de 10 kGy e adição de 12% de linhaça. As amostras que receberam adição de 8% de linhaça em suas formulações não apresentaram diferença estatística entre as doses.

Quanto ao teor de vitamina B₆, a irradiação diminuiu o teor desse nutriente em todos os tratamentos testados, com exceção do tratamento sem linhaça e irradiado com dose de 10 kGy.

De acordo com Kilcast (1994) a vitamina B₁ é a mais sensível à radiação, como constatado nos resultados apresentados na Tabela 55, dentre as vitaminas solúveis em água, porém a vitamina B₁ é mais sensível ao calor do que a irradiação.

A vitamina B₂ é encontrada especialmente em fígado, carne e produtos lácteos. Os produtos lácteos são mais sensíveis à radiação, porém, se o processo de irradiação for realizado com doses de até 40 kGy, em baixas temperaturas e sob atmosfera modificada as perdas da vitamina B₂ são minimizadas consideravelmente. (DONG; LEE; RASCO, 1989).

De acordo com Kilcast (1994) alimentos irradiados apresentaram aumento de até 25% nas concentrações de vitamina B₂, fato que pode ser explicado pela conversão de precursores para a vitamina ativa, induzido pela irradiação.

Estudos realizados com doses abaixo de 10 kGy em trigo, bacalhau e cavala encontraram pequenas perdas para vitamina B₆ (UNDERDAL et al. 1976 apud KILCAST, 1994).

5.3.2 Análises Físicas

5.3.2.1 Índice de cocção

Os resultados do índice de cocção do pão forma elaborado com ingredientes com e sem a adição de linhaça, estão apresentados na Tabela 56.

Tabela 56. Índice de cocção do pão forma com diferentes porcentagens de linhaça e submetidos à radiação gama.

| Tratamento | Peso Cru (g) | Peso Assado (g) | Rend. Assado (formas) | Índice de Cocção |
|-------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 0% | 2.260 | 1.981 | 4 | 0,88 |
| 8% | 2.392 | 2.104 | 4 | 0,88 |
| 12% | 2.400 | 2.152 | 4 | 0,90 |

A amostragem de cada tratamento (0%, 8% e 12% de adição de linhaça) foi composta por 4 formas de pão de forma, perfazendo um total de 12 formas. Foi destinados 1 unidade de pão para cada dose de irradiação (6, 8 e 10 kGy), inclusive para o controle (0 kGy). O índice de conversão (IC) que representa a relação entre o peso do alimento assado e o peso do alimento cru

variou entre 0,88 e 0,90. A diferença entre o peso cru e o peso depois do assamento variou entre 248 g e 288 g.

Os resultados da pesagem antes e depois da irradiação estão apresentados na Tabela 57.

Tabela 57: Peso do pão de forma antes e após à submissão da radiação gama

| Dosagem | 0% | | 8% | | 12% | |
|--------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Peso (g) Antes | Peso(g) Após | Peso (g) Antes | Peso (g) Após | Peso (g) Antes | Peso (g) Após |
| 0 kGy | 496 | 494,7 | 528 | 527,4 | 538 | 537,3 |
| 6 kGy | 491 | 489,9 | 525 | 524,3 | 534 | 532,8 |
| 8 kGy | 495 | 494,4 | 526 | 525 | 543 | 542,5 |
| 10 kGy | 499 | 498 | 525 | 524,2 | 537 | 536 |
| Total | 1.981 | 1.977 | 2.104 | 2.100,9 | 2.152 | 2.148,6 |

A diferença entre o peso do pão antes e depois de irradiá-lo foi pequena, essas diferenças devem-se ao fato da pesagem, que foi realizada em balanças diferentes. O peso antes da irradiação foi levantado na panificadora e o peso após irradiação foi levantado já no laboratório. Portanto não podendo ser comparados e considerados.

5.3.2.2 Volume

Os resultados do volume/deslocamento (mL) e volume específico do pão forma elaborado com ingredientes com e sem a adição de linhaça estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58. Volume específico encontrados no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Volume Específico (mL. g ⁻¹) | | | |
|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 5,29 ± 0,4 ^{a2A3} | 5,05 ± 0,2 ^{abA} | 4,68 ± 0,3 ^{aA} |
| 6,0 | 4,52 ± 0,7 ^{aAB} | 5,67 ± 0,4 ^{aA} | 4,39 ± 0,2 ^{aB} |
| 8,0 | 4,56 ± 0,4 ^{aA} | 4,73 ± 0,1 ^{bA} | 4,29 ± 0,4 ^{aA} |
| 10,0 | 4,45 ± 0,8 ^{aA} | 4,44 ± 0,5 ^{bA} | 4,38 ± 0,4 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Observou-se que não houve diferença estatística entre as doses aplicadas na formulação que não recebeu linhaça, o mesmo ocorreu com a formulação que recebeu adição de 12% de linhaça.

Entre as formulações que receberam 8% de linhaça, as amostras que receberam dose de 8 e 10 kGy diferiram estatisticamente das demais doses.

Mentes, Bakkalbas e Ercan (2008), estudaram em pão, o efeito da substituição da farinha de trigo por semente de linhaça moída nas concentrações de 10, 15, 20 e 25%. Esses autores observaram que nos pães com mais de 15% de linhaça o volume específico diminuiu.

Kowalski, Carr e Tadini (2002), encontraram volume específico entre 3,89 e 7,38 mL.g⁻¹ para pães comercializados em São Paulo, que concordam com os valores encontrados nesse estudo que foram entre 4,29 e 5,29.

5.3.2.3 Cor

Os resultados do croma do miolo e da casca do pão de forma elaborado pelo método “convencional” com e sem a adição de linhaça estão apresentados na Tabela 59.

Tabela 59. Cromo do miolo e da casca encontrado no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Croma do Miolo¹ | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 12,76 ± 0,7 ^{a2A3} | 10,00 ± 0,3 ^{bB} | 11,60 ± 0,4 ^{aA} |
| 6,0 | 12,03 ± 0,4 ^{abA} | 10,57 ± 0,1 ^{bB} | 12,24 ± 0,8 ^{aA} |
| 8,0 | 10,82 ± 0,5 ^{bA} | 11,96 ± 0,9 ^{aA} | 11,06 ± 1,0 ^{aA} |
| 10,0 | 12,00 ± 0,8 ^{abA} | 11,14 ± 0,3 ^{abA} | 11,56 ± 0,7 ^{aA} |
| Croma da Casca¹ | | | |
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 31,74 ± 0,7 ^{b2A3} | 32,28 ± 0,6 ^{bA} | 31,77 ± 0,2 ^{bA} |
| 6,0 | 32,68 ± 0,3 ^{bA} | 30,60 ± 0,4 ^{cB} | 28,53 ± 0,5 ^{cC} |
| 8,0 | 32,19 ± 0,6 ^{bA} | 32,51 ± 0,7 ^{bA} | 32,96 ± 0,5 ^{aA} |
| 10,0 | 34,17 ± 0,5 ^{aA} | 33,88 ± 0,2 ^{aA} | 30,80 ± 0,5 ^{bB} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letra maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Quanto ao croma do miolo não houve diferença estatística entre as doses aplicadas na formulação que não recebeu linhaça, com exceção da que recebeu dose de 8 kGy. Entre as formulações com 8 % de linhaça, as amostras que receberam as doses de 8 e 10 kGy apresentaram maior croma. Também não foi verificada diferença estatística entre as doses aplicadas nas formulações que receberam adição de 12%.

Quanto ao croma da casca, a dose de 10 kGy aplicada no tratamento que não recebeu adição de linhaça apresentou diferença estatística das demais, isso também ocorreu na amostra que recebeu 8% de adição de linhaça e foi irradiada com 10 kGy. Já no tratamento que recebeu adição de 12% de linhaça, a amostra que sofre irradiação de 8 kGy apresentou o maior valor e a que recebeu dose de 6 kGy apresentou o menor valor.

Moura (2008) expressou a medida de cor da casca e do miolo de pães de forma enriquecidos com grãos de linhaça e observou que esses pães apresentaram croma entre 12,32 e 14,76 para o miolo e 16,85 e 36,97 para a casca, que são semelhantes aos encontrados nesse estudo, que foi de 10,00 e 12,73 para o croma do miolo e 28,53 e 34,17 para o croma da casca.

5.3.2.4 Atividade de água

A atividade de água dos pães foi medida e os resultados para os diversos tratamentos são apresentados na Tabela 60.

Tabela 60. Atividade de água encontrada no pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Atividade de Água ¹ | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
| 0,0 | 0,83 ± 0,01 ^{a2A3} | 0,83 ± 0,01 ^{aA} | 0,81 ± 0,01 ^{aA} |
| 6,0 | 0,83 ± 0,00 ^{aA} | 0,83 ± 0,00 ^{aA} | 0,82 ± 0,01 ^{aA} |
| 8,0 | 0,84 ± 0,01 ^{aA} | 0,82 ± 0,01 ^{aA} | 0,82 ± 0,01 ^{aA} |
| 10,0 | 0,83 ± 0,00 ^{aA} | 0,83 ± 0,01 ^{aA} | 0,81 ± 0,02 ^{aA} |

¹Os dados são a média de três repetições ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça ($P < 0,05$), para cada parâmetro estudado.

A análise da Tabela 60 revelou que não houve diferença estatística entre as doses aplicadas em nenhuma formulação, também não houve diferença estatística quando se analisou as diferentes porcentagens de linhaça adicionada em função de uma mesma dose.

Liu et al. (2009) aplicaram energia de radio frequência em conjunto com ar quente convencional com a finalidade de aquecer uniformemente e controlar o desenvolvimento de mofo em pães pré-embalados. Esses autores observaram que os pães tratados apresentaram menor atividade de água do que os pães não tratados.

Considera-se a atividade de água igual a 0,60 como sendo o limite mínimo capaz de permitir o desenvolvimento de micro-organismos (CHISTÉ et al., 2007).

Os pães do presente estudo apresentaram atividade de água entre 0,81 e 0,84, os mesmos foram embalados em embalagem de polipropileno e permaneceram em temperatura ambiente até o momento da análise, isso pode ter favorecido a reabsorção da umidade do ambiente implicando em uma maior atividade de água.

5.3.3 Análise Sensorial

O perfil dos consumidores entrevistados está expresso na Tabela 61.

Tabela 61. Perfil dos entrevistados

| | | |
|----------|--------------|---------|
| Sexo | F | 96,95 % |
| | M | 3,04 % |
| Idade | 18 a 35 | 85,97 % |
| | 36 a 50 | 13,41 % |
| | Maior de 50 | 0,60 % |
| Tipo Pão | Pão Forma | 23,17 % |
| | Pão Francês | 67,68 % |
| | Pão Integral | 4,87 % |
| | Outros | 4,26% |

A Tabela 61 indicou que a maioria dos entrevistados era do sexo feminino, entre 18 e 35 anos e que preferem pão francês.

5.3.3.1 Teste de preferência

No teste de preferência dos pães de forma elaborado pelo método “convencional” foram obtidos os dados apresentados na Tabela 62.

Tabela 62. Média das notas atribuídas ao pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|-------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0,0 | 6,77±1,7 ^{1a2A3} | 6,82±1,8 ^{aA} | 6,66±2,0 ^{aA} |
| 6,0 | 6,66±1,7 ^{aA} | 5,59±2,5 ^{bB} | 5,38±2,6 ^{bB} |
| 8,0 | 6,80±1,8 ^{aA} | 5,24±2,4 ^{bB} | 6,01±2,2 ^{abAB} |
| 10,0 | 6,85±1,6 ^{aA} | 6,12±2,3 ^{abAB} | 5,73±2,6 ^{abB} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido a porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Em relação aos pães que não receberam linhaça em sua composição, a irradiação não provocou diferença estatística em função da dose aplicada.

As amostras que receberam adição de 8% de linhaça na formulação apresentaram diferença estatística para a amostra que não recebeu irradiação, os provadores atribuíram

maior nota para essa amostra em relação às demais. O mesmo aconteceu com os pães que receberam adição de 12% de linhaça.

Diferença significativa foi observada no grupo que não recebeu adição de linhaça e que recebeu irradiação nas doses 6, 8 e 10 kGy. Essas amostras receberam maior nota, quando comparou-se as 3 concentrações de linhaça em virtude de uma mesma dose de irradiação.

As notas atribuídas pelos entrevistados variaram entre 5,24 e 6,85 que correspondem as impressões “Indiferente” (nota 5), “Gostei ligeiramente” (nota 6) e “Gostei regularmente” (nota 7).

A Tabela 63 indica a distribuição das notas dos provadores.

Tabela 63. Distribuição das notas dos provadores segundo a escala hedônica

| Dose | % Linhaça | ESCALA | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Valores observados para a escala | | | | | | | | | | |
| 0 kGy | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 10 | 12 | 18 | 22 | 11 |
| | 8 | 2 | 2 | 2 | 0 | 09 | 13 | 19 | 24 | 11 |
| | 12 | 3 | 1 | 1 | 8 | 10 | 07 | 16 | 22 | 14 |
| 6 kGy | 0 | 0 | 03 | 2 | 04 | 9 | 12 | 27 | 13 | 12 |
| | 8 | 6 | 09 | 4 | 10 | 5 | 08 | 15 | 21 | 04 |
| | 12 | 5 | 13 | 6 | 07 | 7 | 10 | 12 | 13 | 09 |
| 8 kGy | 0 | 2 | 0 | 02 | 4 | 6 | 17 | 20 | 17 | 14 |
| | 8 | 2 | 14 | 10 | 9 | 6 | 07 | 15 | 14 | 05 |
| | 12 | 2 | 07 | 06 | 6 | 6 | 14 | 17 | 14 | 10 |
| 10 kGy | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 5 | 13 | 23 | 25 | 08 |
| | 8 | 2 | 9 | 2 | 8 | 6 | 10 | 16 | 19 | 10 |
| | 12 | 7 | 4 | 8 | 9 | 6 | 10 | 12 | 13 | 13 |

Na dose de 0 kGy , a maior concentração de provadores foi observada na nota 8 (Gostei muito) para as 3 formulações de pães com diferentes concentrações de linhaça. O mesmo comportamento se repete na dose de 10 kGy e na dose de 6kGy. Nesse último, apenas a formulação que não recebeu linhaça apresentou maior concentração de provadores para a nota 7 (Gostei regularmente), como para a dose de 8kGy.

5.3.3.2 Intenção de compra

A intenção de compra dos produtos foi avaliada através de escala hedônica, variando de 1 a 5. As médias das notas atribuídas pelos consumidores estão apresentados na Tabela 64.

Tabela 64. Média das notas atribuídas à intenção de compra do pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça submetidos à radiação gama.

| Doses (kGy) | 0% Linhaça | 8% Linhaça | 12% Linhaça |
|-------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0,0 | 3,67±1,1 ^{1a2A3} | 3,84±1,1 ^{aA} | 3,70±1,2 ^{aA} |
| 6,0 | 3,72±1,1 ^{aA} | 3,15±1,4 ^{bB} | 2,98±1,5 ^{bB} |
| 8,0 | 3,88±1,1 ^{aA} | 3,05±1,2 ^{bB} | 3,34±1,3 ^{abB} |
| 10,0 | 3,82±1,1 ^{aA} | 3,37±1,3 ^{abAB} | 3,27±1,5 ^{abB} |

¹Nota média ± desvio padrão; ²Letras minúsculas diferentes na vertical indicam diferença dose dependente (P<0,05), para cada parâmetro estudado; ³Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença devido à porcentagem de linhaça (P<0,05), para cada parâmetro estudado.

Quanto a nota atribuída pelos provadores em relação à intenção de compra dos produtos, a diferença estatística foi apontada para as amostras que não receberam irradiação, mas que foram acrescidas de linhaça com 8 e 12%, como as amostras preferidas pelos provadores.

As notas variaram entre 2,98 e 3,88 que significa que os provadores “Talvez comprasse, talvez não comprasse” (nota 3) ou que os provadores “Provavelmente compraria” (nota 4).

5.3.3.3 Análise Descritiva Quantitativa

Na Tabela 65 são apresentados os dados obtidos na ADQ

Tabela 65. Médias da equipe para os termos descritores da aparência, aroma, textura e sabor para os 5 tipos de pães avaliados

| Atributos | 0% linhaça e 0 kGy | 0% linhaça e 8 kGy | 0% linhaça e 10 kGy | 8% linhaça e 0 kGy | 12% linhaça e 0 kGy |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Aparência | | | | | |
| Característica | 8,94±0,90 ^{1a2} | 8,93±1,10 ^a | 9,15±0,80 ^a | 8,17±2,00 ^a | 8,79±1,30 ^a |
| Cor da Casca | 1,12±0,30 ^b | 1,33±0,40 ^b | 1,51±0,32 ^{ab} | 1,94±0,50 ^{ab} | 2,76±0,60 ^a |
| Aroma | | | | | |
| Característico | 9,41±0,70 ^a | 8,93±1,00 ^{ab} | 8,80±0,80 ^{ab} | 8,37±1,70 ^{ab} | 8,16±1,90 ^b |
| Fermento | 0,33±0,10 ^a | 0,58±0,12 ^a | 0,63±0,15 ^a | 0,53±0,13 ^a | 0,69±0,17 ^a |
| Manteiga | 0,95±0,20 ^a | 0,88±0,21 ^a | 0,85±0,21 ^a | 0,58±0,13 ^a | 0,43±0,17 ^a |
| Peixe | 0,35±0,10 ^a | 0,42±0,10 ^a | 0,48±0,10 ^a | 0,60±0,13 ^a | 0,80±0,17 ^a |
| Textura | | | | | |
| Característica | 9,11±0,80 ^a | 8,89±1,00 ^a | 8,96±0,80 ^a | 8,30±1,8 ^a | 8,37±1,20 ^a |
| Homogênea | 8,51±1,20 ^a | 8,30±1,20 ^a | 8,65±1,20 ^a | 8,92±0,90 ^a | 8,90±1,00 ^a |
| Maciez | 7,51±1,80 ^a | 7,42±1,85 ^a | 7,28±1,82 ^a | 6,92±1,73 ^a | 6,75±1,68 ^a |
| Firmeza | 2,79±0,76 ^a | 3,17±0,72 ^a | 2,82±0,69 ^a | 3,44±0,73 ^a | 3,34±0,71 ^a |
| Sabor | | | | | |
| Característico | 9,34±0,70 ^a | 8,56±1,10 ^b | 8,66±1,10 ^b | 7,77±1,90 ^c | 7,30±1,80 ^c |
| Fermento | 0,33±0,10 ^a | 0,57±0,12 ^a | 0,59±0,14 ^a | 0,58±0,14 ^a | 0,64±0,14 ^a |
| Adocicado | 0,90±0,20 ^a | 0,79±0,19 ^a | 0,84±0,21 ^a | 0,96±0,22 ^a | 0,92±0,23 ^a |
| Peixe | 0,23±0,10 ^b | 0,57±0,14 ^{ab} | 0,55±0,13 ^{ab} | 0,67±0,16 ^{ab} | 0,97±0,23 ^a |
| Amargo | 0,21±0,10 ^a | 0,21±0,10 ^a | 0,22±0,11 ^a | 0,25±0,16 ^a | 0,27±0,13 ^a |
| Manteiga | 1,09±0,20 ^a | 0,88±0,20 ^{ab} | 0,77±0,20 ^{ab} | 0,43±0,10 ^b | 0,30±0,10 ^b |

¹Média ± desvio padrão; ²Letras diferentes na horizontal indicam diferença significativa entre os tratamentos no nível de 5%.

De acordo com a Tabela 65, foram levantados 16 atributos, sendo que 11 não apresentaram diferença estatística entre as amostras. Os atributos que não apresentaram diferença estatística foram: “aparência característica”, “aroma de fermento”, “aroma de manteiga”, “aroma de peixe”, “textura característica”, “textura homogênea”, “maciez”, “firmeza”, “sabor de fermento”, “sabor adocicado” e “sabor amargo”.

Quanto à “cor da casca”, a amostra com 12% de linhaça sem irradiação apresentou a maior nota diferindo estatisticamente da amostra que não recebeu linhaça e não sofreu irradiação, que apresentou menor valor. O valor numérico atribuído a esse atributo, indica que os provadores consideraram todas as amostras com a cor da casca clara.

Os provadores indicaram pelas notas que o atributo “aroma característico” da amostra sem adição de linhaça e que não foi submetida à irradiação recebeu maior nota diferindo da amostra que recebeu adição de 12% de linhaça e que não foi irradiada.

A nota referente ao atributo “sabor característico” da amostra sem linhaça e sem irradiação diferiu estatisticamente das amostras que receberam adição de 8 e 12% de linhaça .

O “sabor de manteiga” apresentou diferença estatística entre a amostra que não receberam linhaça e as que receberam linhaça.

“Os atributos considerados indesejáveis como “aroma de fermento”, “aroma de manteiga”, “aroma de peixe”, “sabor de fermento”, “sabor de peixe”, “sabor amargo”, “sabor de manteiga” apresentaram notas baixas, sendo inferior ou igual a 1.

O “aroma de peixe”, “sabor de peixe”, “sabor amargo” foram identificados pelos provadores em função da adição da linhaça. A irradiação também pode ter auxiliado na percepção desses atributos, intensificando-os.

5.3.4 Análises Microbiológicas

Em relação aos coliformes 35°C e coliformes 45 °C o número mais provável por grama (NMP.g⁻¹) foi menor que 2 em todos os tratamentos e tempos analisados. Também não encontrou-se *Salmonella* em 25g em nenhum tratamento e em nenhum tempo analisado. A Resolução RDC nº 12 estabelece que para pães e produtos panificados deva haver ausência de *Salmonella* em 25g e que a tolerância de coliformes a 45°C é de 10² NPM (ANVISA, 2001). Os resultados encontrados para *Salmonella* e coliformes estão de acordo com a referida legislação.

As quantidades de unidades formadoras de colônia por grama (UFC.g⁻¹) de *Bacillus cereus*, bolores e leveduras e *Staphylococcus* coagulase positiva estão nas Tabelas 66, 67 e 68.

Tabela 66. Quantidades de UFC.g⁻¹ de *Bacillus cereus* em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 2,4x10 ² | 6,8x10 ³ | 6,8x10 ³ | 6,8x10 ³ |
| | 8 | <10 | 3,9x10 ³ | 3,9x10 ³ | 3,9x10 ³ |
| | 12 | <10 | 3,6x10 ³ | 3,6 x10 ³ | 3,6x10 ³ |
| 6 kGy | 0 | 1,0x10 | 1,5x10 ³ | 1,0x10 | 2,0x10 |
| | 8 | 1,0x10 | <10 | <10 | <10 |
| | 12 | 1,0x10 | 1,0x10 | <10 | <10 |
| 8 kGy | 0 | <10 | 1,0x10 | <10 | <10 |
| | 8 | 3,0x10 | <10 | <10 | <10 |
| | 12 | <10 | <10 | 6,2x10 ² | <10 |
| 10 kGy | 0 | <10 | <10 | 2,0x10 | <10 |
| | 8 | <10 | <10 | <10 | <10 |
| | 12 | <10 | <10 | <10 | <10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12, que encontra-se em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Bacillus cereus* é de 5,0x10² UFC.g⁻¹ em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

Observou-se que no 1º dia a maior contagem foi observada na amostra que não recebeu linhaça e que não recebeu irradiação. As amostras que receberam dose de 10 kGy não apresentaram crescimento desse micro-organismo. As amostras que receberam dose de 8 kGy também não apresentaram crescimento desse micro-organismo nas porcentagens que receberam 0 e 12% de adição de linhaça.

No 7º dia, os resultados mostraram que não houve crescimento nas amostras que foram tratadas com 8 e 10 kGy.

As amostras irradiadas, mostraram-se em conformidade com a legislação, com exceção da amostra que não recebeu linhaça e que sofreu irradiação de 6 kGy. As amostras não irradiadas apresentaram-se em desacordo com a legislação e imprópria para o consumo a partir do 7º dia após elaboração.

No 14º dia, as contagens permaneceram baixas em conformidade com a legislação, com exceção da amostra com 12% de linhaça e irradiada com 8 kGy.

No 21º dia, com exceção das amostras não irradiadas e da amostra controle irradiada com 6 kGy, as demais amostras analisadas nesse dia não apresentaram crescimento de *Bacillus cereus*.

Tabela 67. Quantidades de UFC/g de bolores e leveduras em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 2,0x10 | 6,6x10 ³ | 6,6x10 ³ | 6,6x10 ³ |
| | 8 | <10 | 1,5x10 ³ | 1,5x10 ³ | 1,5x10 ³ |
| | 12 | 2,0x10 | 7,9x10 ³ | 7,9x10 ³ | 7,9x10 ³ |
| 6 kGy | 0 | <10 | <10 | <10 | 8,0x10 ⁴ |
| | 8 | 1,0x10 | <10 | <10 | 2,0x10 |
| | 12 | 1,0x10 | 2,0x10 | 6,0x10 | 1,0x10 |
| 8 kGy | 0 | 1,0x10 | <10 | <10 | 6,0x10 ³ |
| | 8 | <10 | <10 | 1,0x10 | 1,0x10 |
| | 12 | <10 | <10 | <10 | <10 |
| 10 kGy | 0 | <10 | 1,0x10 | < 10 | <10 |
| | 8 | <10 | <10 | 4,1x10 ³ | <10 |
| | 12 | <10 | 1,0x10 | <10 | <10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a Portaria 451, considerava-se aceitável para o consumo a presença de até $5,0 \times 10^3$ UFC. g⁻¹ de bolores e leveduras para pães e produtos de panificação (ANVISA, 1997).

De acordo com a Tabela 67 observou-se que alguns resultados fogem da correlação aumento da dose e diminuição da contagem dos padrões microbiológicos. As amostras irradiadas com 10 kGy não apresentaram crescimento, o mesmo aconteceu com as amostras que receberam dose de 8 kGy, com exceção do tratamento que não levou adição de linhaça em sua formulação.

No 7º dia, duas amostras que não foram irradiadas (0 e 12% de linhaça) apresentaram contagem de bolores e leveduras superiores aos indicados pela legislação. A partir do 7º dia as amostras não irradiadas foram consideradas impróprias ao consumo.

No 21º dia, a amostra sem adição de linhaça porém irradiada com 6 kGy e com 8 kGy, apresentaram-se em desacordo com a referida legislação.

Tabela 68. Quantidades de UFC/g de *Staphylococcus* coagulase positiva em pão de forma com diferentes porcentagens de linhaça, submetido à radiação gama e analisado em diferentes tempos após elaboração.

| Dose | % Linhaça | 1º dia ¹ | 7º dia | 14º | 21º |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0 kGy | 0 | 4,0x10 | 1,3x10 ³ | 1,3x10 ³ | 1,3x10 ³ |
| | 8 | 2,0x10 | 2,9x10 ³ | 2,9x10 ³ | 2,9x10 ³ |
| | 12 | <10 | 4,6x10 ³ | 4,6x10 ³ | 4,6x10 ³ |
| 6 kGy | 0 | 2,0x10 | 3,5x10 ² | <10 | 2,0x10 |
| | 8 | 4,0x10 | 4,0x10 | 9,0x10 | < 10 |
| | 12 | <10 | < 10 | 3,0x10 | <10 |
| 8 kGy | 0 | <10 | <10 | <10 | 3,0x10 |
| | 8 | <10 | 1,0x10 | <10 | 3,0x10 |
| | 12 | <10 | <10 | 3,0x10 | 4,0x10 |
| 10 kGy | 0 | 1,0x10 | 8,0x10 | 2,0x10 | 8,0x10 |
| | 8 | 1,0x10 | <10 | 8,0x10 | <10 |
| | 12 | < 10 | < 10 | 1,3x10 ² | <10 |

¹Média de duas repetições analíticas

De acordo com a RDC nº 12, que encontra-se em vigor atualmente, a quantidade permitida para *Staphylococcus* coagulase positiva é de $5,0 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ em massas alimentícias, produtos semi elaborados, pães de batata, pães de queijo e massa de pizza (ANVISA, 2001).

Não foi observado novamente a correlação perfeita entre aumento da dose de irradiação e diminuição na contagem. Muito provavelmente este fato se deve as baixas contagens encontradas, o que pode ser explicado devido a contaminação pós irradiação e preparo, uma vez que essa bactéria é bastante sensível tanto a irradiação como ao tratamento térmico. Porém todas as amostras encontraram-se de acordo com a legislação.

No 7º dia, observou-se o efeito eficaz da irradiação, pois as amostras que passaram por esse processo, mesmo quando apresentaram crescimento estavam de acordo com a legislação (tolerância de até $5,0 \times 10^2$ UFC/g). Já as 3 amostras não irradiadas, apresentaram contagens de 10^3 UFC/g e portanto em não conformidade com a legislação.

No 14º dia as doses de irradiação não mostraram correlação com o crescimento da bactéria, uma vez que com 10 kGy os crescimento foram maiores para as 3 concentrações de linhaça, apesar disso todas as amostras que foram submetidas ao tratamento da irradiação apresentaram contagem desse padrão microbiológico em acordo com a legislação.

Essas oscilações nas contagens repetem-se também no 21º dia. Isso pode ser explicado pela possibilidade da recontaminação após o processo de irradiação, já que as amostras foram armazenadas em temperatura ambiente até o momento da realização da análise microbiológica. Outra explicação para a falta de correlação entre o aumento da dose e

diminuição na contagem dessa bactéria é que embora sejam pães de um mesmo lote de fabricação, as amostras analisadas não são as mesmas nos diferentes dias analisados.

O processo da irradiação em alimentos possui várias aplicações. Pode ser utilizado na desinfestação de insetos em cereais e farinhas. A irradiação pode também inibir o brotamento de tubérculos e bulbos, retardar o amadurecimento de frutas e vegetais, reduzir a carga microbiológica e melhorar as propriedades tecnológicas de alguns alimentos. Além disso, doses entre 10 e 50 kGy são utilizadas para atingir esterilização comercial, permitindo aos alimentos e estocagem a temperatura ambiente em embalagem adequada (THOMAS, 1988).

Doses elevadas (>10 kGy) esterilizam alimentos; doses médias (1-10 kGy) têm efeito de pasteurização, prolongando a vida útil de alimentos; doses baixas (<1 kGy) são eficazes no controle de parasitas em carnes frescas, retardam o envelhecimento de frutas frescas ou o amadurecimento de vegetais e ainda destroem insetos e parasitas de grãos de frutas (MIYAGUSKU et al., 2003).

As amostras que foram tratadas pelo processo de irradiação, apresentaram menor número de UFC de bolores (Tabela 68) em comparação às amostras não irradiadas. A diminuição no número de colônias desse micro-organismo aumentou o *shelf life* desses produtos.

5.3.5 Pesquisa de Opinião

5.3.5.1 Caracterização da amostragem

A caracterização das pessoas que participaram da pesquisa de opinião é apontada na Tabela 69.

Tabela 69. Caracterização do perfil dos entrevistados na pesquisa de opinião.

| | | | |
|--------------|---------------------|----|--------|
| Sexo | Masculino | 43 | 42,57% |
| | Feminino | 58 | 56,43% |
| Escolaridade | Até 4 série | 14 | 13,90% |
| | 5-8 série | 9 | 8,90% |
| | Ensino Médio | 15 | 14,80% |
| | Superior Incompleto | 52 | 51,50% |
| | Superior Completo | 8 | 7,90% |
| | Pós-Graduação | 3 | 3% |
| Renda | Sem Renda | 38 | 37,60% |
| | 1 salário | 30 | 29,70% |
| | 2-5 salário | 27 | 26,70% |
| | 5 -10 salário | 5 | 4,90% |
| | Acima de 10 | 1 | 0,99% |

Para se obter a opinião da população a respeito de produto irradiado, 101 pessoas foram entrevistadas, sendo 58 mulheres e 43 homens. A idade mínima encontrada entre os entrevistados foi de 17 anos e máxima 79 anos. Dentre os entrevistados 51,50% possuíam curso superior incompleto e 14,8% possuíam ensino médio completo. Em relação a renda, 37,6% dos entrevistados não possuíam renda própria e 29,7% relataram receber 1 salário mínimo e 26,7% relataram receber entre 2 e 5 salários mínimos.

O nível de conhecimento dos entrevistados a respeito da irradiação está apontado na Tabela 70.

Tabela 70. Nível de conhecimento dos entrevistados sobre o assunto irradiação

| Nível de conhecimento sobre o assunto | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Nenhum | 56 | 55,44 |
| Pouco | 26 | 25,74 |
| Bom | 18 | 17,82 |
| Amplio | 1 | 0,99 |

Observa-se que mais da metade dos entrevistados (55,44%) possui nenhum conhecimento sobre o assunto, 25,74% disse ter pouco conhecimento e apenas 17,82% acredita ter um bom nível de conhecimento sobre o assunto. Lembrando que mais da metade dos entrevistados possuíam nível superior incompleto.

Foi indagada aos entrevistados a finalidade da irradiação e as respostas estão apresentadas na Tabela 71.

Tabela 71. Respostas encontradas para a questão finalidade da irradiação

| Finalidade da irradiação | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|--|--|--------------------|
| Não sei | 55 | 54,45 |
| Aumentar o período de conservação de alimentos | 35 | 34,65 |
| Eliminar microorganismos | 8 | 7,92 |
| Modificá-lo | 1 | 0,99 |
| Danificar o alimento | 1 | 0,99 |
| Maior produção de sementes | 1 | 0,99 |

Dentre os entrevistados, 54,45% disseram não saber qual a finalidade da irradiação, 35,65% disseram que a irradiação serve para aumentar o período de conservação de alimentos e 7,92% disseram que a irradiação elimina microorganismos. Pode ser observado o desconhecimento sobre o processo de irradiação em mais da metade dos entrevistados.

Em relação ao aspecto que diz respeito ao consumo de produto irradiado, as respostas estão apontadas na Tabela 72.

Tabela 72. Respostas obtidas referentes à pergunta sobre consumo de produto irradiado

| Consumiria produto irradiado? | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|--------------------------------------|--|--------------------|
| Sim | 46 | 45,54 |
| Não | 40 | 39,60 |
| Não Sei | 9 | 8,91 |
| Talvez | 5 | 4,95 |
| Apenas de origem animal | 1 | 0,99 |

Dentre os entrevistados, 45,54% disseram que consumiriam um produto irradiado, porém 39,6% disseram que não consumiriam um produto irradiado e 8,91% se mostraram indecisos. Como não há conhecimento do processo pela maior parte dos entrevistados, ocorre o receio do consumo do alimento irradiado.

No questionário, foi levantada uma questão se alimento irradiado é o mesmo que alimento radiativo e as respostas estão apontadas na Tabela 73.

Tabela 73. Respostas à pergunta “alimento irradiado é o mesmo que alimento radiativo”

| Alimento irradiado é o mesmo que alimento radiativo? | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|---|--|--------------------|
| Sim | 10 | 9,90 |
| Não | 78 | 77,22 |
| Não Sei | 13 | 12,87 |

Quanto a essa questão, 77,22% responderam que alimento irradiado não é o mesmo que alimento radiativo e 12,87% mostraram-se indecisos. Isso demonstra que a maior parte dos entrevistados tem noção de que o alimento não é radioativo.

Quanto à pergunta “se a irradiação pode trazer prejuízos” a resposta está na Tabela 74.

Tabela 74. Respostas obtidas dos entrevistados referentes aos prejuízos gerados pela irradiação

| Irradiação pode trazer prejuízos? | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|--|--|--------------------|
| Sim | 36 | 35,64 |
| Não | 38 | 37,62 |
| Não Sei | 21 | 20,79 |
| Talvez | 6 | 5,94 |

Na opinião dos entrevistados, 37,62% acreditam que a irradiação não produz prejuízos, porém 35,64% acreditam que a irradiação pode provocar algum tipo de prejuízo. Observa-se grande proximidade entre essas duas respostas. Além disso, 20,79% mostraram-se indecisos quanto a essa pergunta. Há preocupação em relação à irradiação.

As respostas quanto ao ato de comprar um produto irradiado estão apontadas na Tabela 75.

Tabela 75. Intenção de compra dos entrevistados em relação a um produto irradiado

| Você compraria um produto irradiado? | Número de pessoas entrevistadas | Porcentagem |
|---|--|--------------------|
| Sim | 42 | 41,58 |
| Não | 40 | 39,60 |
| Não Sei | 12 | 11,88 |
| Talvez | 7 | 6,93 |

Dentre os entrevistados, 41,58% respondeu que compraria um produto irradiado e 39,60% não compraria um produto irradiado, a diferença entre essas duas respostas foi apenas 1,98% e o percentual de indecisos foi de 11,88%. Os produtos comercializados no mercado podem ter resistência dos consumidores à compra.

O grau de conhecimento dos entrevistados quanto ao símbolo que deve aparecer no rótulo de um alimento irradiado está apresentado na Tabela 76.

Tabela 76. Grau de conhecimento do símbolo de um alimento irradiado

| Conhece o símbolo de um produto irradiado? | Número de pessoas Entrevistadas | Porcentagem |
|---|--|--------------------|
| Sim | 11 | 10,89 |
| Não | 90 | 89,10 |

Grande parte dos entrevistados não conhece o símbolo de um alimento irradiado (89,10%) isso indica o baixo conhecimento dos entrevistados sobre o assunto e a necessidade de campanhas de esclarecimento sobre o assunto.

A última questão do questionário verificou se o entrevistado consumiria um produto irradiado se soubesse que a irradiação o tornaria mais seguro. As respostas estão na Tabela 77.

Tabela 77: Resposta a pergunta “você consumiria um produto irradiado se soubesse que isso o tornaria mais seguro”

| Consumiria um produto se soubesse que a irradiação o torna mais seguro? | Número de pessoas Entrevistadas | Porcentagem |
|--|--|--------------------|
| Sim | 83 | 82,17 |
| Não | 13 | 12,87 |
| Talvez | 4 | 3,96 |
| Não sei | 1 | 0,99 |

A maioria dos entrevistados (82,17%) disse que consumiria um produto irradiado se soubesse que a irradiação o torna mais seguro e 12,87% disseram que não consumiriam mesmo sabendo do benefício. Isso mostra resistência por parte de alguns entrevistados que desconfiam desse método de conservação de alimentos e não confiam no mesmo.

6 CONCLUSÕES

A adição de linhaça nas porcentagens utilizadas nessa pesquisa foram eficientes para aumentar o teor de fibras alimentares e o teor de lipídeos nas 3 formulações de pães.

A irradiação e o tempo de fermentação dos pães foram eficientes para diminuição dos fitatos e taninos ao ponto de não detectá-los pela metodologia empregada nesse estudo.

Os pães não irradiados apresentaram incremento em seu teor de fenólicos totais com a adição de linhaça em suas formulações. Porém, ao submeter às amostras que receberam adição de linhaça ao processo de irradiação, observou-se diminuição da capacidade antioxidante.

Os pães preparados pelas 3 formulações apresentaram índice glicêmico baixo.

Houve aumento no teor dos ácidos linoléico e linolênico de acordo com o aumento da porcentagem de linhaça adicionada aos pães.

O índice de acidez encontrado indicou que a irradiação não provocou oxidação lipídica significativa nas formulações pesquisadas.

A adição de linhaça foi eficiente para aumentar o teor de potássio, o de fósforo e o de magnésio. Porém a irradiação diminuiu o teor de vitamina B₁ e vitamina B₆ dos pães.

A irradiação não influenciou na qualidade dos pães obtidos, pois os pães apresentaram volume específico dentro da faixa sugerida pela literatura. Também não houve diferença estatística entre o croma da casca e do miolo.

A atividade de água encontrada é propícia para o desenvolvimento de bolores, mesmo nas amostras irradiadas.

Os provadores não treinados aceitaram os pães independentemente da dose de radiação aplicada.

A análise descritiva quantitativa evidenciou que as características sensoriais das amostras são dependentes da variação dos ingredientes utilizados nas formulações e da irradiação. Os atributos que poderiam ser considerados indesejáveis pelos provadores treinados foram quantificados com notas baixas, não comprometendo a aceitação dos produtos pelos provadores.

As contagens dos padrões microbiológicos encontradas nesse estudo estão de acordo com a legislação. As amostras irradiadas apresentaram contagens de bolores consideravelmente mais baixas que as amostra não irradiadas.

A pesquisa de opinião revelou que a maioria dos entrevistados tem pouco ou nenhum conhecimento sobre irradiação e acreditam que a irradiação pode trazer algum tipo de prejuízo ao humano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Portaria 451**, de 19 de setembro de 1997. Estabelece padrões microbiológicos e sanitários para alimentos. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/451_97.htm. Acesso em: 28 jul. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Resolução RDC nº 90**, de 18 de outubro de 2000. Aprova o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 26 de ago. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Resolução - RDC nº 12**, de 2 de janeiro de 2001. Estabelece padrões microbiológicos e sanitários para alimentos. Disponível em: www.anvisa.gov.br/legis/index_ato.htm. Acesso em: 28 jan. 2011.

AGTE, V. V.; JOSHI, S. R. Effect of traditional food processing on phytate degradation in wheat and millets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 5, p. 1659-1661, 1997.

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION - ADA. Evidencebased nutrition principles and recommendations for the treatment and prevention of diabetes and related complications. **Diabetes Care**, v. 25, n. 1, p. 202-12, 2002.

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.

ANDERSON, D. Antioxidant defences against reactive oxygen species causing genetic and other damage. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 350, n. 1, p. 103-108, 1996.

ANDREWS, L. S. et al. Food preservation using ionizing radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 154, p. 1-53, 1998.

ANJO, D. F. C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, Jaraguá do Sul, v.3, n.2, p.145-154, jun. 2004.

ARAÚJO, M. S. O início da panificação: a história do pão. In: ARAÚJO, M. S. **Falando de panificação**. São Paulo: BT Consultores e Editores, 1996. 229 p.

ARGÚNDEZ-ARVIZU, Z. et al. Gamma radiation effects on commercial Mexican bread making wheat flour. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 245, n. 2, p. 455-458, 2006.

ASP, N. G.; JOHANSSON, C. G.; HALLMER, H. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.31, p. 476-482, 1983.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. Washington, D.C.: AOAC, 1995. 1 v.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**: official method 989. 17. ed. Washington, D.C.: AOAC, 2000. 1 v.

AZIZ, N. H.; SOUZAN, R. M.; SHAHINAZZA, A. Effect of g-irradiation on the occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 64, p. 1555-1562, 2006.

BAO, J. S.; CORKE, H. Pasting properties of gama-irradiated rice starches as affected by pH. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 2, p. 336-341, 2002.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; RODRIGUES, 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...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 4013-4017.

BATTOCHIO, J. R. Perfil sensorial de pão de forma integral. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 428-433, 2006.

BENNETT, R.W.; BELAY, N. *Bacillus cereus*. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2001. Chap. 32, p. 311-316.

BERGER, G.; SAINT-LÉBE, L. Test of the irradiation of corn starch based on the use of 2 thiobarbituric acid. **Starke**, v. 21, n. 8, p. 205, 1969.

BEUCHAT, L. R.; COUSIN, M. A. Yeasts and molds. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2001. Chap. 20, p. 209-215.

BHAT, R. et al. Influence of γ -radiation on the nutritional and functional qualities of Lotus seed flour. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 9524–9531, 2009.

BIBLE, B. B.; SINGHA, S. Copy position influences CIELAB coordinates of peache color. **HortScience**, Alexandria, v.28, p. 175-178, 1999.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v.37, p. 911-917, 1959.

BOHM, V. et al. Trolox equivalent antioxidant capacity of different geometrical isomers of α -carotene, β -carotene, lycopene, and zeaxanthin, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 221-226, 2002.

BRAND-MILLER, J.; GILBERTSON, H. Practical aspects of meal planning using the glycemic index. In: WORKSHOP OF GLYCEMIC INDEX AND HEALTH: the Quality of the Evidence, 2002, Bandol, France. **Proceedings...** Bandol: FAO/Danone Vitapole, 2002.

BRANDT, L. **Emulsifiers in baked goods**: applications. Disponível em: <http://www.foodproductdesign.com/archives/1996/0296AP.html>. Acesso em: 20 ago. 2011.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BYUN, M. W. et al. Physicochemical properties of soybean oil extracted from gamma irradiated soybeans. **Radiations Physics Chemistry**, v.47, n. 2, p. 301-304, 1996.

CALUCCI, L. et al. Effects of gamma-irradiation on the free radical and antioxidant contents in nine aromatic herbs and spices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 927-934, 2003.

CARDOZO, L.F.M.F. et al. Consumo de semente de linhaça durante a lactação afeta peso e nível de hemoglobina na prole de ratas. **Jornal Pediátrico**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 2, p. 126-130, 2010.

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

CARUSO, L.; MENEZES, E. W. Índice glicêmico dos alimentos. **Nutrire**, v. 19/20, p. 49-63, 2000.

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

CHISTÉ, R. C. et al. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27 n. 2, 2007.

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

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

CONFORTI, F. D.; DAVIS, S. F. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, Suppl. 2, p. 95-101, Dec. 2006.

CUNNANE, S.C. et al. High linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. **British Journal Nutrition**, v. 69, p. 443-453, 1993.

CUNNANE, S.C. et al. Nutritional attributes of traditional flaxseed in healthy young adults. **American Journal Clinical Nutrition**, v.61, n.1 p.62-68, 1995.

DA COSTA, M. C.; DELIZA, R.; ROSENTHAL, A. Revisão: tecnologias não convencionais e o impacto no comportamento do consumidor. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimento**, v. 17, n. 2, p. 187-210, 1999.

DAMIANI, D.; DAMIANI, D.; OLIVEIRA, R. G. Obesidade: fatores genéticos ou ambientais?. **Pediatria Moderna**, v. 38, n. 2, p. 31-39, 2002.

DELLA TORRE, J. C. M. et al. Perfil sensorial e aceitação de suco de laranja pasteurizado minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 105-111, 2003.
DEL MASTRO, N. L. Development of food irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

DESCHREIDER, A. R. Changes in starch and its degradation products on irradiating wheat flour with gamma rays **Starch/Staerke**, v. 12, p. 197, 1960.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 454p.

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

DONG, F. M.; LEE, C. J.; RASCO, B. A. Effects of gamma irradiation on the contents of thiamin, riboflavin, and vitamin B₁₂ in dairy products for low microbial diets. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 13, p. 233-244, 1989.

EGGUM, B.O. The nutritional value of rice in comparison with other cereals. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1959, Manilla, Philippines, **Proceedings...** Manilla: AACC, 1959, p. 91-111.

EGOUNLETY, M.; AWORH, O. C. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 249-254, 2003.

EL-DASH, A. A. **Fundamentos da tecnologia de panificação: tecnologia agroindustrial**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1986. 347 p.

EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C. O.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 349 p. (Série Tecnologia Agroindustrial).

EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C.; MANCILLA, N. **Fundamentos de química e controle de qualidade de cereais**. Fortaleza: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1985. 187 p.

ELIASSON, C. et al. High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinol diglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction. **Journal of Chromatography A**, v. 1012, n. 2, p. 151-159, 2003.

EL-NIELY, H. F. G. Effect of radiation processing on antinutrients, in-vitro protein digestibility and protein efficiency ratio bioassay of legume seeds. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1050-1057, 2007.

ESCOUTO, L. F. S. Elaboração e avaliação sensorial de pré-mistura de massa para pão sem glúten a partir de derivados energéticos de mandioca. 2004. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

ESTELLER, M. S. et al. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 602-607, out-dez. 2004.

ESTELLER, M. S.; LIMA, A. C. O.; LANNES, S. C. S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. **Food Science and Technology International**, v. 39, p. 184-187, 2006.

ESTÉVEZ, M.; CAVA, R. Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver patê. Facultad de Veterinaria. Universidad de Extremadura. Tecnologia de los alimentos, Spain. **Meat Science**, Barking, n. 68, p.551-558, 2004.

FARIA, E. V.; YOTSUYANAGI, K. **Técnicas de análise sensorial**. Campinas: ITAL, 2002. 116 p.

FARKAS, J.; ANDRÁSSY, É. Decrease of bacteria spoilage of bread by low-dose irradiation of its flour. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Combination process in food irradiation**. Vienna: IAEA, 1981. p. 81-94.

FARKAS, J. Irradiation as a method for decontamination food: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 44, p. 189-204, 1998.

FAUST, M.; MASSEY, L. M. The effect of ionizing radioation on starch breakdown in barley endosperm. **Radiation Research**, v. 29, p. 33, 1966.

FERREIRA, P. B. M; WATANABE, E.; BENASSI, V. T. Estudo do processo de produção de pão francês pré-assado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 1, p. 91-95, 1999.

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.

FORTOUL, R. A.; ROSELL, C. M. Physico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. **Food Science and Technology**, Davis, v. 44, n. 1, p. 631-636, 2011.

FOSTER-POWELL, K.; HOLT, S. H. A.; BRAND-MILLER, J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 55-56, 2002.

FRANZ, J. P. et al. Evidence-Based nutrition principles and recommendations for the treatment and prevention of diabetes and related complications. **Diabetes Care**, v. 25, p. 1486, 2002.

FREITAS, R. E.; STERTZ, S. C.; WASZCZYNSKYJ, N. Viabilidade da produção de pão, utilizando farinha mista de trigo e mandioca em diferentes proporções. **Boletim do Centro de Pesquisa Agropecuária do Paraná**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 197-208, 1997.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA – FUNDEP. 2004. **Irradiação com raios gama**. Disponível em: www.fundep.ufmg.br. Acesso em: 22 mar. 2011.

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 99-108, 2003.

GIBSON, R. A.; MAKRIDES, M. n-3 polyunsaturated fatty acid requirements of term infants. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, n. 71, p. 251-255, 2000.

GONI, I. et al. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v.17, n. 3, p. 427-437, 1997.

GRANT, L. A.; D'APPOLONIA, B. L. Effect of low level gamma radiation on water-soluble non-starchy polysaccharides isolated from hard red spring wheat flour and bran. **Cereal Chemistry**, v. 68, p. 651, 1991.

GRAY, J. I.; GOMAA, E. A.; BUCKLEY, D. J. Oxidative quality and shelf life of meat. **Meat Science**, v. 43, supl.1, p. 111-123, 1996.

GRYNSPAN, F.; CHERYAN, M. Phytate-calcium interaction with soy protein. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 66, n. 1, p. 93-97, 1989

GUTKOSSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia**: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. 192 p.

GUTKOSKI, L. C.; JACOBSEN NETO, R. Procedimento para teste laboratorial de panificação: pão tipo forma. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873-879, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; SANTOS, E. Estudo de formulação na produção de pão Francês congelado não fermentado. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 3, p. 347-352, 2004.

GUTKOSKI, L. C. et al. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 27, n. 2, p. 355-363, 2007.

HAFEZ, Y. S. et al. Effect of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1271, 1985.

HALL III, C. A. et al. Stability of α -Linolenic Acid and Secoisolariciresinol Diglucoside in Flaxseed-Fortified Macaroni. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 8, p. 483-489, 2005.

HALLIWELL, B. Free radicals and antioxidants: a personal view. **Nutrition Reviews**, New York, v. 52, n. 8, p. 253-265, 1994.

HANIS, T.; MUNKOVA, J. Radiation and heat induced changes in content (FAO contents of vitamin A and acid and peroxide values) in cereal-based mixtures during storage. In: INTERNATIONAL CONFEDERATION OF FOOD SCIENCE TECHNOLOGY, 1985, Manilla. **Proceedings...** Manilla: IAEA, 1985. 24 p.

HARTUNG, T. E; BULLERMAN, L. B; ARNOLD, R. G; HEIDELBAUGH, N. D. Application of low dose irradiation to a fresh bread system for space flights. **Journal of Food Science**, v. 38, p. 129-132, 1973.

HASHIM, I. B., RESURRECCION, A. V. A., McWATTERS, K. H. Consumer attitudes toward irradiated poultry. **Food Technology**, v. 50, n. 3, p. 77- 80, 1996.

HENSON, S. Demand-side constraints on the introduction of new food technologies: the case of food irradiation. **Food Policy**, v. 20, n. 2, p. 111-127, 1995.

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

HOFFMANN, F. L. Fatores limitantes à proliferação de micro-organismos em alimentos. **Brasil Alimentos** , São José do Rio Preto, n. 9, 2001.

HUNG, P. V. Total phenolic compounds and antioxidant capacity of wheat graded flours by polishing method. **Food Research International**, v. 42, p. 185–190, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estudo Nacional da Despesa Familiar**: tabela de composição de Alimentos. Brasília: IBGE, 1999. 137 p.

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

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION - ICGFI. **Code of good irradiation Practice for Insect Desinfestation of Cereal Grains**. Viena: ICGFI, 1991. 9 p. (ICGFI Document, 3).

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION - ICGFI. **Training manual on operation of food irradiation facilities**. Viena: ICGFI, 1992. 216 p. (ICGFI Document, 14).

JUMP, D. B. The biochemistry of n-3 polyunsaturated fatty acids. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 11, p. 8755-8758, 2002.

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

KELLEY, D. E. Sugars and starch in the nutritional management of diabetes mellitus, **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, p. 858-864, 2003.

KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chemistry**, v. 49, p. 157-164, 1994.

KITTS, D.D. et al. Antioxidant activity of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglycoside and its mammalian lignan metabolites enterodiol and enterolactone. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 202, p. 99-100, 1999.

KORNACKI, J. L.; JOHNSON, J. L. Enterobacteriaceae, coliforms and *Escherichia coli* as quality and safety indicators. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (ed.). Compendium of methods for the microbiological examination of foods, 4. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2001. Chap. 8, p. 69-82.

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...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 3133-3136.

KRIS-ETHERTON, P.; HARRIS, W. S.; APPEL, L. J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. **Circulation**, v. 106, n. 21, p. 2747-2757, 2002.

LAAKSONEN, T. J. **Effects of ingredients on phase and state transitions of frozen wheat doughs**. 2001. 76 p. Dissertation (Academic) - Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, Helsinki, 2001.

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.

LAMPE, J. W. et al. Urinary lignan and isoflavonoid excretion in premenopausal women consuming flaxseed powder. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 60, p. 122-128, 1994.

LAMBERT, J. L. et al. The attitudes of European consumers toward innovation in bread; interest of the consumers toward selected quality attributes. **Journal of Sensory Studies**, v. 24, p. 204- 219, 2009.

LANDGRAF, M. **Fundamentos e perspectivas da irradiação de alimentos visando o aumento de sua segurança e qualidade microbiológica**. 2002. 87 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LANCETTE, G. A.; BENNETT, R.W. *Staphylococcus aureus* and staphylococcal enterotoxins. In: DOWNES, F. P.; ITO, K. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**, 4. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2001. Chap. 39, p. 387-403.

LEE, S. C. et al. Effect of gamma irradiation on viscosity reduction of cereal porridges for improving energy density. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 77, n. 3, p. 352-356, 2008.

LEMOIS, M. C. C. et al. Glycemic index of tropical fruits in normal individuals, patients with type 2 diabetes and patients with impaired glucose tolerance. **Anais da Faculdade Médica**, Universidade Federal do Pernambuco, v. 74, n. 1, p. 50-53, 2002.

LEÓN, A. E.; DURÁN, E.; BARBER, C. B. Utilization of enzyme mixtures to retard bread crumb firming. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 6, p. 1414-1419, 2002.

LIMA, K.S.P. et al. Efeito da irradiação ionizante na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota* L.) cv. Nantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 202-208, 2001.

LIU, Y. et al. Comparison between combined radio frequency and hot air treatment and hot air treatment on bread freshkeeping. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 25, n. 9, p. 323–328, 2009.

LUSK, J. L.; FOX, J. A.; McILVAIN, C. L. Consumer acceptance of irradiated meat. **Food Technology**, v. 53, n. 3, p. 56-59, 1999.

LUTEN, J. et al. Interlaboratory trial on the determination of the in vitro iron dialysability from food. **Journal of Science of Food and Agriculture**, n. 72 p. 415-424, 1996.

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. II. Effects on dough and baking properties. **Cereal Chemistry**, n. 60, p. 456-460, 1983.

MACHADO, L. M. P. **Pão sem glúten**: otimização de algumas variáveis de processamento. 1996. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MACIEL, L. M. B.; PONTES, D. F.; RODRIGUES, M. C. P. Efeito da adição de farinha de linhaça no processamento de biscoito tipo cracker. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 385-392, 2008.

MANDASESCU, S.; MOCANU, V.; DASCALITA, A. M. Flaxseed supplementation in hyperlipidemic patients. **Revista Medico-Chirurgical a Societatii de Medici si Naturalisti din Iasi**, v. 109, n. 3, p. 502-506, 2005.

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, n. 2, p. 163-168, 2002.

MARSH, D. Mixing and dough processing. In: CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. *Technology of breadmaking*. London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 81-119.

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

MAYES, P. A. Metabolism of unsaturated fatty acids & eicosanoids. In: MURRAY, R. K.; GRANNER, D. K.; MAYES, P. A.; RODWELL, V. W. (ed). **Harper biochemistry**, Stamford: Appleton & Lange, 1996. p. 236-244.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.

MENTES, O.; BAKKALBASSI, E.; ERCAN, R. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 4, p. 299-306, 2008.

MILNER, M. Technological effects of gamma-irradiation on wheat. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOCHEMISTRY, 5., 1961, Moscow. **Proceedings...** New York: Pergamon Press, 1961.

MIYAGUSKU, L. et al. Avaliação microbiológica e sensorial da vida útil de cortes de peito de frango irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, supl. 7-16, 2003.

MOHAMED, E. A. et al. Effect of radiation process on antinutrients and HCl extractability of calcium, phosphorus and iron during processing and storage. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 79, p. 791-796, 2010.

MOLENA-FERNANDES, C. A. et al. Avaliação dos efeitos da suplementação com farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) marrom e dourada sobre o perfil lipídico e a evolução ponderal em ratos Wistar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 201-207, 2010.

MONRO, J. A.; SHAW, M. Glycemic impact, glycemic glucose equivalents, glycemic index, and glycemic load: definitions, distinctions, and implications. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, p. 237-243, 2008.

MONTEIRO, M. A. A. Caracterização sensorial da bebida de café (*Coffea arabica* L.): análise descritiva quantitativa, análise tempo-intensidade e testes afetivos. 2002. 157 p. Tese (Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MORAES, E. A. et al. Avaliação sensorial e valor nutricional de bolos preparados com farinha integral de linhaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 974-979, 2010.

MORESCHI, E. C. P. **Desenvolvimento e validação de métodos cromatográficos e avaliação da estabilidade de vitaminas hidrossolúveis em alimentos**. 2006. 222 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MOURA, N. C. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça**. 2008. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SILVA, A. G. Elaboração de rótulo nutricional para pães de forma com adição de diferentes concentrações de linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 1, p. 149-155, 2009.

NABESHIMA, E. H. et al. Propriedades tecnológicas e sensoriais de pães fortificados com ferro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 506-511, 2005.

NAKAMURA, M.; KURATA, T. Effects of L-ascorbic acid on the rheological properties of wheat flour dough. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 647-650, 1997.

NAM, K. T. et al. Influence of dietary supplementation with linseed and vitamin E on fatty acids, tocopherol and lipid peroxidation in muscles of broiler chicks. **Animal Feed Science Technology**, v. 66, n. 1, p. 149-158, 1997.

NAM, K. T.; AHN, U. Use of double packaging and antioxidant combinations to improve color, lipid oxidation and volatiles of irradiated raw and cooked turkey breast patties. **Poultry Science**, v. 82, n. 5, p. 850-857, 2003.

NAWAR, W.W. Comparison of chemical consequences of heat and irradiation treatment of lipids. In: ELIAS, S.; COHEN, A. J. **Recent advances in food irradiation**. Amsterdam: Elsevier Biomedical Press, 1983, 115 p.

NAYINI, N. R.; MARKAKIS, P. Effect of fermentation time on the inositol phosphates of bread. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 262-263, 1983.

NESBITT, P. D.; LAM, Y.; THOMPSON, L. U. Lignans in homemade and commercial products containing flaxseed. **Nutrition Cancer**, v. 29, p. 222-227, 1997.

NDAW, S. et al. Extraction procedures for the liquid chromatographic determination of thiamin, riboflavin and vitamin B₆ in foodstuffs. **Food Chemistry**, v. 71, p. 129-138, 2000.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2, p. 141-150, 2007.

OLLILAINEN, V. et al. The HPLC determination of total thiamin (vitamin B₁) in foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 6, n. 2, p. 152-165, 1993.

OOMAH, B. D.; MAZZA, G.; KENASCHUK, E. O. Cyanogenic compounds in flaxseed. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 40, p. 1346-1348, 1992

ORNELLAS, C. B. D. et al. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 211-213, 2006.

OZDEN, O.; ERKAN, N. Impacts of gamma radiation on nutritional components of minimal processed cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 9, n. 2, p. 265-278, 2010.

PADILHA, V. M. **Caracterização e propriedades funcionais de bolos de chocolate formulados com raízes tuberosas de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2008. 147 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

PALLAUF, J.; RIMBACH, G. Nutritional significance of phytic acid and phytate. **Archives of Animal Nutrition**, v. 50, n. 4, p. 301-310, 1997.

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.

PAYNE, T. J. Promoting better health with flaxseed in bread. **Cereal Foods World**, v.45, n. 3, p.102-104, 2000.

PENFIELD, M. P.; CAMPBELL, A. M. **Experimental food science**. San Diego: Academic Press, 1990. 541 p.

PEREZ, P. M. P.; GERMANI, R. Farinha mista de trigo e berinjela: características físicas e químicas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 24, 2004.

PÉREZ, M. B.; CALDERÓN, N. L.; CROCI, C. A. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). **Food Chemistry**, v. 104, n. 2, p. 585–592, 2007.

PHILIPPI, S. T. **Nutrição e técnica dietética**. Barueri: Manole, 2003.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 10. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 430 p.

PINO, V. H. D.; LAJOL, F. M. Efecto inhibitorio de los taninos del frijol carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), sobre la digestibilidad de la pascolina por dos sistemas multienzimáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 49-53. 2003.

POHLMAN, A. J.; WOOD, O. B.; MASON, A. C. Influence of audiovisuals and food samples on consumer acceptance of food irradiation. **Food Technology**, v. 48, n. 12, p. 46-49, 1994.

POLOVKA, M.; SUHAJ, M. Effect of irradiation and heat treatment on composition and antioxidant properties of culinary herbs and spices: a review. **Food Reviews International**, v. 26, p. 138-161, 2010.

POMERANZ, Y. **Modern cereal science and technology**. Pullman: VCH, 1987. 486 p.

POMPELLA, A. Biochemistry and histochemistry of oxidant stress and lipid peroxidation. **International Journal of Vitamin and Nutrition Research**, v. 67, n. 5, p. 289-297, 1997.

PRESOTO, A. E. F.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. Validação de métodos cromatográficos por CLAE para análise das vitaminas B₁, B², B₆ e niacina naturalmente presentes em farinhas de cereais. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 498-502, 2008.

PRICE, M. L.; HAGERMAN, A. E.; BUTLER, L. G. Tannin content of cowpeas, chickpeas, pigeonpeas and mung beans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 28, n. 2, p. 459- 461, 1980.

QAROONI, J. **Flat bread technology**. New York, Chapman & Hall, 1996. 275 p.

QUAGLIA, G. Ciencia y tecnologia de la panificación. Zaragoza: Acribia, 1991. 485 p.

RAFTER, J. J. Scientific basis of biomarkers and benefits of functional foods for reduction of disease risk: cancer. **British Journal of Nutrition**, v. 88, suppl. 2, p. 219-224, 2002.

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

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

RE, R., N. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorizing assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

ROLIM, P. M. et al. Análise de componentes principais de pães de forma formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 12-17, 2010.

ROLIM, P.M. et al. Perfil glicêmico e potencial prebiótico “in vitro” de pães com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 467-474, 2011.

ROSIN, P.M. Measurement and characterization of dietary starches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15, n. 4, p. 367-377, 2002.

ROUSHDI, M. et al. Effect of high doses gamma rays on corn grains. **Starch/Staerke**, v.37, p.15, 1983.

ROWLAND, I. et al. Bioavailability of phyto-estrogens. **British Journal of Nutrition**, v. 89, suppl. 1, p. 45-58, 2003.

SANTOS, A. F. et al. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp em carne de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 200-205, 2003.

SAPATA, K. B.; FAYH, A. P.; OLIVEIRA, A. R. Efeitos do consumo prévio de carboidratos sobre a resposta glicêmica e desempenho. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. v. 12, n. 4, p. 189-194, 2006.

SARTORELLI, D. S.; CARDOSO, M. A. Associação entre carboidratos da dieta habitual e diabetes mellitus tipo 2: evidências epidemiológicas. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia e Metabologia**, v. 50, n. 3, p. 415-426, 2006.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56 p.

SCHUTZ, H. G., CARDELLO, A.V. Information effects on acceptance of irradiated foods in a military population. **Dairy Food and Environmental Sanitation**, v. 17, n. 8, p. 470-481, 1997.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

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**. Porto Alegre: SBCTA, 2002.

SILVA, R. C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados**. 2003. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, R. C. et al. Estabilidade oxidativa e sensorial de farinhas de trigo e fubá irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 406-413, 2010.

SINGER, C. S. Propriedades físico-químicas, reológicas, entálpicas e de panificação da farinha obtida de trigo irradiado. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SKRBIC, B.; CVEJANOV, J. The enrichment of wheat cookies with high-oleic sunflower seed and hull-less barley flour: Impact on nutritional composition, content of heavy elements and physical properties. **Food Chemistry**, v. 124, p. 1416-1422, 2011.

SOKHEY, A. S.; HANNA, M. A. Properties of irradiated starches. **Food Structure**, v. 12, p. 397-410, 1993.

SONG, H. P. et al. Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. **Food Microbiology**, v. 23, n. 4, p. 372-378, 2006.

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

STAJNER, D.; MILOSEVIC, M.; POPOVIC, B. M. Irradiation effects on phenolic content, lipid and protein oxidation and scavenger ability of soybean seeds. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 8, p. 618-627, 2007.

STAMPFLI, L.; NERSTEN, B. Emulsifiers in bread making: a review. **Food Chemistry**, v. 52, n. 4, p. 353-360, 1995.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS. **Sas/Qc software: usage and referente**. 2. ed. Cary: SAS, 1998. 2v.

STAUFER, C. E. **Functional additives for bakery foods**. New York: AVI, 1990. 279 p.

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

STEFANOVA, R. et al. Effect of gamma-ray irradiation on the fatty acid profile of irradiated beef meat. **Food Chemistry**, v. 127, p. 461-466, 2011.

STONE, H. et al. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. **Food Technology**, v. 28, n. 11, p. 24-34, 1974.

STRANDAS, C. et al. Phenolic glucosides in bread containing flaxseed. **Food Chemistry**, v. 110, p. 997-999, 2008.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative Analysis of Phenolic Constituents. **Journal of Science and Food Agricultural**, Chichester, v. 10, p. 63-68, 1959.

SWANSON, K. M. J.; PETRAN, R. L.; HANLIN, J. H. Culture methods for enumeration of microorganisms. In: DOWNES, J. L.; ITO, K. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**, 4. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2001. Chap. 6, p. 53-67.

THOMAZ, M. H. Use of ionizing radiation. In: KARMAS, E.; HARRIS, R. S. **Nutritional Evaluation of food processing**. New York: van Nostrand Reinhold, 1988. p. 457-490.

THOMPSON, L. U. Analysis and bioavailability of lignans. In THOMPSON, L. U.; CUNNANE, S. C. **Flaxseed in human nutrition**. 2. ed. Champaign: AOCS Press, 2003. p. 92-116.

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.

TOLEDO, T. C. F. et al. Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tannin inhibitors in soybean grains. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1653-1656, 2007.

TOLLIER, M. T.; GUILBOT, A. Development of certain physicochemical properties of the starch granule as a function of irradiated conditions. **Starch/Stärke**, v. 22, p. 296, 1970.

TORRES, G. F. Efeito do processamento térmico sobre o teor de fibra alimentar em hortaliças. 2001. 57 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2001.

TRUSWELL, A. S. Glycaemic index in foods. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, suppl. 2, p. S91-S101, 1992.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP-NEPA, 2006. v. 2, 113 p.

URBAIN, W. M. Cereal grains, legumes, baked goods, and dry food substances. In: _____. **Food irradiation**. New York, Academic Press, 1986, chap. 9, p. 217-237.

VAKIL, U. K.; ARAVINDASHAN, M.; SRINIVAS, H.; CHAUBAN, P. S.; SREENIVASAN, A. **Nutritional and wholesomeness studies with irradiated foods: Indian's program**. Vienna: IAEA, 1973. p.673.

VALENZUELA, A. B.; NIETO, K. S. Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. **Revista Chilena de Pediatría**, v. 74, n. 2, p. 149-157, 2003.

VENTURA, D. et al. **Utilização da irradiação no tratamento de alimentos**. 2010. Disponível:
http://www.esac.pt/noronha/pga/0910/trabalho_mod2/irradiacao_grupo4_T2_word.pdf.
Acesso em: 9 set. 2011.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H. et al. Effect of gamma irradiation on the thiamine, riboflavin and vitamin B6 content in two varieties of Brazilian beans. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 57, p. 299-303, 2000.

WILLIAMS, T.; PULLEN, G. Functional ingredients. In: CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Technology of breadmaking**. London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 45-80.

WOLEVER, T. M. S. et al. **Carbohidratos de digestión lenta: beneficios de una alimentación com bajo índice glicêmico**. 2004. Disponível em:
http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA003_diglentaglicemiaWSF.pdf.
Acesso em: 27 de ago. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **High dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy**. Geneva: WHO, 1999. (WHO Technical Reports Series, 890).

YAN, L. et al. Dietary flaxseed supplementation and experimental metastasis of melanoma cells in mice. **Cancer Letters**, v. 142, n. 2, p. 181-186, 1998.

YU, T-W.; ANDERSON, D. Reactive oxygen species: induced DNA damage and its modification; a chemical investigation. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 379, n. 2, p. 201-210, 1997.

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.