UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

REGINA CÉLIA RODRIGUES DE MIRANDA MILAGRES

Efeito da radiação gama do ^{60}Co na conservação e qualidade de pimenta in natura e em polpa

Piracicaba

2014

REGINA CÉLIA RODRIGUES DE MIRANDA MILAGRES

Efeito da radiação gama do ^{60}Co na conservação e qualidade de pimenta in natura e em polpa

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Orientadora: Profa. Dra. Solange Guidolin Canniatti Brazaca

Coorientador: Prof. Dr. Valter Arthur

Piracicaba

2014

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

Milagres, Regina Célia Rodrigues de Miranda

Efeito da radição gama do ^{60}Co na conservação e qualidade de pimenta in natura e em polpa / Regina Célia Rodrigues de Miranda Milagres; orientadora Solange Guidolin Canniatti Brazaca. - - versão revisada de acordo com a CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
119 f. : fig.

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. Análise sensorial de alimentos 2. Composição de alimentos 3. Contaminação de alimentos 4. Físico-química 5. Irradiação de alimentos 6. Plantas para condimento I. Título

CDU 633.83:664.8.039.5

DEDICO

Ao meu marido **João** pelo apoio, amor, paciência, amizade e, particularmente, pelos conhecimentos compartilhados que foram essenciais ao andamento da minha pesquisa.

Aos meus filhos **Mateus**, **Yasmin** e **Clara**, meu maior tesouro, pelo amor, carinho, paciência e, por terem enfrentado às mudanças que envolveram a nossa passagem por Piracicaba.

Aos meus familiares: **José** e **Sebastiana** (Pais), **Márcio**, **Consolação**, **Fábio**, **Beatriz** e **Júlio** (irmãos), pelos exemplos de vida, companheirismo e amizade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e pelo “Pão de cada dia”.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Universidade de São Paulo pela oportunidade e pelo suporte concedido na realização da tese.

À Escola Superior Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, por ter me abrigado e cedido os laboratórios para realização das análises.

Ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Viçosa, por apoiar a minha qualificação, permitindo que me dedicasse, exclusivamente, aos estudos.

À Professora Solange Guidolin Canniatti Brazaca, pela convivência, dedicação, ensinamentos, paciência, educação, gentileza e principalmente pela confiança.

Ao professor Valter Arthur, pelas orientações, apoio, incentivo, envio das amostras para irradiação no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo-SP e por disponibilizar o laboratório de Radiobiologia e Ambiente do CENA/USP.

À Dra. Cláudia Lúcia de Oliveira Pinto e a Dra. Cleide Maria Ferreira Pinto da EPAMIG, Viçosa-MG, pelo incentivo, orientações e valorosa contribuição na idealização deste estudo.

À professora Marta Helena Fillet Spotto, pelo apoio, simpatia, orientações e por colocar a disposição o Laboratório de Frutas e Hortaliças da ESALQ/USP para realização de análises físico-químicas e microbiológicas.

Ao Dr. Pablo Vásquez e ao Paulo S. Santos do IPEN-SP pela irradiação das amostras no irradiador Multipropósito.

À técnica do laboratório de Radiobiologia e Ambiente Lúcia Cristina Ap. Santos Silva pelo auxílio nas análises, apoio, simpatia, educação e pela adorável convivência.

Ao Paulo Cassieri Neto do Laboratório de Melhoramento de Plantas do CENA/USP, pela simpatia e disponibilidade para irradiar as amostras no irradiador *Gamma-Cell*.

Ao Dr. Gustavo Saavedra e ao analista Hilton César R. Magalhães da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE, por colocar à disposição o Laboratório de Análise de Alimentos para realização das análises de capsaicinoides.

Ao Professor Ângelo Jacomino, ao Dr. Marcos José Trevisan e ao estudante Bruno Baricelli do Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas da ESALQ/USP pelas sugestões, apoio e realização das análises de atividade respiratória e produção de etileno.

Aos Professores Carlos Tadeu dos Santos Dias e a Professora Sônia Maria S. Piedade da ESALQ/USP pelas orientações e auxilio na realização das análises estatísticas.

À Dona Mábile, pelo auxílio, simpatia, educação e por disponibilizar a Planta Piloto da ESALQ/USP para o processamento da polpa.

Às Professoras Marisa A. B. Regitano d'Arce e Thais Maria Ferreira de Souza Vieira e a Técnica Mariana D. Baccarin pelas orientações e por colocar à disposição o Laboratório de Óleos e Gorduras da ESALQ/USP para realização das extrações de capsaicinoides.

À Juliana Antunes Galvão, por colocar à disposição o Laboratório de Qualidade e Inovação Tecnológica de Pescado da ESALQ/USP para realização das análises de cinzas.

À Professora Carmen Josefina Contreras Castillo e ao especialista Jair Sebastião da Silva Pinto por ceder o ultrafreezer e a seladora.

Às professoras Helena Maria Pinheiro Sant'Ana, Ana Íris Mendes Coelho, Ângela Maria Campos Santana, Ana Vládia Bandeira Moreira, Maria do Carmo Fontes de Oliveira e Maria Christina Barros Bittencourt do Departamento de Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Viçosa-UFV, pelo apoio, amizade e estímulo para realização do doutorado.

Ao meu irmão Fábio e a sua família pelo apoio na realização de algumas análises e pela recepção calorosa durante minha estadia em sua casa.

Aos amigos da Pós-Graduação e estagiários: Miriam Selani, Luis Polesi, Juliana Piedade, Carolina Bonfanti, Paulo, Gisele Souza, Laís, Ivânia, Eloá Bretas, Mariana, Gabriela Mandro, Giovanna Shirado e Gisele Silva pela convivência e por terem se comprometido com meu trabalho e ajudado imensamente.

À equipe do Laboratório de Nutrição Humana e Alimentos da ESALQ/USP: Débora Niero Mansi pela ajuda e pelos conhecimentos compartilhados imprescindíveis a realização deste trabalho; Vana Caseri pelo suporte técnico e demais estagiários e estudantes de pós-graduação pelos momentos prazerosos de trabalho e diversão.

À equipe da secretaria de Pós-Graduação do CENA: Daiane, Fábio, Neuda e Sônia pelo apoio, disponibilidade, suporte e educação.

Aos amigos que fiz em Piracicaba e no Edifício Jequitibá, pela amizade, companheirismo e acolhida fraterna.

MUITO OBRIGADA!

"Os analfabetos do século 21 não são aqueles que não sabem ler e escrever, mas aqueles que se recusam a aprender, reaprender e voltar a aprender."

Alvin Toffler

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

MILAGRES, R. C. R. de M. **Efeito da radiação gama do ^{60}C na conservação e qualidade de pimenta in natura e em polpa**. 2014. 119 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

Pimentas do gênero *Capsicum* estão entre as especiarias mais consumidas e valorizadas na culinária mundial como temperos. São altamente susceptíveis a deterioração pós-colheita, assim, o emprego da irradiação pode contribuir para conservação deste fruto que apresentam expressivo valor nutricional, econômico e social. Foram avaliados os efeitos da radiação gama do ^{60}Co no aumento da vida útil e na conservação da qualidade de pimenta Dedo-de-Moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* in natura e em polpa combinada ou não com outros métodos de conservação. Investigaram-se doses de radiação gama de 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 2,00 e 3,00 kGy no fruto in natura e de 1,50; 2,00; 3,00; 4,50 e 6,00 kGy na polpa de pimenta. O emprego da pasteurização em bancada (85 °C/3min), da adição de ácido cítrico a 5% e de 5% de NaCl foram pesquisados na polpa de pimenta. As amostras foram conservadas a 5 °C e ou 25 °C. Foram realizadas análises: visuais (incidência de doenças, turgidez e cor); compostos bioativos (carotenoides, capsaicinoides, capacidade antioxidante e compostos fenólicos); físico-químicas (perda de massa fresca, firmeza, sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT), ratio, cor e umidade); taxa respiratória e produção de etileno; composição centesimal (umidade, fibra solúvel e insolúvel, cinzas, proteínas, extrato etéreo, carboidrato total e disponível); contaminação microbiana (microrganismos mesófilos aeróbios, coliformes a 45 °C, *Salmonella* spp. e fungos filamentosos e leveduras) e sensoriais (teste de aceitação, teste de diferença e pareado preferência). As doses de radiação entre 0,25 e 3,00 kGy não foram efetivas para aumentar a vida útil e manter a qualidade dos frutos in natura durante a estocagem. Houve aumento da intensidade da cor vermelha, maior incidência de doenças, redução da turgidez e alterações nos parâmetros físicos, químicos e nutricionais. Na polpa, as doses de radiação gama de 4,50 e 6,00 kGy e a adição de 5% de NaCl não causaram alterações nas características físico-químicas, nos compostos bioativos e nos atributos sensoriais. Apenas a atividade antioxidante e a cor foram influenciadas pela irradiação, durante a estocagem. Não foram detectados coliformes a 45 °C e *Salmonella* spp. nas amostras irradiadas e não irradiadas durante a estocagem. Na dose de 6,00 kGy houve redução da contagem inicial de fungos filamentosos e leveduras de 5 ciclos logarítmicos, enquanto as demais doses reduziram em 2 e 3 ciclos logarítmicos. No entanto, 21 dias após a irradiação, a contaminação por fungos filamentosos e leveduras aumentou em todos os tratamentos. Conclui-se que, na pimenta Dedo-de-moça in natura, a irradiação nas doses pesquisadas não contribuíu para conservar o fruto durante a estocagem. Na polpa da pimenta, as doses de 4,50 e 6,00 kGy, associada a 5% de NaCl revelou-se promissora para aumentar a vida útil sem afetar os compostos bioativos, as características físico-químicas e os atributos sensoriais durante a estocagem a 25 °C.

Palavras-chave – Irradiação de alimentos. Composição de alimentos. Avaliação nutricional. Contaminação.

ABSTRACT

MILAGRES, R. C. R. de M. **Effect of gamma radiation from ^{60}C in conservation and quality of pepper fresh and pulp**. 2014. 119 f. Thesis (PhD) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

Capsicum peppers are among the most used and most valued seasoning spices in the world. They are highly susceptible to postharvest decay, therefore the use of irradiation may contribute to conservation of this fruit which has significant nutritional, economic and social value. Were evaluated the effects of gamma radiation furom ^{60}Co in increasing the shelf-life and preservation of quality of pepper "Dedo-de-moça" (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) fresh and pulp associated or not with another conservation methods. Gamma radiation doses were investigated of 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 2,00 e 3,00 kGy in fresh fruit and 1,50; 2,00; 3,00; 4,50 e 6,00 kGy in pepper pulp. The use of laboratorial pasteurization (85°C/3min), the addition of citric acid (5%) and 5% NaCl were also investigated in the pepper pulp. The samples were stored at 5 °C and or 25 °C. Were performed analysis: visual (disease incidence, turgidity and color); bioactive compounds (carotenoids, capsaicinoids, antioxidant capacity and phenolic compounds); physicochemical (Weigth loss, firmness, soluble solids (SS), pH, titratable acidity (TA), ratio, color and moisture); respiratory rate and ethylene production; proximate composition (moisture, soluble and insoluble fiber, ash, protein, ether extract, total and available carbohydrate); microbiological contamination (mesophilic aerobic microorganisms, coliforms at 45 °C, *Salmonella* spp. and yeasts and molds) and sensory (acceptance test, difference test and paired preference). Radiation doses between 0.25 and 3.00 kGy were not effective to increase shelf-life and maintain fresh pepper quality during storage. There was increased intensity of red color, of incidence of disease, decreased turgidity and changes in physical, chemical and nutritional parameters. In pulp, the doses of gamma radiation of 4.50 and 6.00 kGy and the addition of 5% NaCl no changing sensory attributes, physical-chemical and bioactive compounds. Only the antioxidant activity and the color were influenced by irradiation during storage. Coliforms at 45 °C and *Salmonella* not were detected in irradiated and non-irradiated samples during storage. In the dose of 6.00 kGy there was reduction of the initial count of yeasts and molds of the 5 logarithmic cycles, while other doses decreased by 2 and 3 logarithmic cycles. However, 21 days after the irradiation, the contamination by yeasts and molds increased in all treatments. In pepper Dedo-de-moça fresh, the irradiation doses studied not contributed to preserving the fruit during storage. In the pulp pepper, doses of 4.50 and 6.00 kGy, associated with 5% NaCl proved promising to increase shelf-life without affecting the bioactive compounds, physico-chemical characteristics and sensory attributes during storage at 25 °C.

Keywords: Food irradiation. Food composition. Nutritional evaluation. Contamination.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 19

REFERÊNCIAS..... 24

2 APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA ASSOCIADA A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA CONSERVAÇÃO DE PIMENTA (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) IN NATURA..... 27

RESUMO..... 27

ABSTRACT..... 28

2.1 INTRODUÇÃO..... 29

2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 30

2.2.1 Coleta e preparo das amostras..... 30

2.2.2 Tratamento das amostras por irradiação..... 30

2.2.3 Análise visual..... 31

2.2.4 Análise físico-química..... 31

2.2.5 Análise estatística..... 32

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 32

2.3.1 Umidade, perda de massa fresca, firmeza e turgidez..... 32

2.3.2 pH, Acidez Titulável (AT), Sólidos Solúveis (SS) e Relação SS/AT..... 36

2.3.3 Análise Visual e Instrumental de Cor..... 39

2.3.4 Incidência de doenças..... 42

2.4 CONCLUSÕES..... 43

REFERÊNCIAS..... 43

3 VIDA-ÚTIL DE PIMENTA IN NATURA E EM POLPA SUBMETIDA À IRRADIAÇÃO E A PASTEURIZAÇÃO..... 46

RESUMO..... 46

ABSTRACT..... 47

3.1 INTRODUÇÃO..... 48

3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 49

3.2.1 Experimento 1 - *Pimenta Dedo-de-moça "in natura" irradiada*..... 49

3.2.2 Experimento 2 - *Polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e acidificada*..... 51

3.2.3 Experimento 3 – *Polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada submetida à irradiação ou à pasteurização*..... 53

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 55

3.3.1 Experimento 1 - *Pimenta Dedo-de-moça "in natura" irradiada*..... 55

3.3.2 Experimento 2 - *Polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e acidificada*..... 56

3.3.3 Experimento 3 – *Polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada submetida à irradiação ou à pasteurização*..... 60

3.4 CONCLUSÕES..... 63

REFERÊNCIAS..... 63

4 ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS, FÍSICAS E SENSORIAIS DE POLPA DE PIMENTA SUBMETIDA À RADIAÇÃO GAMA..... 67

RESUMO..... 67

ABSTRACT..... 68

4.1 INTRODUÇÃO..... 69

4.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 71

4.2.1 Matéria-prima e obtenção da polpa..... 72

4.2.2 Irradiação e estocagem..... 72

4.2.3 Determinações analíticas..... 73

4.2.4 Análise estatística..... 77

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 77

4.3.1 Compostos bioativos..... 77

4.3.2 Cor..... 81

4.3.3 Avaliação microbiológica..... 82

4.3.4 Análise sensorial..... 82

4.4 CONCLUSÕES..... 86

REFERÊNCIAS..... 87

5 ESTABILIDADE DE POLPA DE PIMENTA TRATADA POR RADIAÇÃO 91

GAMA DO COBALTO-60.....

RESUMO..... 91

ABSTRACT..... 92

5.1 INTRODUÇÃO..... 93

5.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 95

5.2.1 Matéria-prima e obtenção da polpa..... 95

5.2.2 Irradiação e estocagem..... 95

5.2.3 Composição centesimal..... 96

5.2.4 Avaliação Microbiológica..... 96

5.2.5 Avaliações Físico-químicas..... 97

5.2.6 Taxa respiratória e produção de etileno..... 97

4.2.7 Análise estatística..... 98

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 98

5.3.1 Composição centesimal..... 98

5.3.2 Avaliação microbiológica..... 99

5.3.3 Avaliação físico-química..... 101

5.3.4 Taxa respiratória e produção de etileno..... 105

5.4 CONCLUSÕES..... 107

REFERÊNCIAS..... 107

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 112

APÊNDICES..... 113

APÊNDICE A – Ficha de Avaliação Sensorial..... 114

APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido..... 117

ANEXO A e B – Parecer da Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa ESALQ/USP e Parecer do Comitê de Ética da ESALQ/USP..... 119

1. INTRODUÇÃO

Estatísticas mundiais indicam que 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente. A maior parte deste desperdício (54%) ocorre na fase inicial de produção, manipulação pós-colheita e armazenagem e o restante ocorre nas etapas de processamento, distribuição e consumo. Os reflexos do desperdício de alimentos na economia atingem a quantia de 750 bilhões de dólares por ano (excluindo peixes e frutos do mar), sem contar os impactos para o meio ambiente (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2013).

No Brasil, estima-se que 64% do que é cultivado se perde ao longo da cadeia produtiva. Cerca de 70.000 toneladas de alimentos vão para o lixo todos os anos (AKATU, 2003). As conseqüências ambientais e econômicas do desperdício são maiores quando o produto se perde mais tardiamente na cadeia alimentar, uma vez que ao custo inicial da produção são adicionados os custos incorridos durante o processamento, transporte, armazenamento e utilização (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2013).

As pimentas do gênero *Capsicum* contribuem para aumentar estas estatísticas, por serem altamente perecíveis e por isso, seu transporte e comercialização devem ocorrer em curto espaço de tempo, necessitando racionalizar e reduzir os custos em face da alta competitividade do segmento. As principais causas de deterioração pós-colheita de pimentas são as perdas de peso, o enrugamento e a deterioração bacteriana e fúngica (RADONI et al., 2012).

Diferentes tratamentos físicos e químicos têm sido usados para aumentar a vida útil e reduzir o número de contaminantes microbianos em frutos de pimentas. Entretanto, a maioria deixa algum resíduo ou interfere na qualidade nutricional, sensorial ou físico-química.

A refrigeração tem sido preconizada para manter a qualidade de frutos frescos ou processados, no entanto, este método de conservação apresenta alto custo associado à necessidade de se manter a cadeia do frio.

O tratamento com água moderadamente quente (55 a 60 °C, 180s) foi efetivo para manter a aparência visual de pimentas recém-colhidas e reduzir perdas de ácido ascórbico e de compostos fenólicos, mas não impediu o crescimento de microorganismos (SGROPPO; PEREYRA, 2009).

Na técnica de irradiação não ocorre o aumento significativo da temperatura dos alimentos o que reduz perdas nutricionais, físico-químicas e sensoriais quando comparado com métodos de conservação que empregam calor (RELA, 2000). Este efeito, de preservação

da qualidade dos alimentos, foi comprovada por Molinari (2007) em pesquisa com mamões submetidos à radiação gama nas doses de 0,4 e 0,7 kGy. A irradiação não afetou as características nutricionais (teores de β-caroteno e licopeno), físico-químicas (sólidos solúveis, acidez titulável e pH) e sensoriais, durante os 35 dias de armazenamento refrigerado. Outros estudos também comprovaram os benefícios da irradiação em relação à conservação e qualidade dos alimentos frescos, pré-preparados e minimante processados (BYUN et al., 1994; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1999; LIMA et al., 2001; LIMA et al., 2003; NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002; RAMAMURTHY et al., 2004; TOPUZ; OZDEMIR, 2004; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- IAEA, 2006; MODA et al., 2008)

A irradiação consiste na exposição de alimentos a radiações ionizantes, como os raios gama emitidos pelos radioisótopos ^{60}Co e ^{137}Cs ou emitidos por elétrons de alta energia e raios-X gerados por máquinas que operam com nível de energia de até 5 MeV, sendo a radiação gama do ^{60}Co a mais utilizada, principalmente, em razão do seu maior poder de penetrabilidade (FARKAS, 2006).

A radiação gama tem sido utilizada em alimentos para descontaminação microbiológica, desinfestação de insetos, atraso no amadurecimento, redução de brotamento e aumento da vida útil de alimentos (URBAIN, 1986; ZHAO; MOY; PAULL, 1996; ANDREWS et al., 1998; MOREHOUSE, 2002; RAMAMURTHY et al., 2004; MARTINS et al., 2004; IAEA, 2006; ABRAR et al., 2009; JALILI, JINAP, NORANIZAN, 2010; RICO et al., 2010).

A radiação ionizante afeta diretamente os microrganismos pela interação com moléculas específicas no interior das células ou indiretamente por meio de efeitos inibidores de radicais livres produzidos pela radiólise da água (ADAMS; MOSS, 2000). O efeito direto ocorre sobre as moléculas de DNA, que sofrem intumescência e quebra ao longo da cadeia, fazendo com que a célula deixe de funcionar normalmente. Consequentemente, tanto as bactérias como os parasitas não são capazes de reproduzir e morrem (SILVA; SILVA e SPOTO, 2008). O efeito indireto ocorre nas moléculas de água que são alteradas para produzir radicais altamente reativos; os radicais hidroxila (OH) e hidrogênio (H). Estes radicais podem reagir entre si, com oxigênio dissolvido na água e com várias moléculas orgânicas e inorgânicas, fornecendo vários compostos radicais (GAVA, 1999). Este efeito desempenha papel muito importante, já que na ausência de água são necessárias doses de radiações duas a três vezes mais intensas para se obter o mesmo resultado sobre os microrganismos (ADAMS; MOSS, 2000).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – (ANVISA, 2001) aprovou a resolução RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001, “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”. Esta resolução permite a irradiação de qualquer alimento, com a condição de que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida, e a dose máxima seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

Em documento publicado pela *International Atomic Energy Agency* – IAEA juntamente com a FAO sobre irradiação em alimentos de origem vegetal foram propostas doses mínimas de radiação. Concluiu-se que se trata de um método de conservação seguro e nutricionalmente adequado, com diversas vantagens em relação a outros tratamentos químicos e físicos. No entanto, recomenda que a técnica seja avaliada de forma individualizada para cada novo produto a ser irradiado com fins de se conhecer o efeito real da irradiação na qualidade do alimento em questão (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006).

Diante desta recomendação é de grande interesse o estudo da irradiação em pimentas do gênero *Capsicum*, uma vez que, estão incluidas na lista dos vegetais mais populares do mundo. No Brasil, os frutos de *Capsicum*, possuem importância social e econômica sendo considerado um produto de destaque do agronegócio brasileiro. Seu cultivo incentiva a agricultura familiar, aumentando a geração de emprego e a renda (VILELA, 2004). É cultivada em praticamente todas as regiões brasileiras, principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Ceará, Rio Grande do Sul, Bahia e Sergipe. Não é possível estimar precisamente a produção de pimenta, uma vez que, grande parte é cultivada por pequenos agricultores. Supõe-se que a área cultivada chegue perto de cinco mil ha com uma produção de 75 mil toneladas por ano (RIBEIRO et al., 2014).

A demanda de pimentas *Capsicum* tem crescido no país, incentivando o aumento da área cultivada e a criação de agroindústrias de pimentas (doces e picantes). O mercado deste fruto é considerado um dos mais importantes do país, representando o terceiro lugar em produção e consumo de hortaliças para tempero no Brasil, perdendo apenas para o mercado de alho e de cebola. Além do mercado interno, parte da produção brasileira de pimentas é exportada em diferentes formas: frescas, páprica, polpa, desidratada e conservas ornamentais (RIBEIRO et al., 2014).

Independentemente da maneira como a pimenta será utilizada, sua qualidade deve ser preservada ao longo de toda cadeia produtiva. Contaminações de origem biológica, química e física constituem os principais problemas associadas à qualidade das pimentas frescas ou

processadas. Os frutos, após a colheita, são regularmente contaminados com altas contagens de fungos, leveduras e bactérias (BANERJEE; SARKAR, 2003; KPIC, 2012).

Apesar do risco de contaminação microbiológica em *Capsicum*, há escassez de pesquisas sobre o uso da irradiação para conservação e preservação da qualidade de pimentas in natura e processadas. Os estudos, frequentemente, são realizados em frutos secos ou desidratados. Pesquisas encontradas na literatura que avaliaram os efeitos da radiação gama em frutos de *Capsicum* demonstraram que a técnica foi efetiva para reduzir a contagem de fungos (IQBAL et al., 2013) e aflatoxina em pimentas vermelhas (ABRAR et al., 2009); melhorar a qualidade sanitária e a vida útil de *Capsicum* minimamente processadas (RAMAMURTHY et al., 2004); diminuir a carga de bactérias deterioradoras e conservar o conteúdo de β-caroteno de pimentões (FARKAS et al., 1997)

Diante do exposto, foi investigada a hipótese de que a radiação gama do ^{60}Co fosse capaz de prolongar a vida útil da pimenta *Capsicum baccatum* var. *Pendulum* in natura e de sua polpa, sem alterar suas características nutricionais, funcionais, físicas, químicas e sensoriais.

Objetivos:

1. Identificar a dose de radiação gama capaz de prolongar a vida útil da pimenta Dedo-de-Moça, in natura e em polpa;

2. Avaliar os efeitos da irradiação na qualidade nutricional, físico-química e microbiológica da pimenta in natura e em polpa, durante o armazenamento;

3. Caracterizar a polpa de pimenta quanto à composição centesimal;

4. Analisar o efeito da irradiação na respiração e na produção de etileno da polpa de pimenta.

5. Verificar a aceitabilidade da polpa de pimenta irradiada, junto aos consumidores.

Os resultados experimentais deste trabalho serão apresentados em 4 capítulos, a saber:

1. Aplicação da radiação gama associada a diferentes temperaturas para conservação de pimenta (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) in natura;

2. Avaliação da irradiação e da pasteurização para conservação de pimenta Dedo-de-moça in natura e em polpa;

3. Alterações nutricionais, físicas e sensoriais de polpa de pimenta Dedo-de-moça submetida à radiação gama;

4. Estabilidade de polpa de pimenta Dedo-de-moça tratada por radiação gama do Cobalto-60.

REFERÊNCIAS

ABRAR, M. et al. Effect of storage period and irradiation doses on red chilies. **Pakistam Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 8, n. 8, p. 1287-1291, 2009.

ADAMS, M.R.; MOSS, M.O. **Food microbiology**. 2.ed. Cambridge: RSC Publishing, 2000. 479p.

AKATU. 2003. "**Desperdício**: é preciso acabar com a pior das pragas": Disponível em: <http://www.akatu.net/conheca/visuali7arconteudo>. Acesso: 25 jun. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA- ANVISA. **Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001.** Regulamento técnico para irradiação de alimentos. Brasília, 2001.

ANDREWS, L.S. et al. Food preservation using radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 154, p. 1-53, 1998.

BANERJEE, M.; SARKAR, P. K. Microbiological quality of some retail spices in India**. Food Research International**, Ottawa, v. 36, n. 5, p. 469-474, 2003.

BYAN, P. et al. Effects of gamma-irradiation on cooking properties of soybeans. **Foods and Biotechnology**, Seoul, v. 3, n. 1, p. 20-25, 1994.

FARKAS, J. et al. **Effects of low-dose gamma radiation on shelf-life and microbiological safety of pre-cut prepared vegetables.** Advances in food sciences, Freising, v. 19, n.˙ 3-4, p. 111-119, 1997.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, Freising, v. 17, n. 4, p. 148-152, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food wastage footprint:** impacts on natural resources. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2014.

GAVA, A.J. Conservação dos Alimentos pelo Uso de Irradiação. In:_____: Princípios de tecnologia de alimentos. São Paulo: Nobel. 1999. p. 271-277.

JALILI, M.; JINAP, S.; NORANIZAN, A. Effect of gamma radiation on reduction of mycotoxins in black pepper. **Food Control**, Guildford, v. 21, n. 10, p.1388–1393, 2010.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Use of irradiation to ensure hygienic quality of fresh, pre-cut fruits and vegetables and other minimally processed food of plant origin.** Vienna: IAEA/FAO, 2006.

IQBAL, S. et al. Effect of g irradiation on fungal load and aflatoxins reduction in red chillies. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 82, p. 80–84, 2013.

KPIC. ***Salmonella*** **linked to ground pepper**. Disponível em: <http://www.kpic.com/news/local/ 42146867.html>. Acesso: 9 fev 2012.

LIMA, K.S.C. et al. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Doucos carota L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 202-208, 2001.

LIMA, K.S.C. et al. Cenouras minimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 23 , n. 2, p. 240-250, 2003.

MARTINS, C.G. et al. Gamma radiation in the reduction of *Salmonella* spp. inoculated on minimally processed watercress (*Nasturtium officinalis*). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 71, p. 87–91, 2004.

MODA, E.M. et al. Qualidade físico-química e sensorial de abacaxi minimamente processado e irradiado. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 267-276, 2008.

MOLINARI, A.C.F. **Métodos combinados para preservar a qualidade pós-colheita do mamão "Golden" tipo exportação**. 2007. 128 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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

NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES R. L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina (*Prunus Persica* var. *Nucipersica*) frigoconservada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 676-679, 2002.

RODONI, L. M. et al. Use of UV-C Treatments to maintain quality and extend the shelf-life of green fresh-cut bell pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 77, n. 6, p. C232-C239, 2012.

RAMAMURTHY, M. S. et al. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated capsicum by gamma irradiation. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, London, v.55, n. 4 p. 291-299, 2004.

RELA, P.R. Cresce o uso de irradiação para conservação de alimentos. **Revista de Engenharia de Alimentos**, São Paulo, v. 6, n. 29, p. 26-29, 2000.

RIBEIRO et al. Árvore do conhecimento. Embrapa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/Abertura.html>. Acesso em: 29 jun 2014.

RICO, C.W. et al. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 1012–1016, 2010.

SGROPPO, S.C., PEREYRA, M.V. Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. **International Journal of Food Science and Technolology**, Oxford, v. 44, p. 1793–1801, 2009.

SILVA, J. M.; SILVA, J. P.; SPOTO, M. H. F. Características físico-químicas de abacaxi submetido à tecnologia de radiação ionizante como método de conservação pós-colheita. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 139-145, 2008.

TOPUZ, A.; OZDEMIR, F. Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. **Food Chemistry**, Barking, v. 86, p. 509-515, 2004.

URBAIN, V. M. **Food irradiation**. London: Academic Press, 1986.

VILELA, N. J. Coeficientes técnicos, custos, rendimentos e rentabilidade. Brasília: Embrapa Hortaliças. Disponível em:< http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_da_pimenta/coeficientes_tecnicos.htm>. Acesso em: 20 jun 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **High-dose irradiation:** wholesomeness of food high-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Geneva: FAO/IAEA/WHO, 1999. (Technical Report Series, 890).

ZHAO, M.; MOY, J.; PAULL, R. E. Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdan, v. 8, p. 209-22, 1996.

2. APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA ASSOCIADA A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA CONSERVAÇÃO DE PIMENTA (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) IN NATURA

Resumo

A qualidade da pimenta *Capsicum* e os fatores que afetam a conservação de seus frutos pós-colheita, ainda são pouco conhecidos, embora seu valor social, econômico e nutricional no Brasil e no mundo seja de grande importância. O estudo teve como objetivo estabelecer à dose de radiação gama e a temperatura de estocagem para fins de estender a vida útil de pimenta Dedo-de-moça in natura. Frutos recém-colhidos foram selecionados, embalados, irradiados com as doses de 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,50 kGy e controle não irradiado, armazenados a 5 °C e 25 °C por 15 dias. As amostras foram avaliadas quanto às suas características físico-químicas (umidade, sólidos solúveis - SS, pH, acidez titulável - AT, ratio, cor, firmeza e perda de massa) e visuais (doenças, turgidez e cor). Nos frutos irradiados e não irradiados, estocados a 25 °C observou-se aumento da intensidade da cor vermelha, maior incidência de doenças e perda da turgidez. Houve aumento da perda de peso (5% - 21%), de SS (8,2 - 9,7 °Brix), da firmeza (2,84 - 6,27 N), da Ratio (43,8 - 75,7) e diminuição da AT (0,2% - 0,12%). Na estocagem a 5 °C, as características visuais das pimentas foram mantidas, mas ocorreu aumento da umidade (84% - 89%), do pH (4,8 - 5,8), da AT (0,17% - 0,24% ácido cítrico) e redução da ratio (51,8 - 35,4). A irradiação isoladamente não foi efetiva para aumentar a vida útil da pimenta Dedo-de-moça, sendo necessária a aplicação de outras técnicas de conservação.

Palavras-chave: Irradiação. Refrigeração. Análise visual.

Abstract

The quality of the *Capsicum* pepper and the factors affecting its post harvest conservation, are still largely unknown, although its social, economic and nutritional value are of great importance in Brazil and in the world. The study aimed to establish the dose of gamma radiation and the temperature of storage able to extend the shelf-life of fresh Dedo-de-moça pepper. Freshly harvested fruits were selected, packaged, irradiated with doses of 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 kGy and non-irradiated control, stored at 5 °C and 25 °C for 15 days. The samples were evaluated for their physicochemical characteristics (moisture, soluble solids - SS, pH, titratable acidity - TA, ratio, color, firmness and weight loss) and visual (disease, turgidity and color). In irradiated and non-irradiated fruit, storage at 25 °C was observed increase in the intensity of the red color, higher incidence of disease and lost turgidity. There was increase of weight loss (5% - 21%), SS (8.2 - 9.7 °Brix), firmness (2.84 - 6.27 N), ratio (43.8 - 75.7) and decreased TA (0.2% - 0.12%). In storage at 5 °C the visual characteristics of peppers were kept, but there was an increase in moisture (84% - 89%), pH (4.8 - 5.8), TA (0.17% - 0.24% citric acid) and ratio reduction (51.8 - 35.4). The irradiation alone was not able to extend the shelf-life of Dedo-de-moça peppers, requiring the application of other conservation techniques.

Keywords: Irradiation. Refrigeration. Visual analysis.

2.1 Introdução

As pimentas pertencentes ao gênero *Capsicum*, família Solanaceae, são originárias das Américas do Sul e Central. Existem, aproximadamente, 27 espécies catalogadas, sendo a *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, conhecida e comercializada no Brasil como Dedo-de-moça (PINTO et al., 2010). O principal aspecto dos frutos de pimenta é a pungência caracterizada pelo sabor picante ou ardido, conferida pelos alcalóides denominados capsaicinoides (TOPUZ; OZDEMIR, 2007).

Capsicum tem grande valor nutricional e funcional associados, principalmente, ao seu conteúdo de vitaminas, fibras e sais minerais. Os carotenoides, pigmentos vegetais importantes pelo seu valor nutricional e provitamínico A, estão presentes em altas concentrações e conferem coloração às pimentas (PINTO et al., 2010). Possuem altas concentrações de vitamina C e vitamina E que atuam como constituintes nutricionais e funcionais em decorrência de suas propriedades antioxidantes (TOPUZ; OZDEMIR, 2007; PINTO et al., 2010).

Mesmo tendo alto valor nutricional e grande importância econômica e social em vários países, a maioria dos aspectos relacionados com a fisiologia pós-colheita, como o padrão de amadurecimento, qualidade e conservação dos frutos ainda são pouco conhecidos. Como todo fruto carnoso fresco, a qualidade da pimenta é afetada na pós-colheita (MANOPOLOU et al., 2010). Por essa razão, diversos tratamentos físicos e químicos têm sido usados para minimizar esses fatores de degradação. O emprego da irradiação tem apresentado resultados satisfatórios, sendo uma técnica economicamente viável e fisicamente segura, com importante efeito no aumento da vida útil de frutos e hortaliças, diminuindo os processos fisiológicos, como amadurecimento e brotamento e atuando no controle fitossanitário como parte de um programa quarentenário (LIMA et al., 2001; MIZANI et al., 2009). O tratamento é utilizado para aumentar a estabilidade ao armazenamento por meio da redução da população de bactérias patogênicas e eliminação de parasitas ou insetos causadores de doenças, incluindo bactérias deterioradoras, fungos e leveduras (MOREHOUSE, 2002).

A irradiação de alimentos é um processo que consiste na exposição de produtos a radiações ionizantes. Este tratamento não causa prejuízos ao alimento no que diz respeito à formação de novos compostos químicos que poderiam transmitir doenças ao ser humano, quando da sua ingestão. Porém, como em todo processo de conservação, podem existir perdas de ordem nutricional e organoléptica, como cor, sabor, textura e odor (LIMA et al., 2001;

FARKAS, 2006). Embora, estas perdas sejam inferiores às ocorridas em outros tratamentos de conservação (RELA, 2000).

Estudos têm sido realizados para avaliar o uso da irradiação em pimentas, principalmente as desidratadas, mas os efeitos da irradiação associada a diferentes temperaturas de armazenamento nas características físico-químicas e sensoriais e na vida útil em pimentas in natura, ainda são pouco investigados. Diante do exposto neste estudo foi investigada a dose de radiação ionizante e a temperatura de armazenamento capaz de estender a vida útil da pimenta Dedo-de-moça, in natura, com impactos mínimos na qualidade visual e físico-química.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Coleta e preparo das amostras

Foram adquiridas pimentas Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*), plantadas 6 meses antes do estudo, em São Miguel Arcanjo-SP. Os frutos foram coletados com pedúnculo, antes da completa maturação (início da coloração vermelha) no dia anterior ao tratamento de irradiação e transportados para o CEASA de Piracicaba-SP em caminhão aberto, em caixas plásticas.

No laboratório, 15 kg de pimentas foram selecionados pelos critérios de coloração, grau de maturação, ausência de lesões, tamanhos e danos mecânicos. Em seguida foram pesados 60 g de frutos e colocados em bandejas de poliestireno expandido (isopor) de 0,50 cm de espessura e dimensões de 15 cm x 15 cm x 4 cm, recoberta com filme de cloreto de polivinila – PVC comercial.

2.2.2 Tratamento das amostras por irradiação

Após terem sido embaladas, as amostras foram tratadas por radiação gama em irradiador Multipropósito de ^{60}Co do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares –IPEN com taxa de dose de 3,27 kGy h^{-1}, em temperatura ambiente. Foi empregado esquema fatorial 7x2 com 5 parcelas subdivididas em delineamento inteiramente aleatorizado - DIA. Correspondendo a doses de radiação (0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,50 kGy e controle não irradiado); temperaturas de estocagem (temperatura ambiente = 25±2ºC e temperatura de refrigeração = 5±2ºC) e tempos de armazenamento (1, 5, 9, 12, 15 dias após a irradiação),

respectivamente. Cada tratamento constou de três repetições, totalizando 210 unidades experimentais.

2.2.3 Análise visual

Os efeitos da irradiação sobre a qualidade visual das amostras foram observados pelas alterações na superfície dos frutos, como: incidência de doenças (abrangência da lesão na superfície do fruto), perda de turgidez e cor (MOLINARI, 2007). As seguintes escalas de notas foram utilizadas para esse procedimento:

Incidência de doenças: 1 = 0% (ausente); 2 = 10% da superfície afetada; 3 = 11% a 25% da superfície afetada; 4 = 26% a 50% da superfície afetada; 5 = mais de 51% da superfície afetada.

Turgidez: 1 = túrgido, sem indício algum de perda de turgidez em qualquer parte do fruto; 2 = pouca turgidez (enrugamento da casca na região próxima ao pedúnculo); 3 = perda de turgidez acentuada, enrugamento generalizado do fruto.

Cor: 1 = predomina a cor verde; 2 = superfície verde com alguns traços avermelhados; 3 = área com cor verde igual à área vermelha 4 = superfície vermelha com alguns traços esverdeados e 5 = fruto completamente vermelho.

2.2.4 Análises físico-químicas

A umidade foi determinada em estufa a 105 ºC até peso constante. A determinação do teor de sólidos solúveis (SS) foi realizada por leitura em refratômetro digital, com duas a três gotas do filtrado da polpa da pimenta triturada, sendo os resultados expressos em °Brix. O valor de pH das amostras foi mensurado diretamente na polpa triturada. A acidez titulável (AT) foi determinada pela titulação potenciométrica, expressa em % de ácido cítrico (mg $100mg^{-1}$). As análises supracitadas seguiram metodologias propostas pela *Association of Official Analytical Chemists* - AOAC (AOAC, 2005). O Ratio foi calculado pela razão SS/AT (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A firmeza das pimentas foi avaliada em frações de 1 cm^2 do fruto por meio da compressão em texturômetro modelo TA.XT2, com o probe cilíndrico de 2 mm de diâmetro, sendo realizadas dez repetições por amostra (DUTRA et al., 2007). A cor instrumental foi determinada utilizando-se colorímetro Minolta, Modelo Chroma Meter CR-200b. Os resultados foram expressos em valor L (luminosidade), saturação (croma - *C*) e ângulo Hue (*H*). A perda de massa fresca foi calculada pela relação entre o peso inicial (pesagem realizada antes da irradiação) e final do fruto expressa em porcentagem.

2.2.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, de acordo com os procedimentos estabelecidos no *General Linear Model* do SAS (SAS Institute, 1992), para a verificação de diferenças estatisticamente significativas entre as médias das variáveis estudadas. Para a comparação entre as médias, empregou-se o teste de Tukey, adotando-se, como nível de significância, $\alpha = 0,05$.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Umidade, perda de massa fresca, firmeza e turgidez

A umidade da pimenta Dedo-de-moça variou de 84% a 88% nas amostras estocadas a 25 °C e de 84% a 89% nas armazenadas a 5 °C. Não houve diferença entre os teores de umidade entre doses e dentro da mesma dose, ao longo do tempo. Apenas as amostras estocadas a 25 °C e irradiadas com doses de 0,50 e 1,00 kGy perderam umidade após 12 e 15 dias, respectivamente (Tabela 1). Em estudo realizado com cogumelos frescos mantidos a 4 °C, houve redução da umidade na amostra controle e na dose de 0,75 kGy, após 10 dias de estocagem (MODA et al., 2008).

A irradiação e a estocagem a 5 °C não influenciaram a perda de massa fresca, no entanto, as pimentas estocadas a 25 °C apresentaram aumento gradual de perda de massa a partir de nove dias. Na dose de 0,50 kGy, por exemplo, aumentou 14% após 15 dias (Tabela 1). A perda de massa fresca durante a estocagem pode ter ocorrido, principalmente, devido à perda de água e CO_2, pela transpiração e respiração, respectivamente. Os resultados deste estudo diferem dos encontrados por outros autores. Khalil et al. (2009) em laranjas irradiadas com 0,25 e 0,50 kGy, comprovaram que a perda de massa diminuiu com o uso da irradiação. Molinari (2007) avaliou o efeito combinado da embalagem e da temperatura de refrigeração em mamão “Golden” irradiado com 0,4 e 0,7 kGy. Verificou que a maior dose provocou aumento da perda de massa em decorrência do aumento da taxa respiratória e transpiratória do fruto. Akbudak, Tezcan e Eris (2008) demonstraram que em cerejas irradiadas com 0,3 kGy e refrigeradas houve menor perda de massa.

Tabela 1 – Umidade, perda de massa fresca e firmeza da pimenta Dedo-de-moça submetida à radiação gama e a estocagem a 25 e 5 °C.

Dose (kGy)	TA (°C)	Tempo de armazenamento (dias)				
		1	5	9	12	15
		UMIDADE (%)				
0,00	25	86,7 ± 0,5 aA	86,9 ± 0,9 aA	86,3 ± 1,5 aAB	85,9 ± 2,1 aA	85,0 ± 1,0 aBC
	5	84,5 ± 1,0 bA	87,4 ± 1,4 aA	86,7 ± 0,3 abAB	86,4 ± 1,0 abA	86,3 ± 1,3 abABC
0,25	25	85,1 ± 1,5 aA	86,3 ± 0,7 aA	85,5 ± 1,0 aAB	86,4 ± 0,8 aA	84,3 ± 2,0 aBC
	5	85,8 ± 1,9 aA	86,7 ± 0,5 aA	87,2 ± 1,0 aA	87,5 ± 1,2 aA	86,8 ± 1,2 aABC
0,50	25	85,4 ± 0,5 abA	85,3 ± 1,9 abA	88,1 ± 1,8 aA	85,0 ± 0,2 bA	86,0 ± 1,8 abABC
	5	85,5 ± 0,9 aA	85,7 ± 1,0 aA	86,7 ± 1,2 aAB	87,1 ± 1,7 aA	86,3 ± 0,9 aABC
0,75	25	85,7 ± 0,4 aA	85,8 ± 2,0 aA	83,5 ± 2,9 aB	84,3 ± 1,3 aA	85,3 ± 0,7 aABC
	5	84,6 ± 0,9 bA	86,5 ± 1,8 abA	86,0 ± 2,1 abAB	87,6 ± 0,3 aA	86,2 ± 0,6 abABC
1,00	25	86,3 ± 1,1 abA	86,8 ± 0,3 aA	85,3 ± 1,2 abAB	85,7 ± 1,2 abA	83,7 ± 0,9 bC
	5	85,0 ± 0,4 aA	87,1 ± 0,6 aA	85,4 ± 1,1 aAB	87,6 ± 0,7 aA	87,4 ± 0,5 aAB
1,25	25	84,8 ± 1,2 aA	86,7 ± 0,6 aA	85,8 ± 0,7 aAB	85,8 ± 0,9 aA	85,8 ± 1,8 aABC
	5	85,5 ± 1,4 bA	86,4 ± 0,6 abA	86,3 ± 0,9 abAB	87,3 ± 0,6 abA	88,5 ± 1,1 aA
1,50	25	86,4 ± 0,8 aA	87,1 ± 0,7 aA	86,3 ± 1,7 aAB	85,8 ± 0,7 aA	85,8 ± 0,8 aABC
	5	85,2 ± 2,2 aA	86,4 ± 0,7 aA	85,7 ± 0,8 aAB	86,8 ± 1,5 aA	86,0 ± 2,0 aABC
		PERDA DE MASSA FRESCA (%)				
0,00	25	6,0 ± 0,5 dA	5,5 ± 0,4 dA	9,6 ± 1,1 cA	13,5 ± 1,0 bA	16,1 ± 2,6 aB
	5	0,7 ± 0,3 aB	1,0 ± 0,1 aB	1,3 ± 0,2 aB	1,6 ± 0,2 aB	1,7 ± 0,9 aC
0,25	25	6,2 ± 0,1 dA	5,5 ± 0,4 dA	10,1 ± 0,5 cA	12,6 ± 2,0 bA	17,1 ± 0,9 aB
	5	0,4 ± 0,1 aB	0,5 ± 0,1 aB	0,8 ± 0,1 aB	1,2 ± 0,1 aB	1,1 ± 0,2 aC
0,50	25	6,2 ± 0,9 dA	5,9 ± 0,3 dA	9,5 ± 0,6 cA	13,5 ± 0,2 bA	20,5 ± 5,9 aA
	5	0,4 ± 0,2 aB	0,5 ± 0,1 aB	0,7 ± 0,0 aB	1,0 ± 0,2 aB	0,9 ± 0,4 aC
0,75	25	6,1 ± 0,2 cA	5,2 ± 0,7 cA	10,3 ± 0,7 bA	12,5 ± 0,4 bA	15,6 ± 0,8 aB
	5	1,1 ± 1,8 aB	1,8 ± 1,6 aB	0,9 ± 0,2 aB	0,8 ± 0,4 aB	1,3 ± 0,1 aC
1,00	25	5,8 ± 0,5 dA	5,9 ± 0,2 dA	9,7 ± 0,4 cA	12,2 ± 0,8 bA	15,2 ± 0,8 aB
	5	0,4 ± 0,1 aB	0,8 ± 0,1 aB	1,1 ± 0,2 aB	1,1 ± 0,4 aB	1,0 ± 0,8 aC
1,25	25	6,1 ± 0,5 dA	5,6 ± 0,5 dA	10,2 ± 0,5 cA	13,2 ± 0,7 bA	16,8 ± 2,0 aB
	5	0,3 ± 0,5 aB	0,6 ± 0,6 aB	0,9 ± 0,2 aB	1,0 ± 0,5 aB	1,7 ± 0,1 aC
1,50	25	6,6 ± 0,4 dA	5,6 ± 0,2 dA	10,2 ± 1,7 cA	13,5 ± 0,3 bA	17,7 ± 0,6 aAB
	5	0,4 ± 0,2 aB	0,6 ± 0,6 aB	1,1 ± 0,2 aB	1,3 ± 0,4 aB	1,8 ± 0,3 aC
		FIRMEZA (N)				
0,00	25	3,53 ± 0,66 abA	3,33 ± 0,38 bA	4,43 ± 0,22 abAB	4,80 ± 0,99 aA	4,41 ± 0,49 abBCD
	5	3,28 ± 0,50 aA	3,57 ± 0,37 aA	3,16 ± 0,92 aABC	3,66 ± 0,42 aABC	3,45 ± 1,02 aD
0,25	25	3,79 ± 0,25 cA	3,60 ± 0,17 cA	4,40 ± 0,23 bcAB	5,04 ± 0,14 abA	6,28 ± 0,17 aA
	5	3,15 ± 0,25 aA	3,32 ± 0,26 aA	3,11 ± 0,82 aBC	3,12 ± 0,16 aBC	3,29 ± 0,94 aD
0,50	25	3,08 ± 0,88 bA	3,00 ± 0,24 bA	3,07± 0,36 bBC	4,56 ± 0,74 aAB	5,16 ± 0,63 aABC
	5	3,83 ±1,08 aA	3,25 ± 0,30 aA	3,25 ± 0,66 aABC	3,60 ± 0,70 aABC	3,59 ± 0,36 aCD
0,75	25	3,86 ± 0,26 bA	3,77 ± 0,39 bA	3,71 ± 0,07 bABC	3,82 ± 0,59 bABC	5,18 ± 0,42 aAB
	5	3,29 ± 0,19 aA	3,49 ± 0,84 aA	3,22 ± 0,44 aABC	3,47 ± 1,13 aABC	4,04 ± 0,32 aBCD
1,00	25	3,11 ± 0,60 aA	4,38 ± 0,69 aA	4,00 ± 0,43 aAB	3,61 ± 0,50 aABC	4,33 ± 0,94 aBCD
	5	3,38 ± 0,36 aA	2,93 ± 0,63 aA	2,84 ± 28,4 aBC	2,87 ± 0,45 aC	3,32 ± 0,53 aD
1,25	25	2,93 ± 0,44 bA	2,97 ± 0,15 bA	4,79 ± 0,57 aA	4,13 ± 0,93 abABC	3,72 ± 0,98 abCD
	5	3,60 ± 0,56 aA	3,27± 0,03 aA	2,84 ± 0,55 aBC	3,63 ± 0,62 aABC	3,37 ± 0,52 aD
1,50	25	2,85 ± 0,80 bA	3,21 ± 0,81 bA	4,01 ± 0,64 abAB	5,10 ± 0,76 aA	3,90 ± 0,43 abBCD
	5	3,22 ± 0,66 aA	3,18 ± 0,31 aA	2,36 ± 0,22 aC	3,02 ± 0,37 aBC	3,17 ± 0,54 aD

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras minúsculas na horizontal e maiúsculas na vertical indicam diferenças entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$). TA = Temperatura de Armazenamento.

A firmeza não foi afetada pela irradiação e durante a estocagem a 5 °C. No entanto, a temperatura de 25 °C contribuiu para o aumento da firmeza ao longo do tempo, em todas as doses, exceto para 1,00 kGy. Esta alteração na firmeza foi constatada pelo aumento na resistência à penetração do probe e pela perda de turgidez das células, portanto, esteve relacionada com perda de qualidade (Tabela 1).

Os estudos que avaliaram a firmeza de alimentos de origem vegetal são controversos. Santos (2008) encontrou aumento na firmeza de pequis irradiados (0,4; 0,6 e 1,0 kGy) em relação ao controle, porém não foi significativo entre doses. Lima et al. (2001) não verificaram diferença na firmeza de cenouras entre as doses de 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 kGy e o controle. Jiang et al. (2010) trabalharam com cogumelo shitake irradiado e armazenado a 4 °C, concluíram que a dose de 1,0 kGy foi a mais efetiva na conservação pós-colheita, embora tenha promovido perda na firmeza. Em mangas, a aplicação da radiação gama influenciou os valores de firmeza em relação ao controle. Apenas as mangas irradiadas com 0,45 kGy apresentaram maior firmeza (SANTOS et al., 2010). Trigo et al. (2007) registraram que os valores da firmeza de melão não irradiado foram superiores aos das amostras irradiadas. Contudo, esta diferença atenuou-se ao longo do tempo. Resultados semelhantes foram encontrados por Boynton (2004) em que o controle apresentou valores superiores em relação às amostras irradiadas, demonstrando que a irradiação influenciou negativamente a firmeza. No entanto, pesquisas realizadas por Calore e Vieites (2003) em pêssego e por Pimentel e Walder (2004) em mamões demonstraram que baixas doses de radiação foram efetivas para conservar a firmeza dos frutos.

Os resultados das análises visuais evidenciaram que as pimentas estocadas a 25 °C tiveram perda de turgidez. Enquanto na temperatura de 5 °C, a turgidez se manteve durante todo período de estocagem (Figura 1). Molinari (2007) observou perda acentuada de turgidez em mamões tratados com 0,4 e 0,7 kGy, armazenados por 15 dias a 10 °C e 5 dias à temperatura ambiente.

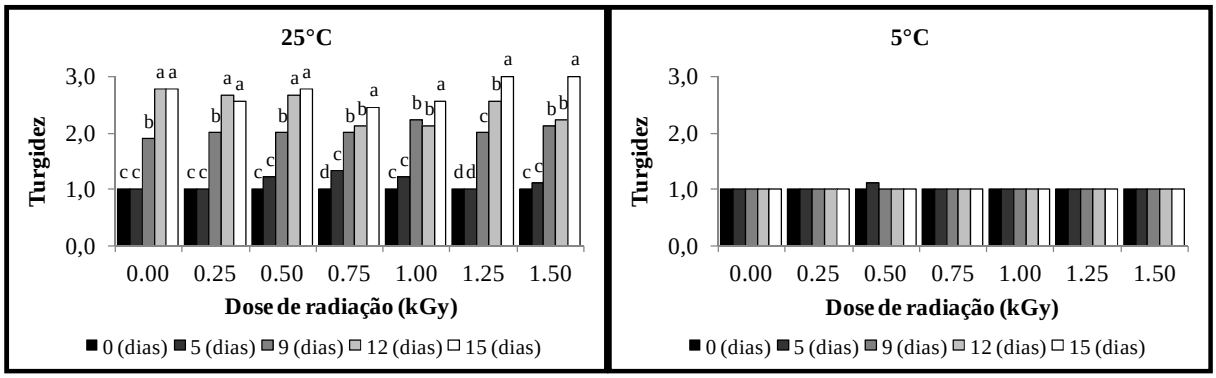

Figura 1 – Análise visual de turgidez (1 = túrgido, sem indício algum de perda de turgidez; 3 = perda de turgidez acentuada) da pimenta Dedo-de-moça submetida à radiação gama e a estocagem a 25 e 5 °C (valores médios). Diferentes letras, dentro de cada dose, indicam diferenças significativas entre os tempos de armazenamento ($p<0,05$).

A análise de regressão (Figura 2) mostrou pela inclinação da curva que, de modo geral, as pimentas armazenadas a 25 °C apresentaram aumento na firmeza e na turgidez com a perda de massa fresca, bem como perda de turgidez com o aumento da firmeza. Já nas pimentas estocadas a 5 °C, essa relação não ocorreu, evidenciando que a refrigeração manteve a qualidade inicial dos frutos por um período maior.

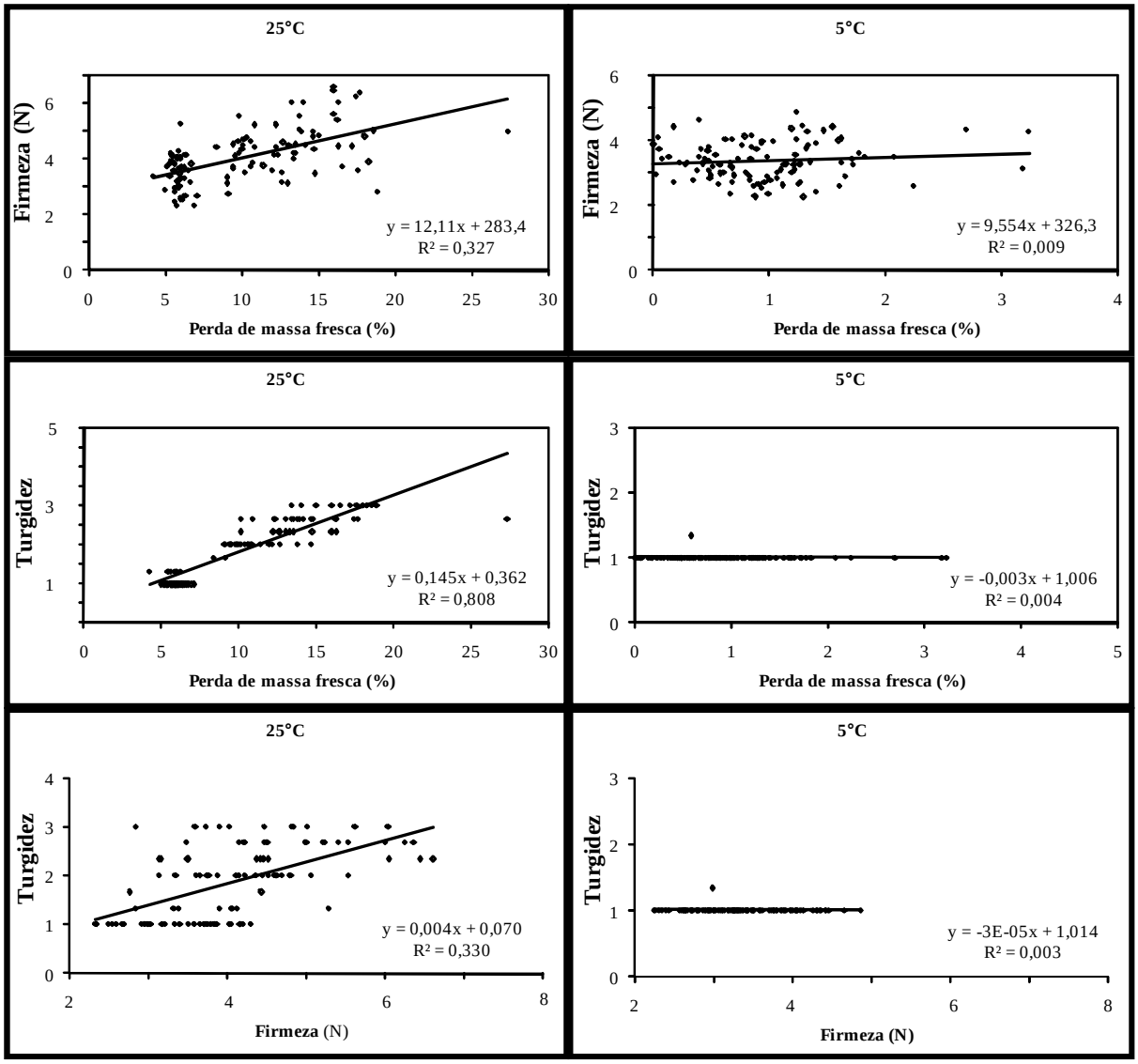

Figura 2 - Análise de regressão para firmeza, perda de massa fresca e turgidez de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C.

2.3.2 pH, Acidez Titulável (AT), Sólidos Solúveis (SS) e Ratio - Relação SS/AT

As pimentas acondicionadas a 5 °C apresentaram aumento do pH a partir da dose de 1,00 kGy, decaindo após nove dias de estocagem. Nos frutos armazenados a 25 °C apenas a dose 1,50 kGy diferiu do controle, ou seja, aumentou o pH, possivelmente, em decorrência da aceleração do metabolismo da pimenta. A partir de doze dias houve aumento do pH na temperatura ambiente e refrigerada em todas as doses (Figura 3). Rico et al. (2010) analisaram pimenta vermelha desidratada, irradiada com 10 kGy e relataram valores de pH (4,94 à 20 °C e 5,00 a 4 °C) semelhantes aos encontrados no presente estudo. Demonstraram que não houve diferença no pH das amostras irradiadas em relação ao controle após seis meses. Segundo Santos et al. (2010), valores de pH entre 3,3 e 3,4 de mangas irradiadas com doses de 0,24; 0,35 e 0,45 kGy, após 15 dias, não apresentaram diferença. Resultados similares foram

encontrados por Antunes, Filho e Souza (2003) em trabalho com amoras e por Françoso et al. (2008) em morangos.

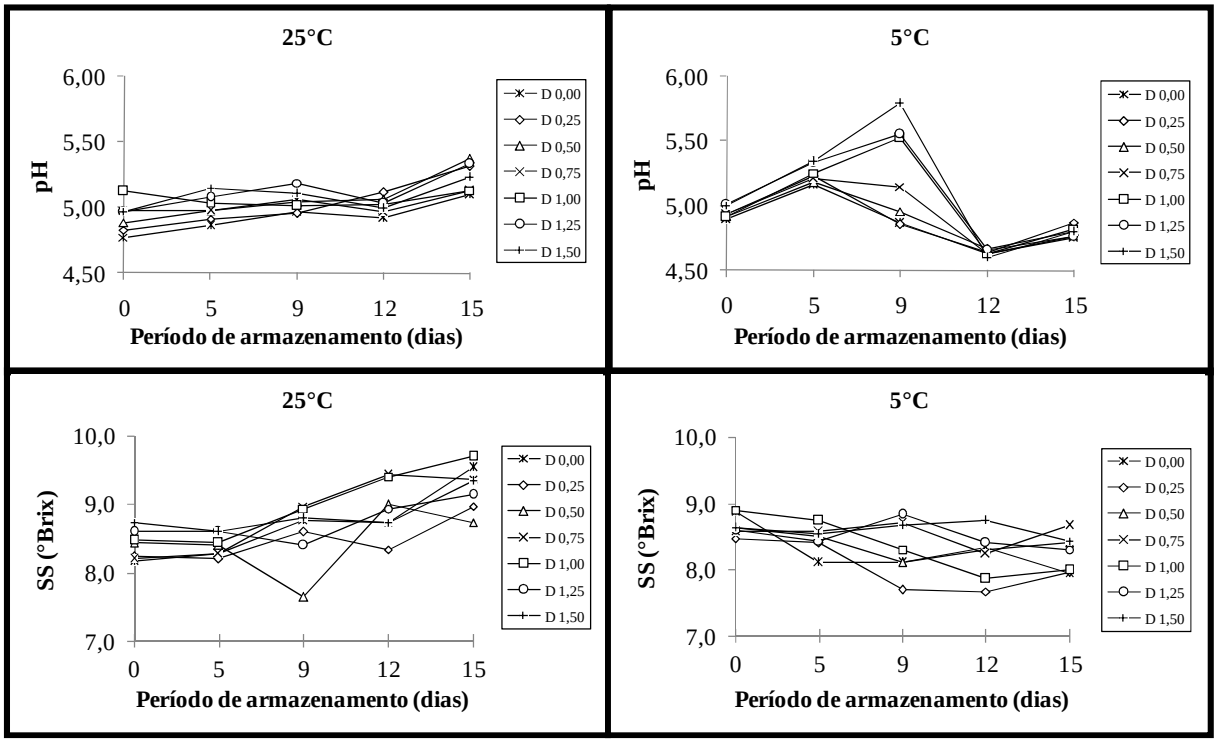

Figura 3 – pH e teor de sólidos solúveis (SS) de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C.

As doses de radiação empregadas não influenciaram o teor de SS da pimenta, independente da temperatura de armazenamento. Apesar disso, durante a estocagem a 25 °C houve aumento deste indice nas doses de 0,75 e 1,00 kGy (Figura 3). Resultados incongruentes foram encontrados por Santos (2008) e Françoso et al. (2008) que obtiveram redução dos SS em pequi e morango irradiados, respectivamente. Os SS representam os ácidos, os sais, as vitaminas, os aminoácidos, os açúcares e algumas pectinas encontrados nos vegetais (BLEINROTH, 1991). Após o armazenamento prolongado o teor de açúcares decresce em frutos climatérios, o que pode estar associada ao possível processo oxidativo respiratório que culmina com o consumo de reservas (LIMA; DURIGAN, 2000).

A AT está relacionada à soma dos ácidos orgânicos livres e complexados dos frutos. Durante o crescimento do fruto até seu completo desenvolvimento fisiológico esse valor aumenta, voltando a diminuir com o amadurecimento. Este comportamento está associado ao processo respiratório, no qual ocorre a oxidação desses ácidos, utilizados como substrato para o ciclo de Krebs (FENEMA, 2008). Nas pimentas, observou-se que doses maiores que 0,25 kGy provocaram alterações na AT, em ambas as temperaturas de armazenamento.

Durante a estocagem ocorreu redução da AT, a partir da dose 0,50 kGy, nos frutos estocados a 25 °C (Tabela 2), o que também foi encontrado por Santos (2008) e Françoso et al. (2008) em pequi e morango irradiados, respectivamente. Estes resultados sugerem que a irradiação e a estocagem a temperatura ambiente provocaram aceleração da maturação dos frutos.

Tal como ocorreu com o pH, pimentas estocadas a 5 °C aumentaram os valores de AT a partir das doses de 1,00 kGy até 9 dias e diminuíram após esse período.

Os resultados encontrados para o ratio revelaram que, durante a estocagem, a irradiação associada à refrigeração manteve essa relação. Nas pimentas irradiadas e estocadas a temperatura ambiente ocorreu aumento da ratio, ou seja, houve aceleração da maturação e perda de qualidade das pimentas (Tabela 2). Silva; Silva e Spoto (2008) observaram em abacaxi irradiado valores baixos da razão (SS/AT), devido aos ácidos presentes nesses frutos. Em pequi, esta relação não apresentou diferença, apenas as amostras irradiadas com 0,6 kGy diferiram dos demais tratamentos diminuindo esse índice (SANTOS, 2008). Já em manga a dose de 0,45 kGy proporcionou aumento (SANTOS et al., 2010). Xavier et al. (2009) descreveram que os valores do ratio entre as duas variáveis envolvidas no índice de maturação são mais representativos que a medida isolada de açúcar e de acidez, pois essa razão reflete melhor a qualidade dos frutos.

Tabela 2 – Acidez total titulável (mg 100mg^{-1}) e ratio de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C..

Dose (kGy)	TA (°C)	Tempo de armazenamento (dias)				
		1	5	9	12	15
ACIDEZ TITULÁVEL (AT)						
0	25	0,18 ± 0,01 ^{aA}	0,15 ± 0,01 ^{aB}	0,17 ± 0,01 ^{aCD}	0,16 ± 0,02 ^{aABCD}	0,18 ± 0,02 ^{aABC}
	5	0,18 ± 0,02 ^{aA}	0,20 ± 0,02 ^{aAB}	0,17 ± 0,01 ^{aCD}	0,20 ± 0,02 ^{aA}	0,20 ± 0,04 ^{aA}
0,25	25	0,18 ±0,02 ^{aA}	0,17 ±0,01 ^{aAB}	0,17 ± 0,01 ^{aCD}	0,14 ± 0,01 ^{aD}	0,15 ± 0,03 ^{aBCDE}
	5	0,17 ± 0,03 ^{aA}	0,20 ± 0,01 ^{aAB}	0,18 ± 0,02 ^{aCD}	0,19 ± 0,01 ^{aABCD}	0,19 ± 0,02 ^{aAB}
0,5	25	0,18 ± 0,02 ^{aA}	0,17 ± 0,01 ^{aAB}	0,18 ± 0,04 ^{aCD}	0,15 ± 0,01 ^{abBCD}	0,12 ± 0,04 ^{bE}
	5	0,17 ± 0,01 ^{bA}	0,21 ± 0,02 ^{aA}	0,18 ± 0,02 ^{abBCD}	0,18 ± 0,03 ^{abABCD}	0,19 ± 0,02 ^{abAB}
0,75	25	0,18 ± 0,04 ^{aA}	0,16 ± 0,01 ^{aB}	0,17 ± 0,01 ^{aCD}	0,16 ± 0,01 ^{aABCD}	0,16 ± 0,02 ^{aABCDE}
	5	0,17 ± 0,02 ^{bA}	0,19 ± 0,03 ^{abAB}	0,23 ± 0,02 ^{aAB}	0,19 ± 0,02 ^{abABCD}	0,18 ± 0,02 ^{bABC}
1,00	25	0,19 ± 0,02 ^{aA}	0,15 ± 0,01 ^{bB}	0,17 ± 0,02 ^{abCD}	0,15 ± 0,00 ^{bBCD}	0,16 ± 0,03 ^{abABCDE}
	5	0,19 ± 0,02 ^{aA}	0,19 ± 0,03 ^{aAB}	0,21 ± 0,02 ^{aABCD}	0,19 ± 0,01 ^{aABC}	0,18 ± 0,01 ^{aABCD}
1,25	25	0,20 ± 0,02 ^{aA}	0,16 ± 0,01 ^{abB}	0,17 ± 0,02 ^{abCD}	0,15 ± 0,01 ^{bCD}	0,13 ± 0,03 ^{bDE}
	5	0,18 ± 0,02 ^{aA}	0,19 ± 0,02 ^{aAB}	0,21 ± 0,01 ^{aABC}	0,20 ± 0,04 ^{aABC}	0,19 ± 0,03 ^{aABC}
1,5	25	0,20 ± 0,02 ^{aA}	0,15 ± 0,02 ^{bB}	0,16 ± 0,00 ^{abD}	0,16 ± 0,02 ^{abABCD}	0,14 ± 0,01 ^{bCDE}
	5	0,18 ± 0,02 ^{bA}	0,19 ± 0,02 ^{bAB}	0,24 ± 0,01 ^{aA}	0,20 ± 0,01 ^{bAB}	0,17 ± 0,02 ^{bABCD}
RATIO (SS/AT)						
0	25	46,0 ± 3,7 ^{aA}	54,8 ± 2,1 ^{aAB}	53,0 ± 2,4 ^{aAB}	55,1 ± 2,7 ^{aABC}	53,3 ± 8,5 ^{aCDEF}
	5	49,1 ± 4,8 ^{aA}	41,3 ± 1,0 ^{aBC}	46,3 ± 3,1 ^{aABCD}	41,0 ± 2,9 ^{aCD}	40,4 ± 6,3 ^{aF}
0,25	25	47,0 ± 3,3 ^{cA}	47,7 ± 4,5 ^{cABC}	49,5 ± 2,4 ^{bcABCD}	60,0 ± 1,4 ^{abAB}	63,6 ± 15,7 ^{aABC}
	5	50,6 ± 6,9 ^{aA}	42,9 ± 2,4 ^{aABC}	43,5 ± 1,0 ^{aABCD}	40,6 ± 1,7 ^{aD}	42,1 ± 2,9 ^{aF}
0,5	25	48,0 ± 4,9 ^{bcA}	48,0 ± 2,0 ^{bcABC}	45,2 ± 10,7 ^{cABCD}	58,4 ± 4,0 ^{bAB}	75,7 ± 14,1 ^{aA}
	5	51,8 ± 1,7 ^{aA}	39,4 ± 2,4 ^{bC}	43,5 ± 1,2 ^{abABCD}	45,7 ± 4,1 ^{abBCD}	44,3 ± 1,7 ^{abF}
0,75	25	47,3 ± 7,7 ^{bA}	51,5 ± 5,7 ^{abABC}	52,0 ± 0,5 ^{abABC}	58,9 ± 0,6 ^{abAB}	59,4 ± 5,2 ^{aBCDE}
	5	51,1 ± 5,0 ^{aA}	44,8 ± 5,5 ^{abABC}	38,0 ± 1,4 ^{bCD}	43,3 ± 6,2 ^{abCD}	47,2 ± 4,7 ^{abEF}
1,00	25	44,1 ± 3,7 ^{bA}	55,8 ± 3,8 ^{aA}	53,6 ± 6,3 ^{abA}	62,9 ± 0,4 ^{aA}	61,8 ± 6,8 ^{aABCD}
	5	46,4 ± 3,5 ^{aA}	45,6 ± 7,3 ^{aABC}	39,2 ± 3,2 ^{aBCD}	39,9 ± 1,5 ^{aD}	45,2 ± 2,1 ^{aEF}
1,25	25	43,9 ± 2,5 ^{cA}	53,9 ± 1,8 ^{bcAB}	50,4 ± 2,3 ^{bcABC}	61,1 ± 1,6 ^{abA}	72,3 ± 10,4 ^{aAB}
	5	48,9 ± 4,2 ^{aA}	44,4 ± 5,0 ^{aABC}	41,3 ± 1,0 ^{aABCD}	43,7 ± 6,6 ^{aCD}	44,8 ± 8,4 ^{aF}
1,5	25	43,8 ± 2,4 ^{cA}	56,0 ± 3,1 ^{abA}	55,3 ± 1,6 ^{bcA}	53,2 ± 11,7 ^{bcABCD}	67,5 ± 5,2 ^{aABC}
	5	49,0 ± 3,7 ^{aA}	44,8 ± 4,2 ^{abABC}	35,4 ± 0,6 ^{bD}	43,4 ± 1,6 ^{abCD}	49,0 ± 2,5 ^{aDEF}

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras minúsculas na horizontal e maiúsculas na vertical indicam diferenças entre os tratamentos (Tukey, $p < 0,05$). TA = Temperatura de Armazenamento.

2.3.3 Análise Visual e Instrumental de Cor

A análise visual de cor revelou que as amostras estocadas a 25 °C tornaram-se mais vermelha ao longo da estocagem, enquanto a 5 °C a coloração inicial das pimentas se manteve por um período maior (Figura 4). A refrigeração promoveu retardo no processo de maturação das pimentas, devido à diminuição na taxa respiratória, confirmada pela não alteração da cor dos frutos. Em mamão “Golden” tipo exportação, irradiado com doses de 0,4 e 0,7 kGy, observou-se efeito significativo na interação das doses de radiação com o tempo de armazenamento, na coloração da casca dos mamões (MOLINARI, 2007).

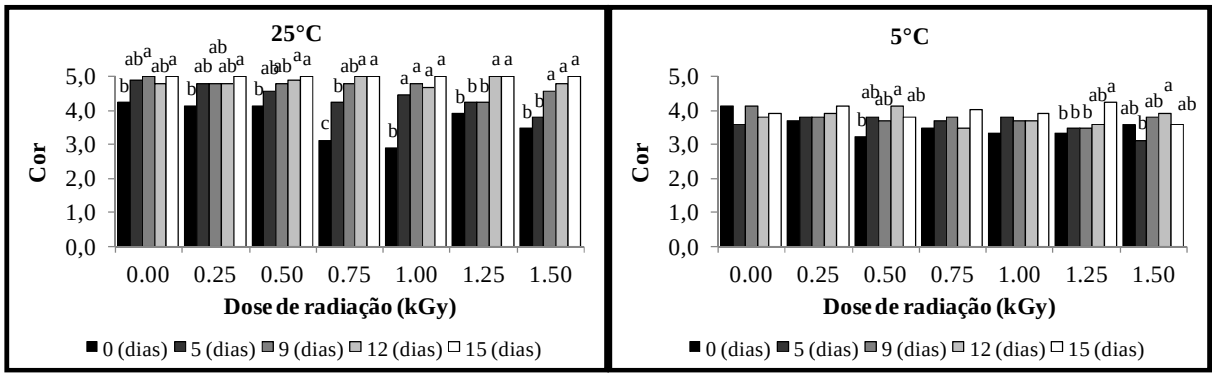

Figura 4 – Análise visual de cor (1 = predomina a cor verde; 5 = fruto completamente vermelho) de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C (valores médios). Diferentes letras, dentro de cada dose, indicam diferenças significativas entre os tempos de armazenamento ($p<0,05$).

Os resultados da avaliação instrumental de cor foram coincidentes com os da análise visual, uma vez que, durante a estocagem a 25 °C os valores do ângulo métrico hue (*H*) decresceram, evidenciando aumento da intensidade da cor vermelha. As doses de radiação empregadas não influenciaram na alteração da cor (Tabela 3). Resultados semelhantes foram relatados por Pimentel e Walder (2004) que irradiaram mamões com 0,75 kGy e estocaram a 11 e 24 °C. Os autores não encontraram interação entre a irradiação e o ângulo hue, indicando que a irradiação não inibiu o desenvolvimento da cor.

A irradiação e a estocagem não afetaram a coordenada de luminosidade (L), exceto na dose 1,50 kGy após 15 dias de armazenamento a 5 °C. Tal como ocorreu na luminosidade, a saturação da cor, croma (*C*), não diferiu entre a maioria das doses, ao longo do tempo, a 25 °C. Foi observado tendência a aumento da intensidade da cor, a 5 °C. Morangos frescos foram tratados por irradiação para determinar os efeitos sobre atributos de qualidade pós-colheita e vida útil. Os valores de L foram maiores para os frutos tratados com 2 kGy do que para 0,0 e 0,5 kGy (YU et al., 2009).

Tabela 3 – Coordenadas de luminosidade (L), croma (*C*) e ângulo hue (*H*) de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C.

Dose (kGy)	TA (°C)	Tempo de armazenamento (dias)				
		1	5	9	12	15
		LUMINOSIDADE				
0,00	25	33,0 ± 1,1 ^{aA}	33,7 ± 3,4 ^{aA}	32,2 ± 3,1 ^{aA}	33,8 ± 0,4 ^{aA}	32,9 ± 1,0 ^{aB}
	5	36,3 ± 1,5 ^{aA}	31,8 ± 2,6 ^{aA}	36,1 ± 2,4 ^{aA}	33,1 ± 3,7 ^{aA}	37,4 ± 3,1 ^{aAB}
0,25	25	33,8 ± 5,2 ^{aA}	33,4 ± 4,4 ^{aA}	31,4 ± 1,7 ^{aA}	33,9 ± 1,1 ^{aA}	34,4 ± 3,0 ^{aB}
	5	35,5 ± 3,3 ^{aA}	33,1 ± 2,0 ^{aA}	33,0 ± 1,4 ^{aA}	33,9 ± 1,3 ^{aA}	33,4 ± 3,5 ^{aB}
0,50	25	38,8 ± 0,3 ^{aA}	33,3 ± 2,1 ^{aA}	31,4 ± 0,3 ^{aA}	33,5 ± 1,8 ^{aA}	34,2 ± 0,6 ^{aB}
	5	37,4 ± 1,3 ^{aA}	37,1 ± 0,9 ^{aA}	35,6 ± 1,4 ^{aA}	32,6 ± 4,8 ^{aA}	35,9 ± 1,4 ^{aAB}
0,75	25	36,0 ± 3,3 ^{aA}	32,9 ± 4,0 ^{aA}	32,6 ± 1,1 ^{aA}	33,1 ± 0,9 ^{aA}	33,8 ± 0,1 ^{aB}
	5	35,6 ± 2,9 ^{aA}	35,0 ± 2,0 ^{aA}	35,6 ± 1,3 ^{aA}	35,7 ± 3,2 ^{aA}	34,5 ± 3,1 ^{aB}
1,00	25	35,2 ± 1,3 ^{aA}	33,6 ± 2,4 ^{aA}	33,7 ± 0,9 ^{aA}	34,8 ± 1,8 ^{aA}	32,4 ± 1,1 ^{aB}
	5	35,4 ± 1,3 ^{aA}	34,7 ± 2,4 ^{aA}	34,8 ± 0,8 ^{aA}	35,4 ± 3,3 ^{aA}	35,7 ± 3,5 ^{aAB}
1,25	25	38,5 ± 4,5 ^{aA}	35,8 ± 3,2 ^{aA}	34,3 ± 5,1 ^{aA}	35,6 ± 1,5 ^{aA}	35,8 ± 1,7 ^{aAB}
	5	36,3 ± 5,2 ^{aA}	35,1 ± 1,1 ^{aA}	32,3 ± 5,0 ^{aA}	38,4 ± 4,3 ^{aA}	36,3 ± 2,1 ^{aAB}
1,50	25	35,9 ± 3,1 ^{aA}	35,6 ± 2,1 ^{aA}	32,5 ± 1,7 ^{aA}	35,0 ± 1,7 ^{aA}	34,6 ± 1,5 ^{aB}
	5	35,6 ± 1,7 ^{bA}	35,7 ± 1,8 ^{bA}	34,9 ± 1,4 ^{bA}	37,1 ± 1,5 ^{abA}	45,1 ± 21,5 ^{aA}
		CROMA				
0,00	25	32,2 ± 3,4 ^{aA}	39,0 ± 1,5 ^{aAB}	36,8 ± 3,0 ^{aA}	36,0 ± 2,5 ^{aA}	36,4 ± 0,3 ^{aA}
	5	33,2 ± 4,4 ^{aA}	36,0 ± 3,8 ^{aAB}	38,1 ± 5,0 ^{aA}	37,0 ± 3,3 ^{aA}	35,9 ± 8,2 ^{aA}
0,25	25	33,5 ± 3,7 ^{aA}	37,3 ± 2,0 ^{aAB}	35,4 ± 1,4 ^{aA}	37,4 ± 1,9 ^{aA}	36,5 ± 1,4 ^{aA}
	5	31,3 ± 5,8 ^{aA}	34,5 ± 3,0 ^{aAB}	35,8 ± 2,9 ^{aA}	33,1 ± 2,5 ^{aA}	31,9 ± 6,3 ^{aAB}
0,50	25	34,0 ± 1,7 ^{aA}	40,0 ± 1,2 ^{aAB}	36,9 ± 1,6 ^{aA}	35,9 ± 1,9 ^{aA}	36,7 ± 1,3 ^{aA}
	5	29,7 ± 3,1 ^{bA}	38,6 ± 0,4 ^{aAB}	35,0 ± 2,9 ^{abA}	38,4 ± 4,4 ^{aA}	32,2 ± 3,3 ^{abAB}
0,75	25	32,5 ± 3,1 ^{aA}	38,6 ± 0,8 ^{aAB}	38,0 ± 2,4 ^{aA}	36,8 ± 0,6 ^{aA}	36,1 ± 0,8 ^{aA}
	5	29,1 ± 3,3 ^{abA}	33,6 ± 1,6 ^{abAB}	37,3 ± 6,4 ^{aA}	32,5 ± 1,1 ^{abA}	28,4 ± 4,4 ^{bAB}
1,00	25	26,4 ± 4,2 ^{bA}	41,6 ± 0,6 ^{aA}	38,0 ± 1,5 ^{aA}	39,1 ± 1,8 ^{aA}	35,8 ± 1,0 ^{aA}
	5	24,8 ± 3,4 ^{aA}	31,1 ± 1,8 ^{aB}	33,1 ± 4,4 ^{aA}	31,2 ± 7,4 ^{aA}	30,8 ± 2,6 ^{aAB}
1,25	25	32,9 ± 1,8 ^{aA}	40,9 ± 2,3 ^{aAB}	36,9 ± 1,9 ^{aA}	39,1 ± 3,0 ^{aA}	35,5 ± 4,4 ^{aA}
	5	28,8 ± 7,4 ^{aA}	32,3 ± 4,2 ^{aAB}	29,5 ± 8,0 ^{aA}	31,6 ± 5,9 ^{aA}	31,1 ± 5,3 ^{aAB}
1,50	25	31,7 ± 2,6 ^{aA}	37,2 ± 2,4 ^{aAB}	36,6 ± 5,4 ^{aA}	39,0 ± 0,9 ^{aA}	37,3 ± 2,2 ^{aA}
	5	27,0 ± 4,5 ^{abA}	32,6 ± 2,4 ^{aAB}	30,3 ± 3,4 ^{abA}	32,6 ± 3,9 ^{aA}	22,9 ± 5,8 ^{bB}
		ÂNGULO HUE				
0,00	25	57,6 ± 5,4 ^{aAB}	37,7 ± 5,3 ^{abC}	32,8 ± 0,5 ^{bB}	34,7 ± 5,7 ^{bC}	31,8 ± 2,1 ^{bD}
	5	48,5 ± 5,4 ^{aB}	62,8 ± 16,0 ^{aABC}	51,7 ± 8,3 ^{aAB}	58,7 ± 5,9 ^{aABC}	61,6 ± 16,3 ^{aABC}
0,25	25	57,3 ± 3,0 ^{aAB}	41,7 ± 8,6 ^{abBC}	39,1 ± 10,6 ^{abAB}	34,0 ± 2,6 ^{bC}	34,0 ± 2,6 ^{bCD}
	5	57,2 ± 11,1 ^{aAB}	59,1 ± 7,7 ^{aABC}	56,6 ± 13,5 ^{aAB}	55,0 ± 7,4 ^{aABC}	58,2±14,1^{aABCD}
0,50	25	51,6 ± 10,3 ^{aB}	42,8 ± 0,9 ^{aBC}	40,3 ± 10,6 ^{aAB}	37,8 ± 11,3 ^{aC}	31,6 ± 2,5 ^{aD}
	5	70,6 ± 8,1 ^{aAB}	63,7 ± 7,8 ^{abABC}	51,5 ± 1,6 ^{abAB}	43,0 ± 10,0^{bABC}	60,4 ± 18,2^{abABC}
0,75	25	75,3 ± 12,8 ^{aAB}	46,2 ± 12,3 ^{bBC}	35,9 ± 2,8 ^{bAB}	32,2 ± 0,7 ^{bC}	31,4 ± 1,7 ^{bD}
	5	67,1 ± 7,2 ^{aAB}	66,7 ± 2,8 ^{aAB}	52,2 ± 11,7 ^{aAB}	56,8 ± 3,3 ^{aABC}	65,8 ± 6,0 ^{aAB}
1,00	25	81,2 ± 12,0 ^{aA}	41,4 ± 3,3 ^{bBC}	37,1 ± 1,9 ^{bAB}	36,7 ± 4,7 ^{bC}	31,9 ± 1,4 ^{bD}
	5	80,0 ± 16,1 ^{aA}	64,9 ± 9,0 ^{aABC}	61,0 ± 8,6 ^{aA}	65,6 ± 19,1 ^{aAB}	69,9 ± 7,5 ^{aAB}
1,25	25	61,0 ± 13,9 ^{aAB}	47,3 ± 9,9 ^{abBC}	41,4 ± 5,1 ^{abAB}	35,7 ± 2,8 ^{bC}	36,8 ± 4,9 ^{bCD}
	5	74,9 ± 4,7 ^{aAB}	64,2 ± 6,3 ^{aABC}	61,0 ± 27,0 ^{aA}	67,4 ± 9,9 ^{aA}	52,5 ± 10,9 ^{aBCD}
1,50	25	67,3 ± 7,0 ^{aAB}	48,5 ± 8,6 ^{abBC}	48,0 ± 23,2 ^{abAB}	39,1 ± 9,4 ^{bBC}	35,6 ± 2,2 ^{bCD}
	5	73,7 ± 3,3 ^{abcAB}	78,2 ± 6,7 ^{abA}	53,6 ± 8,2 ^{cAB}	56,4 ± 6,6 ^{bcABC}	81,0 ± 24,1 ^{aA}

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras minúsculas na horizontal e maiúsculas na vertical representam diferença estatística ($p<0,05$). TA = Temperatura de Armazenamento.

2.3.4 Incidência de doenças

A análise visual das pimentas armazenadas a 25 °C, revelou que as pimentas irradiadas com as maiores doses de radiação gama de 1,25 e 1,50 kGy apresentaram maior incidência de doenças em relação às amostras controle (Figura 5). Dentro de cada dose a incidência de doenças aumentou ao longo dos dias de armazenamento.

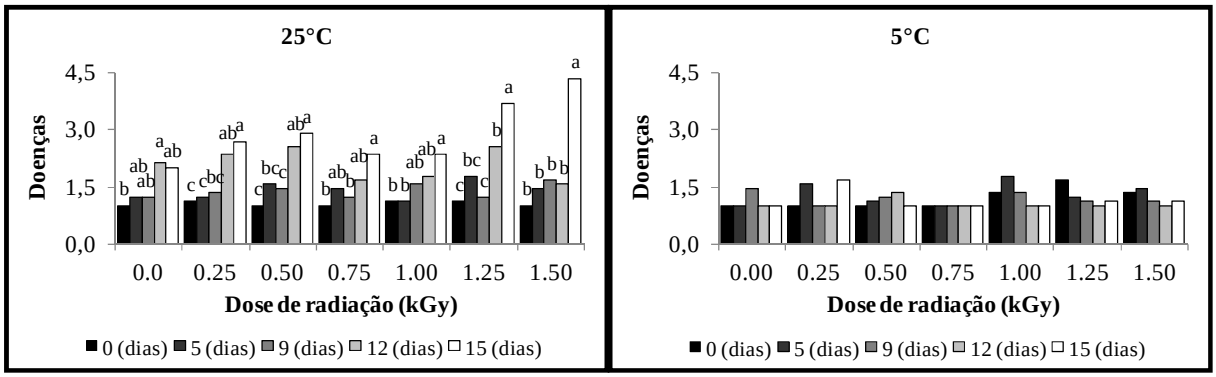

Figura 5 – Análise visual de incidência de doenças (1 = 0% (ausente); 5 = mais de 51% da superfície afetada) de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada por 15 dias, a 25 e 5 °C (valores médios). Diferentes letras, dentro de cada dose, indicam diferenças significativas entre os tempos de armazenamento ($p<0,05$).

As doenças pós-colheita em frutos de pimenta são provocadas, principalmente, pelo fungo *Colletotrichum* spp. que causa a antracnose e pela bactéria *Pectobacterium* spp. que causa a podridão mole. Essas doenças podem provocar grandes perdas econômicas devido ao descarte dos frutos na comercialização. Outros fungos que podem causar podridão em pimentas, sobretudo após a ocorrência de ferimentos e danos mecânicos são *Geotrichum* sp. e *Rhizopus* sp. Além disso, o pedúnculo pode ser atacado por fungos, como *Alternaria alternata, Fusarium* spp. e *Cladosporium fulvum*, e por bactérias, como *Pectobacterium* spp., o que compromete a qualidade visual do produto (RIBEIRO, 2008).

Apesar de, a radiação ionizante reduzir perdas durante a estocagem, prorrogar o prazo de validade e ou garantir a segurança microbiológica e parasitológica de alimentos (FARKAS, 2006), neste estudo doses entre 0,25 a 1,50 kGy não foram efetivas para diminuir a incidência de doenças na pimenta. Este resultado pode ser explicado pelas doses de radiação empregadas. De acordo com a *Food and Drug Administration* – FDA doses de radiação abaixo de 2 kGy são usadas para diminuir brotamento de vegetais e envelhecimento de frutas, sendo necessário doses mais elevadas, até 10 kGy para reduzir níveis de microrganismos patogênicos. Além disso, a irradiação pode estressar e acelerar o metabolismo do vegetal, deixando-o mais suscetível ao ataque de fungos e bactérias (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2011).

Na temperatura de 5 °C não houve aumento significativo de doenças entre as doses e entre os tempos de armazenamento, demonstrando que a refrigeração teve efeito benéfico no controle de patógenos. No entanto, Molinari (2007) revelou que a incidência de doenças foi a principal causa de descarte de mamão irradiado com doses de 0,4 e 0,7 kGy conservados sob refrigeração, sendo a antracnose a mais frequente.

2.4 Conclusões

As doses de radiação aplicadas não foram promissoras para estender a vida útil de Dedo-de-moça in natura. Houve degradação da qualidade visual e das características físico-química dos frutos estocados a 25 °C . Nas amostras irradiadas e não irradiadas, a 5 °C, as características visuais e físico-químicas foram preservadas, com exceção do pH, AT e ratio.

Conclui-se que a refrigeração foi mais efetiva que a irradiação, nas doses pesquisadas, para aumentar a vida útil e manter a qualidade da pimenta Dedo-de-moça.

2.5 Referências

AKBUDAK, B.; TEZCAN, H.; ERIS, A. Effect of low-dose gamma irradiation on the quality of sweet cherry during storage. **Italian Journal of Food Science**, Rome, v. 20, n. 3, p. 381-390, 2008.

ANTUNES, L. E. C.; FILHO, D. J.; SOUZA C. M. Conservação pós-colheita de frutos de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 413-419, 2003.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 18. ed. Arlington: AOAC, 2005.

BOYNTON, B. B. **Determination of the effects of modified atmoshpere packaging and irradiation on sensory characteristics, microbiology, texture and color of fresh-cut cantaloupe using modeling for package design**. Disponível em: <http://etd.fcla.edu/UF/UFE0008326/boynton>. Acesso: 10 maio 2011.

BLEINROTH, E.W. Determinação do ponto de colheita, maturação e conservação das frutas. In: ITAL. **Industrialização de frutas**. Campinas: ITAL, 1991. p.1-15 (Manual Técnico, 8).

CALORE, L.; VIEITES, R. L. Conservação de pêssegos 'Biuti' por irradiação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 53-57, 2003.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

DUTRA, A. S. et al. Cinética da degradação da textura de pimentas em conserva. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 25, n. 2, p. 267-274, 2007.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science and Technology,** Freising, v. 17, p. 148-152, 2006.

FENEMA, Q. R. **Food chemistry.** New York: Marcel Dekker, 1985.

FRANÇOSO, I. L. T. et al. Alterações físico-químicas em morangos (*Fragaria anassa* Duch.) irradiados e armazenados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 614-619, 2008.

JIANG, T. et al. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Food Chemistry**, Barking, v. 122, p. 761-767, 2010.

KHALIL, S. A. et al. Effects of gamma irradiation on quality of Pakistani blood red oranges (*Citrus sinensis* L. *Osbeck*). **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, n. 44, p. 927-931, 2009.

LIMA, K. S. C. et al. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Doucos carota L.*) cv. Nantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 202-208, 2001.

LIMA, M. A.; DURIGAN, J. F. Conservação de goiaba 'Pedro Sato' associando-se refrigeração com diferentes embalagens plásticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 232-236, 2000.

MANOLOPOULOU, H. et al. Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: quality criteria. **Biosystem Engineering,** London, v. 106, p. 535-543, 2010.

MIZANI, M. et al. Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films. **Radiation Physical and Chemistry**, Oxford, v. 78, p. 806-809, 2009.

MODA, E. M. **Aumento da vida útil de cogumelo *Pleurotus sajor-caju in natura* com aplicação de radiação gama**. 2008. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2008.

MOLINARI, A. C. F. **Métodos combinados para preservar a qualidade pós-colheita de mamão "Golden" tipo exportação.** 2007. 75 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MOREHOUSE, M. Food irradiation: US regulatory considerations. **Radiation Physical and Chemistry**, Oxford, v. 63, p. 281-284, 2002.

PIMENTEL, R. M. A.; WALDER, J. M. M. Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 146-150, 2004.

PINTO, C, M. F. et al. Plantas condimentares: do uso doméstico à comercialização; clheita e manejo pós-colheita da pimenta. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, p. 62-71, 2010.

RELA, P.R. Cresce o uso de irradiação para conservação de alimentos. **Revista de Engenharia de Alimentos**, São Paulo, v. 6, n. 29, p. 26-29, 2000.

RIBEIRO, C. S. C. **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008.

RICO, C. W. et al. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 1012-1016, 2010.

SAS Institute. **SAS® user's guide:** statistics. Cary: SAS Institute, 1992.

SANTOS, A. M. G. et al. Podridão por *Fusicoccum* em mangas submetidas a baixas doses de radiação gama. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 45, p. 1066-1072, 2010.

SANTOS, M. R. L. **Efeitos da radiação gama do ^{60}Co em frutos de pequi (Caryocar *brasiliense* Camb.)**. 2008. 75 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2008.

SILVA, J. M.; SILVA, J. P.; SPOTO, M. H. F. Características físico-químicas de abacaxi submetido à tecnologia de radiação ionizante como método de conservação pós-colheita. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 139-145, 2008.

TOPUZ, A.; OZDEMIR, F. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. **Journal of Food Composition and Analyses**, San Diego, v. 20, p. 596-602, 2007.

TRIGO, M. J. et al. **Efeito da radiação gama em melão fresco minimamente processado.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2007. p. 359-363.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Treatment schedules T 100:** schedules for fruits, nuts and vegetables; treatment Manual 5, 04/2011-59. Disponível em: <http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment_pdf/05_02_t100schedules.pdf.>. Acesso: 17 Jun. 2011.

YU, L. et al. Quality of electron-beam irradiated strawberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 5, p. 1084-1087, 1995.

XAVIER, I. F. et al. Qualidade pós-colheita da manga 'Tommy Atkins' comercializadas em diferentes estabelecimentos comerciais no município de Mossoró. **Revista da Caatinga**, Mossoró, v. 22, p. 7-13, 2009.

3. AVALIAÇÃO DA IRRADIAÇÃO E DA PASTEURIZAÇÃO PARA CONSERVAÇÃO DE PIMENTA DEDO-DE-MOÇA IN NATURA E EM POLPA

Resumo

Pimentas *Capsicum* são altamente susceptíveis à deterioração pós-colheita, assim, têm em geral uma vida útil curta. As técnicas de irradiação e de pasteurização são efetivas para aumento da vida-útil dos alimentos. Foram avaliados os efeitos da irradiação e da pasteurização sobre a vida útil de pimenta Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* in natura e processada na forma de polpa. Realizaram-se três experimentos: 1) com a utilização de frutos in natura; 2 e 3) com polpa. No experimento 1, os frutos foram embalados em bandejas de isopor recobertas com filme de PVC, submetidos a radiação gama nas doses de 1, 2 e 3 kGy e estocados a 5 °C. Análises do teor de carotenoides totais foram realizadas com 1, 7, 15 e 30 dias. Nos experimentos 2 e 3 frutos selecionados foram, higienizados e processados para obtenção da polpa de acordo com as boas práticas de fabricação. No experimento 2, foram avaliadas as doses de 2 e 3 kGy na polpa adicionada ou não de ácido cítrico 5% e envazada em frascos de vidro. Submeteu-se o produto às análises de mesófilos aeróbios, sólidos solúveis (SS), pH e cor instrumental com 1, 15, 30 e 60 dias de estocagem, a 25 °C. No experimento 3, avaliou-se a dose de 3 kGy e a pasteurização em bancada (85 °C/3min.) em polpa acidificada com acido cítrico 5%. As amostras foram estocada a 25 °C, em frascos de vidro e em embalagem aluminizada multicamadas e analisadas quanto ao pH, SS, cor, umidade, acidez titulável e ratio. Tratamentos controle foram adotados em todos os experimentos. A irradiação contribuiu para aumentar teor de carotenoides totais (85,9 $\mu g\ g^{-1}$) na pimenta in natura, no entanto houve degradação mais rápida dos frutos irradiados (experimento 1). No experimento 2, as amostras irradiadas com doses de 2 e 3 kGy acidificadas e sem acidificação não provocaram alterações no pH (4,8) e nos SS (10,3) da polpa de pimenta, até 30 dias de estocagem, a 25 ºC, apenas as coordenadas de cor foram afetadas. A dose de 3 kGy inibiu o crescimento de mesófilos até 60 dias. Nos demais tratamentos evidenciou-se aumento da contaminação em até 4 ciclos logarítmicos. No experimento 3, as polpas acidificadas submetidas a dose de 3 kGy ou a pasteurização apresentaram visível contaminação aos 9 dias. Conclui-se que a radiação gama com doses até 3 kGy associada a acidificação ou a pasteurização em bancada não foram promissoras para aumentar a vida útil da pimenta in natura e da polpa de pimenta por períodos superiores a 9 dias, a 25 °C.

Palavras-chave: Vida útil. Qualidade. Mesófilos aeróbios. Carotenoides. Radiação gama.

Abstract

Capsicum peppers are highly susceptible to post-harvest deterioration, thus, generally has a short shelf-life. The techniques of irradiation and pasteurization are effective for increasing the shelf-life of foods. The effects of irradiation and pasteurization on the shelf-life of pepper (Dedo-de-moça) *Capsicum baccatum* var. *pendulum* fresh and processed in the form of pulp were evaluated. Three experiments were conducted: 1) with the use of fresh fruits; 2 and 3) with the pulp. In experiment 1, the fruits were packed in Styrofoam trays covered with PVC film, exposed to gamma radiation at doses of 1, 2 and 3 kGy and stored at 5 °C. Analyses of the total carotenoids were performed at 1, 7, 15 and 30 days. In the experiments 2 and 3 selected fruits were cleaned and processed to obtain the pulp in accordance with good manufacturing practices. In experiment 2, the doses 2 and 3 kGy were evaluated in the pulp added or not of 5% citric acid, packed in glass vials. The product was subjected to analysis of aerobic mesophilic, soluble solids (SS), pH and instrumental color with 1, 15, 30 and 60 days of storage at 25 °C. In experiment 3, we evaluated the 3 kGy gamma radiation dose and laboratorial pasteurization (85 °C/3 min) in pulp acidified with citric acid 5%. The samples were stored at 25 °C in glass bottles and multilayer aluminized packaging and analyzed for pH, SS, color, moisture, titulable acidity and ratio. Control treatments were adopted in all experiments. Irradiation contributed to increased levels of total carotenoids (85.9 mg g^{-1}) in fresh pepper, but there was more rapid degradation of irradiated fruits (experiment 1). In experiment 2, the radiation doses of 2 and 3 kGy did added or not of citric acid not significantly change pH (4.8) and SS (10.3) in pepper pulp, up to 30 days of storage at 25 °C, and only the color coordinates were affected. The dose of 3 kGy inhibited the growth of mesophilic up to 60 days. The other treatments showed an increase in the contamination to 4 log cycles. In Experiment 3, acidified pulps subjected to a dose of 3 kGy or pasteurization showed visible contamination to 9 days. It is concluded that gamma radiation doses up to 3 kGy associated acidification or laboratorial pasteurization were not promising to increase the shelf-life of fresh pepper and pepper pulp for longer than 9 days at 25 °C periods.

Keywords: Shelf-life. Quality. Aerobic mesophilic. Carotenoids. Gamma radiation.

3.1 Introdução

A insegurança alimentar constitui uma grande preocupação no mundo. A *Food and Agriculture Organization* - FAO publicou o relatório intitulado “O estado de insegurança alimentar no mundo” que destacou a necessidade de crescimento econômico para redução da fome, além dos pontos centrais da insegurança alimentar como, questões de preços, de distribuição e de disponibilidade dos alimentos. Problemas relacionados à conservação e qualidade dos alimentos (*Food Safety)* também foram abordados (FAO, 2012).

Um grande desafio à ciência e à sociedade é melhorar a alimentação das pessoas em prol do bem-estar social, da qualidade de vida e da boa saúde. Dentre as diversas formas que a ciência pode contribuir, nesta abordagem integrada, estão os conhecimentos sobre as técnicas de conservação e seus impactos sobre os nutrientes. Diferentes tratamentos físicos e químicos são usados para conservação de alimentos, no entanto, em alguns tratamentos podem ocorrer perdas nutricionais e ou sensoriais, a exemplo dos métodos que empregam o calor para conservação (RELA, 2000; RICO et al., 2010). Altas temperaturas podem desnaturar enzimas com consequentes alterações indesejáveis, comprometendo o sabor, a cor, a textura e a qualidade nutricional dos alimentos (VALDERRAMA; MARANGONI; CLEMENTE, 2001),.

Além do emprego do calor, a refrigeração é uma alternativa para conservação dos produtos frescos ou processados. Entretanto, o fator econômico é limitante no uso deste método de conservação, uma vez que existe a necessidade de se manter a cadeia do frio. Como alternativa ao emprego do calor, da refrigeração ou de aditivos químicos, a técnica de irradiação tem se mostrado eficaz. A radiação gama do 60-Cobalto vem sendo empregada para aumentar a estabilidade dos alimentos no armazenamento por inativar microrganismos patogênicos, bactérias deteriorantes, fungos filamentosos, leveduras, parasitas, insetos, e por retardar a maturação e inibir o brotamento em bulbos e tubérculos (ANDREWS et al., 1998; MOREHOUSE, 2002).

A irradiação é considerada um excelente processo de conservação para alimentos de origem vegetal. Entretanto, são necessários estudos sobre a sua aplicação para cada tipo de alimento e conhecimento do seu efeito sobre a qualidade (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006). Desta forma, há um grande interesse pelo desenvolvimento de pesquisas nesta área. Ramamurth et al. (2004), observaram que a radiação gama com a dose 2 kGy resultou em aumento da vida útil de *Capsicum* minimamente processado associado a

redução da população bacteriana inicial em 2 a 3 ciclos logarítmicos e inativação de bactérias do grupo coliformes, *Listeria* e *Yersinia* sem alteração da qualidade nutricional do fruto. Maior efetividade da irradiação, na dose de 10 kGy, em relação ao vapor para conservação de pimenta-vermelha em pó foi constatada por Rico et al. (2010) com redução de 5 ciclos logarítmicos na contagem microbiana e efeitos mínimos sobre as propriedades físico-químicas e funcionais.

Além da irradiação, a pasteurização também é efetiva na conservação de alimentos por inativar enzimas e microrganismos termo sensíveis, com ocorrência de alterações mínimas no valor nutritivo e nas características sensoriais dos produtos (BASTOS et al., 2008; PELAIS; ROGEZ; PENA, 2008; FARAONI et al., 2008).

Embora a pimenta *Capsicum* tenha expressiva relevância econômica pelo seu uso na culinária mundial, na farmacologia, na odontologia, na medicina e na produção de armas de autodefesa (PINTO; PINTO; DONZELES, 2013), ainda existem poucos estudos sobre a avaliação da técnica de irradiação para sua conservação. A maioria das pesquisas foi desenvolvida com pimenta desidratada ou em pó (TOPUZ; OZDEMIR, 2004; RAMAMURTHY et al., 2004; DUMAN, 2010; RICO et al., 2010; JALILI; JINAP; NORANIZAN, 2010). Existem relatos dos efeitos da irradiação em *Capsicum* minimamente processado (THAYER et al., 1996; FARKAS, 1998; RAMAMURTHY et al., 2004), mas não há ainda, pesquisas sobre a avaliação das técnicas de irradiação e de pasteurização para conservação de polpa de pimenta.

Frente ao exposto, o objetivo do estudo foi avaliar as técnicas de irradiação e de pasteurização sobre a vida útil de pimenta *Capsicum baccatum* var. *Pendulum* in natura e na forma de polpa.

3.2 Material e Métodos

Foram realizados três experimentos seqüenciais, sendo o primeiro com pimenta Dedo-de-moça in natura. O segundo e o terceiro com a polpa oriunda do processamento dos frutos adicionada de ácido cítrico.

3.2.1 Experimento 1 - Pimenta Dedo-de-moça "in natura" irradiada

O delineamento utilizado foi o inteiramente aleatorizado – DIA, com três repetições.

3.2.1.1 Amostra

Este experimento foi realizado na Planta Piloto da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz - ESALQ/USP. Utilizou-se 5 kg de pimentas Dedo-de-moça, selecionadas pela coloração, grau de maturação, ausência de lesões, tamanhos e danos mecânicos. Em seguida, 60 g dos frutos foram pesados e colocados em 60 bandejas de poliestireno expandido (isopor) com dimensões de: 15 x 15 x 4 x 0,5 cm, recoberta com filme de cloreto de polivinila – PVC comercial.

3.2.1.2 Irradiação e armazenamento

Os frutos embalados foram irradiados, em irradiador Multipropósito de ^{60}Co, no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN em São Paulo-SP, com radiação gama do ^{60}Co, nas doses de: 1; 2 e 3 kGy e taxa de dose de 3,21 kGy h^{-1}. Após a irradiação as amostras irradiadas e controles (não irradiadas), foram armazenadas a 5 ^{o}C ($\approx$ 90% UR) em câmara fria e analisadas nos tempos: 1, 7, 15 e 30 dias.

3.2.1.3 Quantificação de carotenoides totais

Foi realizada conforme método descrito por Lime et al. (1957) e Umiel e Gabelman (1971), com modificações propostas por Moretti et al. (1998).

Preparo da amostra e extração dos pigmentos

Os frutos foram homogeneizados em *mixer* por 3 min. Tomou-se 8 g do homogenato e adicionou-se 40 mL de acetona, homogeneizando-se o material por um minuto. Procedeu-se a filtragem à vácuo em kitassato protegido com papel alumínio, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. Em seguida lavou-se o frasco utilizado para mistura do extrato, por duas vezes, com 25 mL de acetona. Adicionou-se 45 mL de hexano ao filtrado.

Partição das fases

A solução resultante foi transferida para um funil de separação, aguardando-se tempo suficiente para nítida separação das fases. Em seguida foi realizada a lavagem do hexano com 100 mL de água destilada. Após a separação das fases, descartou-se a fase inferior e procedeu-se à lavagem com água destilada por duas vezes. Após a última lavagem, transferiu-se o extrato hexano-pigmento para um balão volumétrico de 100 mL e completou-se o volume com hexano.

Determinação espectrofotométrica e cálculo da concentração

A leitura da absorvância do extrato foi feita em espectrofotômetro de UV visível modelo *Shimadzu UV-1800*, no comprimento de onda de 460 nm. A concentração de carotenoides totais (µg g^{-1}) foi calculada pela equação:

$$CT\ (\mu g\ g^{-1}) = \frac{A \times V \times 10^4}{A^{1\%}_{1cm} \times m}$$

Em que:
A = absorbância dos pigmentos a 460 nm;
V = volume final da amostra (mL);
$\mathbf{A^{1\%}_{1cm}}$ = coeficiente de extinção (2200);
m = peso da amostra (g)

Uma vez que, doses acima de 2 kGy podem causar alterações sensoriais nos frutos in natura (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006), nos experimentos seguintes, testou-se a radiação gama na "polpa" processada a partir do fruto de Dedo-de-moça.

3.2.2 Experimento 2 – Polpa de Pimenta Dedo-de-moça irradiada e acidificada

Utilizou-se DIA, em esquema fatorial 3x2 com 4 parcelas subdivididas e 3 repetições. Correspondendo a: 3 - tratamentos (controle; 2 kGy e 3 kGy); 2 - acidificação (amostras acidificadas e não acidificada) e 4 - tempos de estocagem (1, 15, 30 e 60 dias).

3.2.2.1 Amostra e Processamento da polpa de pimenta

A seleção das amostras seguiu os mesmos critérios do item 3.2.1.1. As pimentas foram divididas em três lotes, sendo processados separadamente na Planta Piloto da ESALQ/USP.

O processamento foi realizado seguindo as boas práticas de fabricação (BPF) em pimentas selecionadas. O fruto foi utilizado integralmente, retirando-se o pedúnculo. Na Figura 1 estão apresentadas as etapas do processamento da polpa de pimenta.

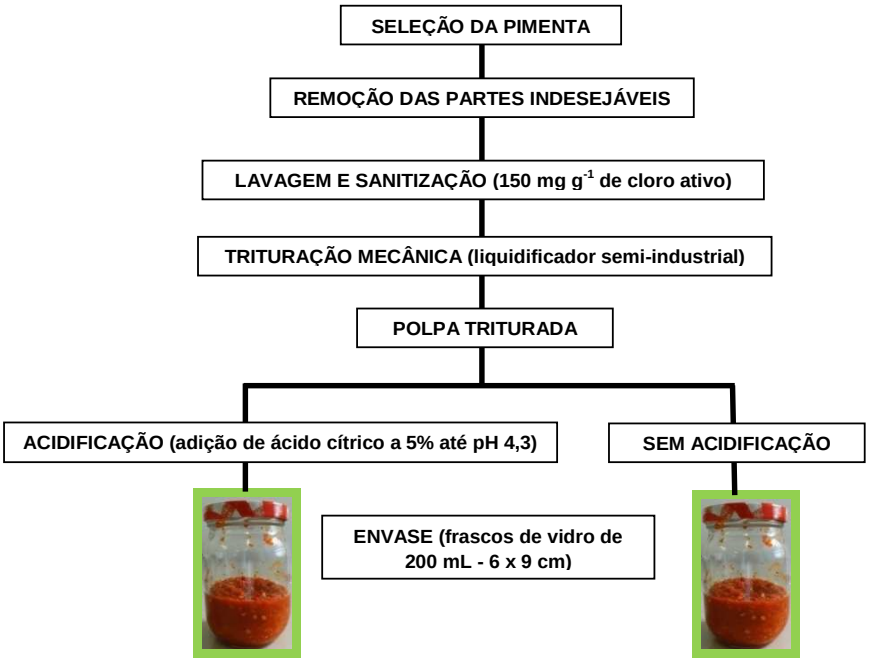

Figura 1 - Esquema do processamento da polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada e não acidificada.

3.2.2.2 Irradiação

Foi realizado no Laboratório de Melhoramento de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Após envase, a polpa, foi tratada com radiação gama utilizando-se fonte de ^{60}Co, em irradiador *Gamma-Cell 220*, a temperatura ambiente, nas doses de: 2 e 3 kGy e taxa de dose de 0,368 kGy h^{-1}. O tratamento controle consistiu de amostras não irradiadas.

3.2.2.3 Armazenamento da polpa de pimenta

Após o tratamento com radiação ionizante as amostras foram armazenadas a 25 °C, em estufa climatizada e, analisadas em 4 tempos de estocagem (1, 15, 30 e 60 dias).

3.2.2.4 Análises

Microbiológica: realizou-se a contagem de microrganismos mesófilos aeróbios em placas com *Plate Count Agar* (Ágar PCA-Merck®) após a incubação a 37 ºC, por 24 a 48 horas. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro de polpa (UFC mL^{-1}), adotando-se procedimento proposto pela *American Public Health Association* – APHA, descrito por Morton (2001).

Sólidos solúveis – (SS): utilizou-se refratômetro digital, conforme as normas da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005). Os resultados foram expressos em °Brix.

pH: foi determinado em potenciômetro e os resultados foram expressos em unidade de pH (AOAC, 2005).

Cor: foi determinada por reflectância em colorímetro Minolta, Modelo Chroma Meter CR-200b de acordo com Bible e Singha (1993). As coordenadas de cor foram medidas em relação à placa branca. O valor L forneceu a luminosidade, com variação do preto (L = 0) ao branco (L = 100). O valor *a** caracteriza a coloração na região do vermelho (+*a**) ao verde (-*a**) e o valor *b** indica a coloração no intervalo do amarelo (+*b**) ao azul (-*b**).

3.2.3 Experimento 3 – Polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada submetida à irradiação ou à pasteurização

O estudo foi realizado em esquema fatorial 3x2 com 3 parcelas subdivididas, 3 repetições, em DIA. Correspondendo a: 3 - tratamentos (irradiação; pasteurização e controle); 2 - embalagens (frascos de vidro e embalagem aluminizada multicamadas) e 3 - tempos de estocagem (1, 15 e 30 dias).

3.2.3.1 Amostras e Processamento da polpa de pimenta

A seleção e o processamento da polpa de pimenta foram realizados na Planta Piloto da ESALQ/USP. Seguiu os procedimentos descritos nos itens 3.2.1.1 e 3.2.2.1, dos experimentos 1 e 2, respectivamente.

3.2.3.2 Foram avaliados os tratamentos:

Pasteurização em bancada

Após o envase, as polpas foram identificadas e pasteurizadas, individualmente, em bancada de acordo com método descrito por Bastos et al. (2008).

A contagem do tempo de 3 minutos foi feita quando a amostra atingiu 85 °C, no centro geométrico (ponto frio). A temperatura foi aferida por imersão de termômetro com coluna de mercúrio em frasco de vidro e em embalagem multicamada aluminizada, as quais foram colocadas em banho-maria, junto aos demais tratamentos. A pasteurização foi realizada

separadamente considerando-se que a condutividade térmica do vidro é menor que a da embalagem aluminizada. Após o tratamento térmico as amostras foram resfriadas até 40 °C tomando-se cuidados para evitar o choque térmico na embalagem de vidro.

Irradiação

Após processamento as amostras foram tratadas com radiação gama em fonte de ^{60}Co, em temperatura ambiente, no Laboratório de Melhoramento de Plantas do CENA/USP em Irradiador *Gamma-Cell 220*. Utilizou-se a dose de radiação gama que obteve os melhores resultados no experimento 2 (3 kGy), com taxa de dose de 0,349 kGy h^{-1}.

Embalagens

- Embalagem aluminizada multicamadas sobrepostas: PET 15U - politereftalato de etila (poliéster); OPA 15U – poliamida biorientada (nylon); CPP 70U (ou PP Cast) - polipropileno obtido por extrusão e alumínio. Esta embalagem confere proteção à luz para os alimentos e resistência a 121 °C, por 45 min.

- Frascos de vidros transparentes com tampas rosqueáveis (Figura 1).

3.2.3.5 Armazenamento

Após os tratamentos de irradiação e pasteurização as amostras foram armazenadas a 25 °C, em estufa climatizada e analisadas em 3 tempos de estocagem (1, 15 e 30 dias).

3.2.3.7 Análises

- *pH, SS* e *Cor*: conforme item *3.2.2.5* (AOAC, 2005; BIBLE; SINGHA 1993);

- *Umidade:* método gravimétrico, em estufa a 105 °C, até peso constante (AOAC, 2005);

- *Acidez Titulável* (AT): determinada por titulação potenciométrica. Os resultados foram expressos em mg 100 mg^{-1} de ácido cítrico (AOAC, 2005);

- *Ratio:* foi obtida pela relação direta dos valores de SS e AT.

3.2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Experimento 1 – Pimenta Dedo-de-moça "in natura" irradiada

Carotenoides totais

A irradiação e o tempo de estocagem afetaram o teor de carotenoides totais (Figura 2). Constatou-se maior perda de carotenoides (43%) durante os 30 dias de estocagem da amostra controle. A maior média do teor do pigmento (96,8 µg g^{-1}) foi observada em amostras irradiadas com a dose 1 kGy. Houve aumento do teor do pigmento, de 9% aos 30 dias de estocagem para a dose de 2 kGy e de 4% para amostras irradiadas com 3 kGy aos 7 dias (Figura 2). Em estudos realizados com manga e melão irradiados na dose de 2 kGy (THOMAS; BEYERS, 1979) e com melão tratado com 0,45 kGy (SIQUEIRA, 2007) também foi observado aumento do teor de carotenoides totais.

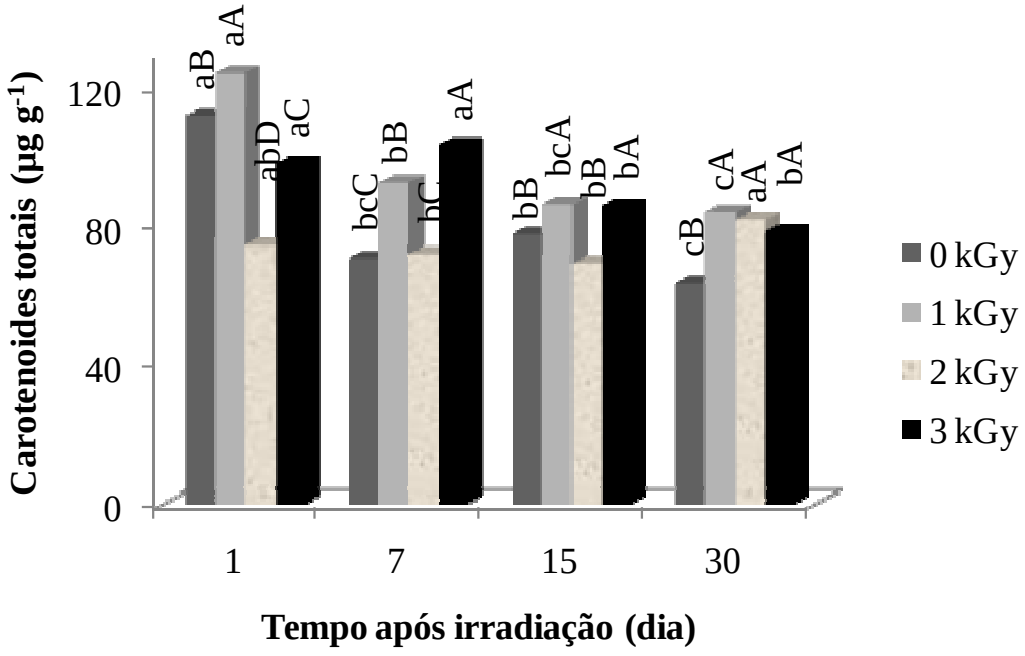

Figura 2 - Carotenoides totais em pimenta Dedo-de-moça irradiada e armazenada a 5 °C por 30 dias. Médias seguidas pela mesma letra (maiúsculas em relação às doses e minúsculas aos dias de armazenamento) não diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$).

Na maturação dos frutos ocorre a degradação da clorofila, a síntese de carotenóides e a reação de oxidação (LIMA et al., 2001). Deste modo, pode-se inferir que a radiação gama acelerou a maturação da pimenta, uma vez que nas avaliações realizadas aos 7, 15 e 30 dias de

estocagem, as amostras irradiadas apresentaram maior teor de carotenoides totais, exceto na dose de 2 kGy aos 15 dias.

Observou-se ainda nas pimentas irradiadas, degradação mais rápida comparada às amostras controle, além de maior perda de turgidez, deterioração do pedúnculo e crescimento microbiano. Diferenças na conservação do pedúnculo entre os frutos irradiados e não irradiados podem ser observada após 15 dias de estocagem (Figura 3).

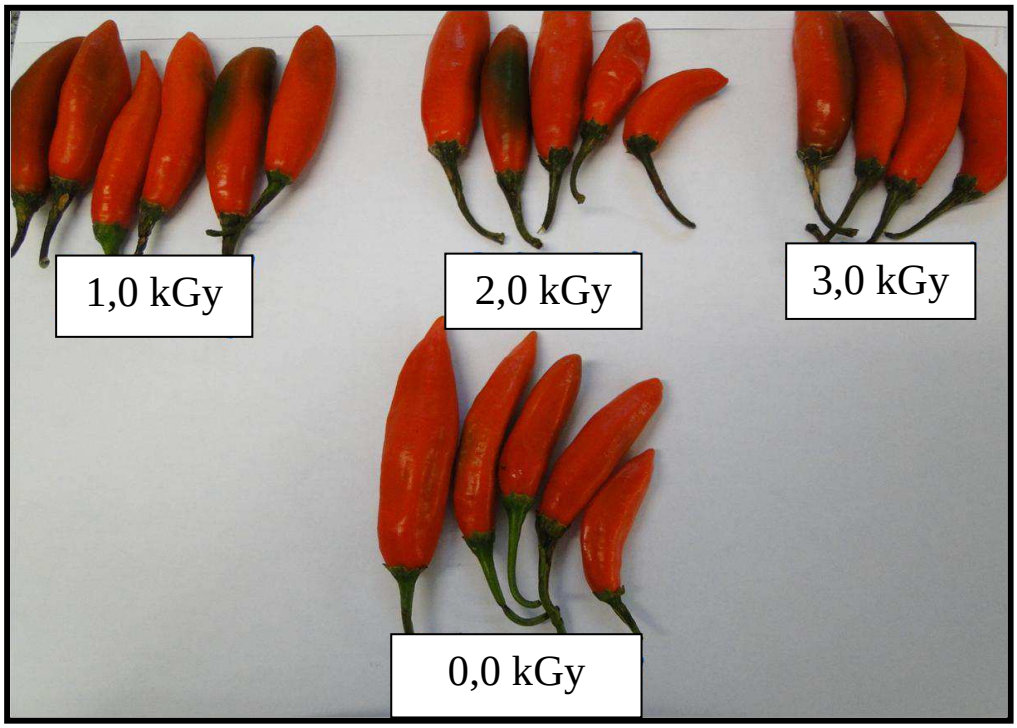

Figura 3 - Pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada após 15 dias de estocagem a 5 °C.

Diante destes resultados, observou-se que doses de radiação até 3 kGy não são efetivas para ampliar a vida útil da pimenta Dedo-de-moça in natura, estocada a 5 °C.

3.3.2 Experimento 2- Polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e acidificada

A radiação gama, na dose de 3 kGy, em amostras acidificadas e não acidificadas, inibiu o crescimento de mesófilos até 60 dias de estocagem, a 25 ºC. Nos demais tratamentos evidenciou-se aumento da contaminação em até 4 ciclos logarítmicos (Tabela 1).

Os íons reativos produzidos durante a irradiação com raios gama danificam e destroem os microrganismos imediatamente, alteram a estrutura da membrana celular e afetam a atividade de enzimas metabólicas. Entretanto, o efeito mais importante da radiação nos microrganismos é sobre o DNA. Esses efeitos são aparentes após um determinado tempo no

qual há comprometimento do mecanismo da duplicação do DNA e, em consequência, da divisão celular (YOKOYA et al., 2008). Essa alteração no mecanismo de duplicação do DNA pode explicar o resultado obtido para a amostra irradiada com 3 kGy, considerando que no tempo 1 foi detectada a presença de mesófilos e, nos demais tempos, esses organismos não foram detectados.

Ramamurthy et al. (2004) constataram que a dose de 2 kGy aplicada em *Capsicum* minimamente processado reduziu em 2 a 3 ciclos logarítmicos a contagem de mesófilos após 1 dia de estocagem. A contaminação manteve-se baixa durante 28 dias, sob refrigeração a 5 °C e a 10 °C. Em polpa de manga, doses de 1 e 2 kGy promoveram redução da contagem de mesófilos, mas durante a estocagem a 3 °C embora tenha ocorrido aumento da contagem, foi menor nas amostras irradiadas em relação ao controle (YOUSSEF et al., 2002).

Tabela 1 - Contagem de microrganismos mesófilos aeróbios (UFC mL^{-1}) em polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada e não acidificada, irradiada e não irradiada, estocada a 25 °C.

Tempo (dias)	**Tratamentos**					
	Controle	**2 kGy**	**3 kGy**	**Controle ácido**	**2 kGy ácido**	**3 kGy ácido**
1	$3,3 \times 10^{0}$bA	<1bA	$8,0 \times 10^{1}$aA	<1bA	$3,3 \times 10^{0}$ bA	<1bA
15	<1*bA	<1bA	<1bA	<1bA	$3,3 \times 10^{0}$ bA	<1bA
30	$2,7 \times 10^{0}$bA	$1,0 \times 10^{1}$bA	<1bA	<1bA	$1,0 \times 10^{0}$ bA	<1bA
60	$2,1 \times 10^{3}$aBC	$1,6 \times 10^{4}$aA	<1bA	3×10^{1} aC	$1,2 \times 10^{4}$ aAB	<1aC

* Valor estimado; Médias seguidas pela mesma letra (maiúsculas na linha e minúsculas na coluna) não diferem entre si ($p<0,05$).

A irradiação não provocou alteração no pH e na concentração de SS, como pode ser observado nas avaliações realizadas no tempo 1. No entanto, durante a estocagem, houve aumento do pH e redução do teor de SS até 30 dias. Apenas os tratamentos que receberam as doses de 2 e 3 kGy, sem adição de ácido, não alteraram os SS durante os 30 dias de estocagem (Tabela 2). O teor de SS representa a concentração de açucares presentes nos frutos, embora outros compostos como ácidos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas também façam parte deste índice em menor proporção (KLUGE et al., 2002).

Os resultados das avaliações realizadas aos 60 dias demonstraram que houve, na maioria dos tratamentos, inversão da tendência apresentada até os 30 dias, ou seja, redução do pH e aumento de SS. O aumento no teor de SS pode ser atribuído à perda de umidade durante o armazenamento em temperaturas altas como 25 ºC (LIMA et al., 2001). A redução do pH após 30 dias pode ser associada a contaminação da polpa com bactérias produtoras de ácidos, o que corrobora com os resultados das análises microbiológicas, em que a

contaminação com mesófilos constatada no tempo 60 foi significativamente maior (Tabela 1). No entanto, na dose de 3 kGy, o crescimento de mesófilos foi inibido e ainda assim reduziu o pH após 30 dias. É possível ter havido crescimento de microrganismos anaeróbios, que não foram detectados na análise para mesófilos aeróbios. De acordo com Bach (2012) microrganismos anaeróbios são geralmente fermentadores de hidratos de carbono e, desta forma, pode ocorrer fermentação e, em consequência, liberação de compostos ácidos, associados à redução do pH.

Tabela 2 – pH e SS em polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada estocada a 25 °C.

Tempo (dias)	**Tratamentos**					
	Controle	**2 kGy**	**3 kGy**	**Controle ácido**	**2 kGy ácido**	**3 kGy ácido**
	- - -

de *b** ao longo da estocagem, em todos os tratamentos, com tendência para a cor amarela o que indica perda da cor natural da polpa. O único tratamento em que não ocorreu alteração foi o irradiado com 2 kGy e acidificado (Figura 4). Alterações nos parâmetros de cor podem ser atribuídas a alta atividade da polifenoloxidase. Esta enzima, em contato com o oxigênio provoca a oxidação dos compostos fenólicos com liberação de água e de quinona que é um composto colorido (YOUSSEF et al., 2002). Em polpa de manga irradiada com doses até 2 kGy, também foi evidenciada variação da cor (YOUSSEF et al., 2002).

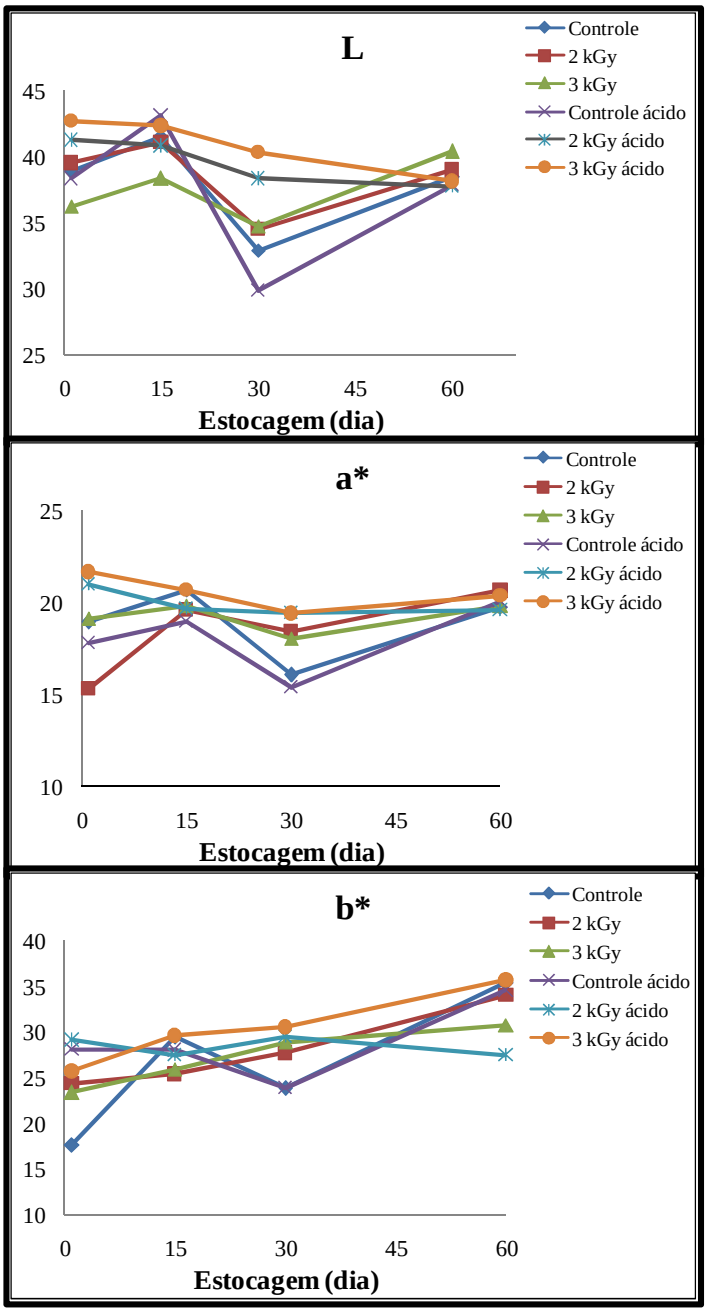

Figura 4 - Cor instrumental de polpa de pimenta Dedo-de-moça acidificada e não acidificada, irradiada e não irradiada, estocada a 25 °C.

Com base nos resultados das análises microbiológicas e físico-químicas observados após 30 dias de estocagem, pode-se sugerir que o prazo de validade da polpa de pimenta não deve atingir 60 dias e que a dose de 3 kGy foi a mais efetiva para prolongar a vida-útil e manter a qualidade da polpa.

3.3.3 Experimento 3 – Polpa de Pimenta Dedo-de-moça acidificada submetida à irradiação ou à pasteurização

Após 3 dias de estocagem, a 25 °C, todas as amostras controle apresentaram estufamento, vazamento e visível produção de gás (Figura 5) resultado observado também, após 9 dias, em amostras irradiadas e ou pasteurizadas.

Figura 5 - Aspecto das amostras controle da polpa de pimenta após 3 dias de estocagem a 25 °C.

Os resultados podem estar associados à dose de radiação empregada e o binômio tempo/temperatura utilizado para a pasteurização que, possivelmente, não foram suficientes para garantir a redução dos microrganismos presentes na polpa e, consequentemente, evitar a sua deterioração. A eficiência dos tratamentos de irradiação e de pasteurização pode ter sido reduzida também pela presença de altos índices de contaminação inicial da polpa. Iqbal et al. (2013) observaram aumento da eficiência da irradiação, na redução da microbiota, com o aumento da dose aplicada em pimenta vermelha. A contaminação inicial, entre 10^4 e 10^7 ciclos logarítmicos foi reduzida em apenas 1 log na dose de 2 kGy. Na dose de 4 kGy houve redução de 2 a 3 logs e na dose de 6 kGy a redução foi de 4 a 7 logs.

Além da contaminação microbiana inicial, a eficiência dos procedimentos de lavagem e sanitização também podem influenciar a qualidade microbiológica do produto final. Em produtos recém-colhidos há considerável variação na contagem de microrganismos mesófilos aeróbios, podendo chegar a 9 logs. As etapas de seleção, lavagem e sanitização podem

interferir de forma diferenciada nas populações e tipos de microrganismos presentes na matéria-prima. A utilização de água de boa qualidade para lavagem permite reduzir mais de 1 log da contaminação microbiona inicial. A sanitização tem eficiência limitada. O uso de sanitizantes apropriados para alimentos frescos, permite reduzir de 1 a 2 ciclos logarítmicos, no entanto, pode favorecer o crescimento do patógeno pela redução da microbiota competitiva (ZAGORY, 1999). Em produtos minimamente processados, por exemplo, a contagem de bactérias mesófilas após processamento pode variar de 10^3 a 10^9 UFC g^{-1}. Além dos microrganismos mesófilos outros como; leveduras, coliformes e bactérias lácticas heterofermentativas produzem dióxido de carbono e gás. Esses microrganismos podem ser encontrados nos frutos após o seu processamento.

Portanto, pode-se inferir que no experimento 2 a polpa de pimenta irradiada com 3 kGy e o controle não se deterioraram rapidamente porque a contagem microbiana que permaneceu na polpa, após processamento, pode ter ficado abaixo da evidenciada no experimento 3.

Não foram realizadas as avaliações após 15 e 30 dias da estocagem considerando a contaminação presente na polpa irradiada, pasteurizada e controle. Os resultados apresentados na Figura 6 correspondem as análises físico-químicas da polpa, após 1 dia de estocagem.

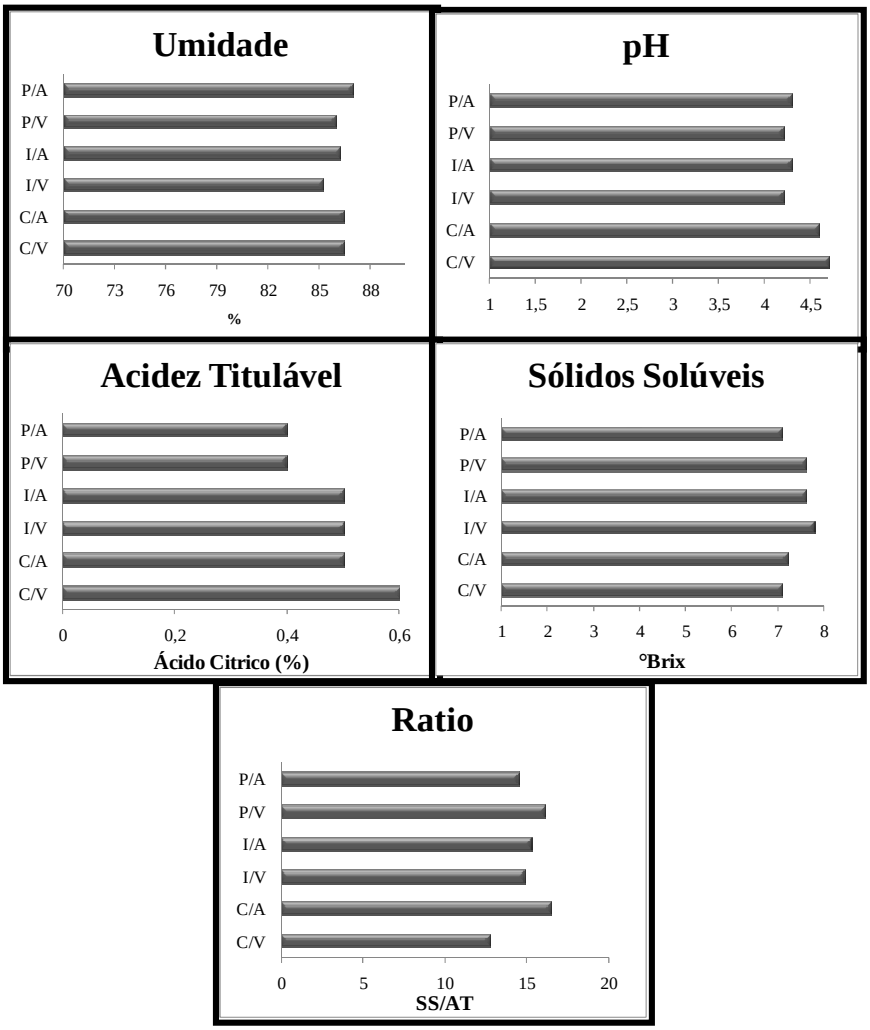

Figura 6 - Caracterização físico-química da polpa de pimenta Dedo-de-moça após 1 dia da irradiação e da pasteurização. P/A= *pasteurizada/embalagem aluminizada*; P/V= *pasteurizada/ embalagem de vidro*; I/A= *irradiada/embalagem aluminizada*; I/V= *irradiada/ embalagem de vidro*; C/A= *controle/ embalagem aluminizada*; C/V= *controle/embalagem de vidro.*

Não houve diferença ($p<0,05$) nos resultados das avaliações físico-químicas entre os tratamentos. Em outros estudos também foi demonstrado que a radiação gama do ^{60}Co não alterou as características físico-químicas de umidade, pH, AT, SS e ratio (LIMA et al., 2001, 2003; NEVES; MANZIONE; VIEITES, 2002; SANTOS et al., 2010; SOUZA; ARTHUR; NOGUEIRA, 2012).

As coordenadas *L*, *a** e *b** também não foram influenciados pela irradiação ($p<0,05$). No entanto, com a pasteurização ocorreu alteração nos valores de *a** e *b** da polpa. Nas amostras pasteurizadas e armazenadas em frascos de vidro houve aumento dos valores de *a** e *b**, ou seja, intensificaram as colorações vermelha e amarela, o que tornou a polpa mais alaranjada. Nas amostras pasteurizadas e envasadas na embalagem aluminizada houve redução dos valores das coordenadas *a** e *b** (Tabela 3). Pelais, Rogez e Pena (2008)

registraram que em polpa de muruci (*Byrsonima crassifolia*) as coordenadas *a**, *b** e *L* foram influenciadas pela temperatura da pasteurização em escala de bancada (p<0,05). Bastos et al. (2008) também demonstraram variação significativa de cor (p<0,05) em polpa de taperebá (*Spondias mombim*) pasteurizada sobre bancada.

Tabela 3 - Coordenadas de cor da polpa de pimenta Dedo-de-moça após um dia da irradiação e da pasteurização.

Técnicas de conservação/ Embalagens	**- - - - - - *L* - - - - - -**		**- - - - - - *a** - - - - - -**		**- - - - - - *b** - - - - - -**	
	vidro	**aluminizada**	**vidro**	**aluminizada**	**vidro**	**aluminizada**
Controle	31,2 ± 1,46 aA	36,2 ± 2,08 aA	15,1 ± 1,49 bA	16,1 ± 0,91 aA	20,4 ± 2,36bA	18,7 ± 1,15aA
Irradiação	35,3 ± 1,96 aA	34,5 ± 4,30 aA	15,6 ± 1,07 bA	15,3 ± 0,52 aA	20,2 ± 1,82bA	18,7 ± 1,27aA
Pasteurização	33,0 ± 5,13 aA	36,5 ± 2,78 aA	20,0 ± 2,42 aA	15,9 ± 0,81 aB	30,0 ± 4,03aA	22,0 ± 1,06aB

*Médias ± DP. Médias seguidas pela mesma letra (maiúsculas na linha e minúsculas na coluna) não diferem entre si (Tukey, p < 0,05).

Neste experimento, a dose de radiação de 3 kGy e o binômio tempo/temperatura (85 °C / 3min) empregado na pasteurização em bancada, independemente da embalagem, não foram efetivos para conter a contaminação microbiana da polpa de pimenta.

3.4 Conclusões

As doses de radiação gama aplicadas não contribuíram para aumentar a vida útil da pimenta Dedo-de-moça in natura.

Na polpa de pimenta, as doses de radiação aplicadas e a pasteurização em bancada, não foram suficientes para conter sua deterioração aos 9 dias de estocagem.

Sugere-se realizar testes com doses mais altas, com a finalidade de identificar a dose de radiação gama capaz de aumentar a vida útil e preservar a qualidade nutricional, físico-química e microbiológica da polpa de pimenta.

3.5 Referências

ANDREWS, L.S. et al. Food preservation using radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology,** New York, v. 154, p. 1-53, 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Arlington, AOAC, 2005.

BACH, F. **Avaliação das condições de produção de fermentado acético de soro de leite.** 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

BASTOS, C. T. R. M. et al. Estudo da eficiência da pasteurização da polpa de taperebá (*Spondias Mombin*). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 123-131, 2008.

BIBLE, B. B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **Hortscience**, Alexandria, v. 28, p. 992-993, 1993.

DUMAN, A. D. Storage of red chili pepper under hermetically sealed or vacuum conditions for preservation of its quality and prevention of mycotoxin occurrence. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 46, p. 155-160, 2010.

FARAONI, A. S. et al. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagem e tempo de estocagem na coloração de polpa de manga "Ubá" produzida em sistema orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 504-511, 2008.

FARKAS, J., Irradiation as a method for decontaminating food: a review. **International Journal of Food Microbiolology**, Amsterdam, v. 44, p. 189-204, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of food insecurity in the world:** economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Roma, 2012. Disponível em: <http://www.ft.dk/samling/20121/almdel/uru/bilag/19/1168376/index.htm>. Acesso: 21 jul. 2014.

IQBAL, S. et al. Effect of g irradiation on fungal load and aflatoxins reduction in red chillies. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 82, p. 80–84, 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Use of irradiation to ensure hygienic quality of fresh, pre-cut fruits and vegetables and other minimally processed food of plant origin.** Vienna: FAO/IAEA, 2006.

JALILI, M.; JINAP, S.; NORANIZAN, A. Effect of gamma radiation on reduction of mycotoxins in black pepper. **Food Control**, Guildford, v. 21, n. 10, p. 1388–1393, 2010.

KLUGE, R. A et al. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2 ed. Campinas: Livraria e Editora Rural. 2002.

LIMA, K. S. C. et al. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Doucos carota L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 202-208, 2001.

LIMA, K.S.C. et al. Cenouras minimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química**. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 240-250, 2003.

LIME, B. J. et al. Spectrophotometric methods for determining pigmentation – beta-carotene and lycopene – in ruby red grapefruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 5, n. 12, p. 941-944, 1957.

MORENO, M. A. et al. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vacciniumcorymbosum* L.) at medium dose levels (1.0–3.2 kGy). **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 40, p. 1123–1132, 2007.

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

MORETTI, C. L. et al. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 4, p. 656-660, 1998.

MORTON, R. D. **Microbiological Monitoring of the Food Processing Environment. Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 rd. [S.l.]. Washington DC: APHA, 2001. cap. 7, p. 63-67.

NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES, R, L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina (*Prunus Persica* var. *Nucipersica*) frigoconservada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 676-679, 2002.

PELAIS, A. C. A.; ROGEZ, H., PENA, R. S. Estudo da pasteurização da polpa de Murici. **Revista Alimentos e Nutrição,** Araraquara, v. 19, n. 1, p. 17-24, 2008.

PINTO, C. M. F.; PINTO, C. L. O.; DONZELES, S. M. L. Pimenta *capsicum*: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável,** Viçosa, v. 3, n. 2, p. 108-120, 2013.

RAMAMURTHY, M. S. et al. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated capsicum by gamma irradiation. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Oxford, v.55, n. 4 p. 291-299, 2004.

RELA, P.R. Cresce o uso de irradiação para conservação de alimentos. **Revista de Engenharia de Alimentos**, São Paulo, v. 6, n. 29, p. 26-29, 2000.

RICO, C.W. et al. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum* L.). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 1012–1016, 2010.

SANTOS, A. M. G. et al. Podridão por *Fusicoccum* em mangas submetidas a baixas doses de radiação gama. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 45, p. 1066-1072, 2010.

SHAHBAZ, M. S. et al. Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment. **Food Chemistry**, Barking, n. 145, p. 312–318, 2014.

SIQUEIRA, A. A. Z. C. **Utilização de radiação gama em melões cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. Cantaloupensis) como técnica de conservação pós colheita**. 2007. 108 f. (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOUZA, A.R.M; ARTHUR V.; NOGUEIRA, D.P. The effect of irradiation in the preservation of pink pepper (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 81, n. 8, p. 1082-1083, 2012.

THAYER, D.W., et al. **Radiation pasteurization of food issue pepper.** Ames: Council of Agricultural Science and Technology, 1996.

THOMAS, A. C.; BEYERS. M. γ Irradiation of Subtropical Fruits. 3. A comparison of the chemical changes occurring during normal ripening of mangoes and papayas with changes produced by y irradiation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 27, n. 1, 1979.

TOPUZ, A.; OZDEMIR, F. Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. **Food Chemistry**, Barking, v.86, p.509-515, 2004.

UMIEL, N.; GABELMAN, W. H. Analytical procedures for detecting carotenoids of carrot (Daucus carota L.) roots and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 96, n. 6, p. 702-704, 1971.

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 321-325, 2001.

YOKOYA, A. et al. DNA Damage induced by the direct effect of radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 77, n. 10-12, p. 1280-1285, 2008.

YOUSSEF, B. M. et al. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. **Food Research International**, Essex, v. 35, p. 1-13, 2002.

ZAGORY, D. Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, n. 3, p. 313-321, 1999.

4. ALTERAÇÕES NUTRICIONAIS, FÍSICAS E SENSORIAIS DE POLPA DE PIMENTA *CAPSICUM* SUBMETIDA À RADIAÇÃO GAMA

Resumo

A radiação gama tem sido usada com excelentes resultados para conservação de alimentos. Entretanto, pode provocar mudanças na estrutura e/ou na composição dos alimentos influenciando a sua qualidade. Foi avaliado o efeito da radiação gama do ^{60}Co no teor de compostos bioativos, na cor e na qualidade sensorial de polpa de pimenta Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* durante a estocagem. Os frutos recém-colhidos foram selecionados, pesados, higienizados, triturados para obtenção da polpa, adicionados de 5% de NaCl e embalados em sacos de polietileno. Foram tratados com doses de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy de radiação gama do ^{60}Co. As amostras irradiadas e o controle não irradiado foram estocados a 25 ± 1 °C. Após 1, 7, 14 e 21 dias da irradiação foram avaliadas quanto aos compostos bioativos (carotenoides totais, capsaicinoides, fenólicos totais e capacidade antioxidante) e quanto ao parâmetro instrumental de cor. Amostras controle e irradiadas com doses de 4,5 e 6,0 kGy foram avaliadas quanto aos atributos sensoriais (teste de aceitação, teste de diferença e pareado preferência). O controle e as amostras irradiadas com doses de 1,5 e 3,0 kGy deterioraram-se e foram descartadas antes das análises realizadas aos 14 dias. As doses de radiação gama aplicadas na polpa de pimenta e a estocagem não afetaram os teores de carotenoides totais (90,9 a 122,8 µg g^{-1}), de capsaicina (5,55 a 7,43 µg g^{-1}) e de diidrocapsaicina (1,85 a 2,90 µg g^{-1}). O teor de fenólicos (0,97 a 1,06 mg g^{-1} EAG) não foi influenciado pela irradiação, entretanto, a estocagem reduziu em 8% estes compostos. Apenas a atividade antioxidante foi reduzida com o aumento da dose e dos dias de estocagem, com perdas que atingiram 50%, na dose de 6,0 kGy. A análise instrumental de cor da polpa revelou que a estocagem e as doses de 3,0 e 6,0 kGy tornaram a polpa mais escura e mais alaranjada. As polpas de pimenta irradiadas com 4,5 e 6,0 kGy tiveram boa aceitação pelos provadores e não modificaram os atributos sensoriais de cor, aparência, sabor e pungência. Conclui-se que a radiação gama com doses de 4,5 e 6,0 kGy foi promissora para conservar a polpa de pimenta Dedo-de-moça durante 21 dias, a 25 °C, sem alterar os atributos sensoriais e os compostos bioativos, apenas a atividade antioxidante foi reduzida e a cor foi alterada pelas doses de radiação recebidas.

Palavras-chave: Antioxidantes. Qualidade de alimentos. Vida-útil. Composição nutricional.

Abstract

Gamma irradiation has been used with excellent results for food preservation. However, it can cause changes in the structure or composition foods influencing their quality. The effects of ^{60}Co gamma irradiation on the content of bioactive compounds, color and sensory quality of pulp of Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) pepper during storage were evaluated. Newly harvested fruits were selected, weighed, cleaned, crushed to obtain the pulp, added 5 % NaCl and packed in polyethylene bags. They were treated with doses of 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 kGy of gamma irradiation from ^{60}Co. Irradiated samples and non-irradiated control were stored at 25 ± 1 °C. After 1, 7, 14 and 21 days of irradiation they were evaluated for bioactive compounds (total carotenoids, capsaicinoids, total phenolics and antioxidant capacity) and for color instrumental parameter. Control and samples irradiated with doses of 4.5 and 6.0 kGy were evaluated for sensory attributes (acceptance test, difference test and paired preference). Control samples and those irradiated with doses of 1.5 and 3.0 kGy deteriorated and were discarded before the analysis carried out at 14 days. Gamma radiation doses applied in the pepper pulp and storage did not affect total carotenoid levels (90.9 to 122.8 mg g^{-1}), capsaicin (5.55 to 7.43 mg g^{-1}) and diidrocapsaicin (1.85 to 2.90 mg g^{-1}). The phenolic content (0.97 to 1.06 mg g^{-1} EAG) was not affected by irradiation, however, the storage reduced these compounds by 8%. Only the antioxidant activity was reduced with increasing doses and days of storage, with losses that reached 50% at a dose of 6.0 kGy. Instrumental color analysis revealed that the pulp storage and the doses of 3.0 and 6.0 kGy made the pulp to become darker and orange. The gamma radiation doses of 4.5 and 6.0 kGy were approved by the tasters and did not change the sensory attributes of color, appearance, flavor and pungency of pepper pulp. The gamma radiation doses of 4.5 and 6.0 kGy were effective to preserve the Dedo-de-moça pepper pulp for 21 days at 25 °C, without changing sensory attributes and bioactive compounds. Only the antioxidant activity was reduced and color was modified by irradiation.

Keywords: Antioxidants. Food quality. Shelf-life. Nutritional composition.

4.1 Introdução

A conservação de alimentos, tradicionalmente, tem sido realizada por meio de tratamentos térmicos, uso da cadeia do frio, controle de umidade ou emprego de aditivos químicos. No entanto, é reconhecido que estes métodos podem levar a redução significativa de nutrientes ou causar algum risco à saúde do consumidor. A técnica de irradiação tem-se mostrado economicamente viável e fisicamente segura, com importante efeito no aumento da vida útil de frutos e hortaliças. Com o seu emprego há reduções dos processos fisiológicos, como amadurecimento e brotamento. Além disso, atua no controle fitossanitário como parte de um programa quarentenário (LIMA et al, 2001; MIZANI et al., 2009).

A irradiação não causa prejuízos ao alimento no que diz respeito à formação de novos compostos químicos capazes de causar doenças no ser humano. Porém, como em todo processo de conservação, podem existir perdas de ordem nutricional e sensorial como cor, sabor, textura e odor. Apesar disso, estes danos são inferiores aos ocorridos em outros processos de conservação. Quando os alimentos são expostos à dose de radiação máxima recomendada, os macronutrientes permanecem relativamente estáveis e os micronutrientes, como as vitaminas, podem sofrer pequenas reduções (LIMA et al, 2001).

O documento elaborado pelo *International Consultative Group on Food Irradiation* (ICGFI) juntamente com a FAO e IAEA define a irradiação de alimentos como um processo que envolve a exposição de alimentos quer embalado ou a granel a quantidades cuidadosamente controladas de radiações ionizantes, por um tempo específico (INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION, 1999). A finalidade é aumentar a estabilidade ao armazenamento por meio da redução da população de microrganismos, da eliminação de parasitas ou insetos, ou do bloqueio da atividade enzimática (ANDREWS et al., 1998). A radiação ionizante danifica drasticamente o DNA tornando a célula inativa de forma que microorganismos, insetos, gametas, e meristemas de plantas são impedidos de se reproduzir, resultando em diferentes efeitos de conservação em função da dose de radiação absorvida (FARKAS, 2006).

A busca por alimentos com características sensoriais que reflitam uma intervenção mínima de processos industriais é uma tendência do mercado, especialmente para frutas e hortaliças. Neste cenário, as polpas vêm ganhando importância econômica (TRUJILLO et al., 2001). Além disso, os consumidores colocaram como padrão de conveniência nos alimentos,

a preservação da qualidade nutricional, assim como os aspectos relacionados à segurança e a saúde (SGARBIERI, 1986).

É crescente o interesse dos consumidores pelas pimentas do gênero *Capsicum* não só pela sua pungência, sabor e aroma, mas também pela diversidade de propriedades nutricionais, funcionais e sua aplicação na indústria de alimentos, na farmacologia, na odontologia e na medicina (PINTO; PINTO; DONZELES, 2013). Pimentas *Capsicum* apresentam expressivas quantidades de compostos relevantes para a saúde (BOSLAND; VOTAVA, 2000). A exemplo dos compostos bioativos com propriedades antioxidantes que auxiliam na prevenção do envelhecimento, de doenças degenerativas como câncer, doenças cardiovasculares, catarata, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (MORAES et al., 2012). Em pimentas, os compostos bioativos estão associados aos capsaicinoides, carotenoides, compostos fenólicos, ácido ascórbico e tocoferois (HENZ; RIBEIRO, 2008; PINTO; PINTO; DONZELES, 2013).

Os capsaicinoides, alcalóides presentes apenas em pimentas *Capsicum*, conferem o sabor picante, quente ou ardente e possuem propriedades antioxidantes, antiinflamatória, antimutagênica, quimiopreventiva (PINTO; PINTO; DONZELES, 2013) e efeito antibactericida em determinados grupos de bactérias (TOPUZ; OZDEMIR, 2004). Há grande diversidade de concentração e de composição dos capsaicinoides em frutos de pimenta. A capsaicina e a diidrocapsaina são os capsaicinoides mais abundantes (TOPUZ; OZDEMIR, 2007; GIUFFRIDA et al., 2013; MECKELMANN et al., 2013). Meckelmann et al. (2013) demonstraram que a capsaicina representou 55% a 70% e a diidrocapsaicina 27% a 40%, dos capsaicinoides, de 36 variedades de *Capsicum baccatum*.

Os carotenóides, presentes em grande concentração e composição diversa nas pimentas são pigmentos com alto valor nutricional e expressiva atividade antioxidante (PINTO; PINTO; DONZELES, 2013). Em estudo realizado por Giuffrida et al. (2013) foram identificados 52 carotenoides em 12 cultivares de pimentas *Capsicum.* Topuz e Ozdemir (2007) quantificaram 7 carotenoides principais em pimentas *Capsicum*: β-caroteno, β-criptoxantina, capsantina, capsoluteina, capsorubina, violaxantina e zeaxantina, com teor variando de 2.310 a 2.390 mg kg^{-1} na base seca.

Os compostos fenólicos, metabólitos secundários em plantas, são importantes para aparência, firmeza e sabor de frutas e hortaliças. Agem como antioxidantes em decorrência de sua habilidade em doar hidrogênio ou elétrons e em função de seus radicais intermediários estáveis, que impedem a oxidação de vários componentes do alimento, especialmente de lipídios (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995). Altos teores de fenólicos em

pimentas são relatados na literatura (SUCHANDRA, et al., 2007; OBOH; ROCHA, 2007; KAPPEL et al., 2008; RODRÍGUEZ-BURRUEZO et al., 2009). Em molho fermentado de pimenta Dedo-de-moça foram registrados teores de 0,37 mg g^{-1} EAG (MORAES et al., 2012), enquanto no fruto in natura alcançaram 1,4 mg g^{-1} EAG (ANTONIOUS et al., 2006).

Assim como ocorre com outros frutos, a pimenta é bastante perecível e está exposta à contaminação biológica, química e física ocasionando perdas expressivas durante a comercialização. A investigação de métodos para prolongar sua vida útil que minimizem as perdas nutricionais e sensoriais constitui importante alternativa para o atendimento, principalmente, de mercados longícuos.

Alguns estudos têm sido realizados para avaliar o emprego da irradiação em pimentas, especialmente nos frutos secos ou desidratados, mas seu efeito sobre as características nutricionais, física e sensoriais em polpas de pimenta Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* ainda não foi investigado. Além disso, os resultados das pesquisas existentes são na maioria das vezes contraditórios. Em páprica, a radiação gama aumentou o teor de capsaicinoides em cerca de 10% (TOPUZ; OZDEMIR, 2004). Entretanto, Rico et al. (2010) relataram que a capsaicina não foi afetada pela irradiação em pimenta vermelha desidratada, já o composto carotenóide, capsantina, foi reduzido na pimenta irradiada. Em pimentões vermelhos as doses de 2, 4 e 6 kGy e a estocagem por 90 dias, não afetaram o teor de fenólicos (ABRAR et al., 2009).

Os resultados incongruentes registrados na literatura podem estar associados à falta de padronização nas análises e a fatores que influenciam o sucesso da irradiação, a exemplo da qualidade inicial do fruto, local de produção, variedade, grau de maturação, dose de radiação, taxa de aplicação da dose e condições de armazenamento após o tratamento (HAGENMAIER; BAKER, 1997).

Diante do exposto, foi avaliado o efeito da radiação gama do ^{60}Co sobre o teor de compostos bioativos, a cor instrumental e a qualidade sensorial de polpa de pimenta Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* durante a estocagem.

4.2 Material e métodos

Foram realizadas preparo de amostra e análises em Laboratórios do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP); do Centro de Energia Nuclear de Agricultura – CENA-USP, Piracicaba-SP;

do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo-SP e da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE.

As avaliações dos compostos bioativos e de cor foram realizadas em esquema fatorial 5x4, em delineamento inteiramente aleatorizado – DIA, correspondendo a 5 - tratamentos: 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy (doses de radiação gama) e 4 - tempos de avaliação: 1º, 7º, 14º e 21º dias de estocagem. As demais análises também foram realizadas em DIA, considerando-se: para as avaliações microbiológicas - 5 tratamentos: 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy (doses de radiação) x 3 repetições e para as análises sensoriais - 3 tratamentos: 0,0; 4,5 e 6,0 kGy (doses de radiação) x 60 repetições (provadores).

4.2.1 Matéria-prima e obtenção da polpa

A pimenta Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) foi adquirida na Central de Abastecimento de Piracicaba (CEASA). De acordo com as informações do vendedor foi colhida madura dois dias antes do processamento (03/08/2013), no município de Piedade-SP.

Doze quilogramas de pimentas foram selecionadas, retirando-se aquelas danificadas e com partes verdes. Os frutos foram divididos em três partes e processados, separadamente, seguindo os princípios das Boas Práticas de Fabricação.

Após remoção do pedúnculo, lavagem em água potável e desinfecção em solução com 150 mg L^{-1} de cloro ativo, por 15 min, os frutos foram triturados em liquidificador semi-industrial para obtenção da polpa e em seguida homogeneizados com 5% de NaCl. As amostras usadas nas análises sensoriais foram processadas com 5% de sal de uso doméstico.

A polpa de pimenta foi embalada em sacos de polietileno transparentes (10 cm X 15 cm X 20 μ) com aproximadamente 50 g de polpa cada.

4.2.2 Irradiação e estocagem

As amostras foram transportadas em caixas térmicas com gelo para o IPEN, onde foram tratadas em Irradiador Multipropósito com raios gama do ^{60}Co, em temperatura ambiente. Na Tabela 1 estão descritas as doses de radiação aplicadas na polpa de pimenta. A taxa de dose foi de 5,97 kGy h^{-1}. Utilizou-se os dosímetros Gammachrome YR para monitoramento da dose 1,5 kGy e Amber Perspex 3042 para as doses de 3,0; 4,5 e 6,0 kGy.

Tabela 1 - Doses nominais e doses medidas de radiação gama do ^{60}Co em polpa de pimenta.

Dose nominal (kGy)	Dose medida (kGy)
1,5	1,5
3,0	3,2
4,5	4,3
6,0	6,1

As polpas de pimentas irradiadas e as amostras controle (não irradiadas) foram armazenadas em temperatura de 25 ± 1 °C, em estufa climatizada.

4.2.3 Determinações analíticas

4.2.3.1 Compostos bioativos

Carotenoides totais

As análises foram realizadas conforme método proposto por Rodriguez-Amaya (2001). Cerca de 2 g de polpa de pimenta foram macerados em almofariz de porcelana com 30 mL de acetona fria e 3 g de celite. O material foi filtrado sob vácuo em funil de *Büchner* com papel de filtro. Em seguida, transferido para um funil de separação, onde foram adicionados 40 mL de éter de petróleo. Cada fração foi lavada três vezes com água destilada para retirar toda a acetona. Após a separação, a fase em éter de petróleo foi filtrada em funil com lã de vidro contendo 15 g de sulfato de sódio anidro e transferida para um balão de 50 mL. A absorbância foi lida no comprimento de onda de 450 nm, em espectrofotômetro de UV visível modelo Shimadzu UV-1800. O teor de carotenoides totais foi calculado utilizando o valor de absortividade ($A^{1\%}_{1cm}$) de 2348 e expresso em µg g^{-1} de zeaxantina.

$$\mathbf{CT\ (\mu g\ g^{-1}) = \frac{absorbância\ x\ volume\ (mL)\ x\ 10^4}{(A^{1\%}_{1cm})\ x\ peso\ da\ amostra\ (g)}}$$

Capsaicinoides (CLAE)

As análises dos capsaicinoides (capsaicina e diidrocapsaicina) foram feitas por cromatografia líquida de alta eficiência-CLAE, pelo método 995.03 da *Association of Official Analytical Chemists* - AOAC (2000).

Extração de capsaicinoides: foram pesados 12,5 g da polpa em balão de fundo chato e adicionados 100 mL de álcool etílico. Após refluxo por uma hora e meia o extrato foi resfriado e em seguida filtrado em papel de filtro em balão volumétrico de 100 mL.

Identificação de capsaicinoides: o extrato foi filtrado em filtro Millipore com 0,45 μm e analisado em cromatógrafo *Shimadzu LCsolution* equipado com injetor automático. A separação dos analitos foi realizada em coluna *Zorbax SB* C_{18} (4,6 x 150 mm), pré-coluna: *MetaGuard Pursuit* 5 μm C18, 4,6 mm. O detector usado foi UV a 280 nm e a fase móvel uma mistura de acetonitrila e água com 1% de ácido acético (40:60), sob um fluxo de 1,5 mL min^{-1}, em eluição isocrática. O volume de injeção foi de 20 μL e o tempo de corrida de 40 min.

A obtenção dos padrões foi realizada por CLAE em escala semipreparativa de acordo com o método proposto por Farias (2012). Para a identificação dos capsaicinoides, nas amostras, compararam-se os tempos de retenção obtidos para os padrões e para as amostras, analisados sob as mesmas condições. A partir das curvas analíticas, foram calculadas as concentrações de capsaicina e diidrocapsaicina presentes nas amostras.

Fenólicos totais

Extração: pesou-se 3 g da polpa de pimenta e diluiu-se em 10 mL de etanol 80%. Esta solução foi agitada, por 15 min, em mesa agitadora e em seguida centrifugada a 519 g durante 10 min. A partir deste extrato, prepararam-se em tubos de ensaio, diluições seriadas, em triplicata.

Determinação: uma alíquota de 0,5 mL do extrato foi dispensada em tubo de ensaio com 2,5 mL da solução de *Folin-Ciocalteau*. Após agitação em agitador de tubos e repouso, de 5 min, foi adicionado 2 mL da solução de Na_2CO_3 a 4% e novamente agitado. Em seguida a solução foi deixada em repouso por mais 2 h, em local escuro, e a absorbância lida a 740 nm em espectrofotômetro modelo *Shimadzu* UV-1800. A curva de calibração foi construída com diferentes concentrações do padrão de ácido gálico (WOISKY; SALATINO, 1998).

Atividade Antioxidante

A determinação da atividade antioxidante foi realizada na polpa de pimenta, pelos métodos ABTS e DPPH. Para a extração realizou-se o mesmo método empregado na análise de fenólicos totais já descrito anteriormente.

ABTS: adotou-se método baseado no sequestro, por antioxidantes, do radical ABTS 2,2'- azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). O radical ABTS é formado a partir da adição do perssulfato de potássio. A redução do $ABTS^{\cdot+}$ a ABTS ocorre quando o antioxidante é misturado a esse radical, levando a perda da coloração esverdeada do meio reacional.

Após extração foram adicionados 2 mL de solução de ABTS (0,40 mg mL^{-1} de concentração) a 20 µL do extrato etanólico da pimenta. Este procedimento foi realizado em três diluições diferentes, em triplicata, para todas as amostras. A leitura foi realizada em espectrofotômetro modelo *Shimadzu* UV-1800 a 734 nm. A partir das absorbâncias obtidas, a atividade antioxidante foi calculada e o resultado expresso em µmol g^{-1} Trolox (CAMARGO et al., 2012).

DPPH: o método utilizado foi baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) por antioxidantes, produzindo redução da intensidade da cor violeta.

Para a determinação, foram misturados em tubo de ensaio: 3 mL de etanol, 300 µL da solução de DPPH e 500 µL do extrato etanólico da pimenta. A mistura foi deixada em repouso, no escuro, por 30 min. Em seguida a solução foi analisada em espectrofotômetro modelo *Shimadzu* UV-1800 a 517 nm. A atividade foi expressa como µmol g^{-1} Trolox (BRAND-WILLIAMS, CUVIER e BERSET, 1995 modificada por MENSOR et al., 2001).

4.2.3.2 Avaliação instrumental da cor

A cor da polpa foi avaliada por reflectância em colorímetro Minolta, Modelo Chroma Meter CR-200b. O valor L fornece a luminosidade, variando do preto (L= 0) ao branco (L= 100). O valor *a** caracteriza a coloração na região do verde (*a**= -80) ao vermelho (*a**=+100) e o valor *b** a coloração no intervalo do azul (*b**= -50) ao amarelo (*b**= +70). As leituras foram feitas em três pontos distintos da embalagem da polpa de pimenta.

4.2.3.3 Análises microbiológicas

Antes da realização das análises sensoriais, as amostras de polpa de pimenta foram avaliadas quanto aos padrões microbiológicos. Foram feitos testes para coliformes a 45 °C de acordo com os procedimentos propostos pelo *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (KORNACKI; JOHNSON, 2001), e *Salmonella* spp. conforme método 2011.03 da *Association of Official Analytical Chemists* (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 2012).

4.2.3.4 Análise Sensorial

Antes de qualquer abordagem o estudo foi aprovado pela Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa da ESALQ/USP sob protocolo de n° 98 (Anexo A).e pelo Comitê de Ética da ESALQ sob protocolo de nº 80 (Anexo B).

Foram selecionadas para a avaliação sensorial, duas doses de radiação aplicadas na polpa de pimenta (4,5 e 6,0 kGy) e uma amostra controle. As doses foram escolhidas por terem preservado a qualidade microbiológica por um período de tempo maior.

Amostra: foi oferecido aos provadores um "patê" da polpa de pimenta Dedo-de-moça, preparado com os seguintes ingredientes: óleo de soja (62%), leite (25%), sal de uso doméstico (0,5%) e polpa de pimenta (12,5%). Este patê foi servido com pão de forma cortado em quadrados de aproximadamente 4 cm^2. Os provadores beberam iogurte entre a avaliação de uma amostra e outra. Cada provador recebeu simultaneamente as 3 amostras codificadas com algarismos de 3 dígitos, juntamente com a ficha de avaliação (Apêndice A). As avaliações de sabor e aroma foram realizadas em cabines individuais, sob luz vermelha, para que a cor não influenciasse nas respostas. Para os testes de aparência e cor a polpa de pimenta foi acondicionada em *Becker* de vidro transparente.

Provadores: a análise foi realizada com 60 provadores não treinados, entre estudantes e servidores do CENA-USP, de ambos os sexos. Os indivíduos foram informados a respeito de sua participação voluntária por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, constando os dados, os riscos e os benefícios da pesquisa (Apêndice B).

Teste de aceitação: a aceitação da polpa de pimenta foi avaliada utilizando escala hedônica de 9 pontos (1= desgostei extremamente; 5= não gostei nem desgostei e 9= gostei extremamente) para os atributos aparência, sabor, cor percebida e aroma (POSTE et al., 1991).

Teste de ordenação: Os provadores ordenaram as amostras por ordem decrescente de intensidade das características sensoriais: pungência e cor vermelha. Foram conferidos às amostras, valores entre “1” (amostra menos vermelha ou menos pungente) a “3” (amostra mais vermelha ou mais pungente).

*Teste de preferência***:** os provadores indicaram os atributos que mais gostaram entre as 3 amostras codificadas de polpa de pimenta.

4.2.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, de acordo com os procedimentos estabelecidos no *General Linear Model* do SAS/STAT® 9.3 (SAS *Institute*, 2011), para a verificação de diferenças estatisticamente significativas entre as médias das variáveis estudadas. Para a comparação entre as médias, empregou-se o teste de Tukey, adotando-se, como nível de significância, $\alpha = 0,05$.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Compostos Bioativos

Após 8 dias da aplicação da radiação gama as amostras controle deterioraram-se, apresentando crescimento visível de fungos, odor desagradável e embalagem estufada. Depois de 12 dias, as amostras irradiadas com doses de 1,5 kGy, 3,0 kGy apresentaram o mesmo comportamento. Por este motivo não foram realizadas as análises de compostos bioativos, nos tempos de estocagem 14 e 21 dias, para estas amostras.

Na tabela 2, encontram-se as avaliações dos compostos bioativos da polpa de pimenta após irradiação e estocagem a temperatura de 25 °C.

Tabela 2 - Carotenoides totais, capsaicina, diidrocapsaicina, atividade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH e fenólicos totais de polpa de pimenta Dedo-de-moça submetida à radiação gama e a estocagem a 25 °C.

Dose (kGy)	***Carotenoides totais***	***Capsaicina***	***Diidrocapsaicina***	***ABTS***	***DPPH***	***Fenólicos totais***
	µg g^{-1} Zeaxantina	---------- µg g^{-1} ----------		-------- µmol g^{-1} Trolox ---------		mg g^{-1} EAG
Controle	128,2 ± 3,18 a	6,81 ± 0,69 a	2,47 ± 0,381a	6,35 ± 0,872a	3,43 ± 0,693a	1,04 ± 0,030a
1,5	112,6 ± 20,86a	6,38 ± 0,73 a	2,32 ± 0,424a	6,05 ± 0,860a	2,85 ± 0,262b	1,01 ± 0,051a
3,0	111,2 ± 9,94a	6,54 ± 0,33 a	2,38 ± 0,217a	6,05 ± 0,969a	2,75 ± 0,406b	1,02 ± 0,054a
4,5	109,9 ± 11,02a	5,86 ± 0,55 a	1,98 ± 0,207a	4,56 ± 2,260b	1,95 ± 1,280c	1,01 ± 0,038a
6,0	106,1 ± 18,96a	6,46 ± 0,92 a	2,34 ± 0,472a	3,93 ± 1,952b	1,70 ± 1,320c	0,99 ± 0,048a
Estocagem (dias)						
1	116,4 ± 17,42a	6,44 ± 0,960 a	2,31 ± 0,507a	6,70 ± 0,571a	3,21 ± 0,556a	1,05 ± 0,024a
7	114,6 ± 22,92a	6,58 ± 0,648 a	2,36 ± 0,342a	5,45 ± 0,509b	2,76 ± 0,171b	1,00 ± 0,044ab
14	108,1 ± 18,21 a	5,86 ± 0,253 a	2,10 ± 0,126a	1,76 ± 0,170d	0,44 ± 0,048c	0,98 ± 0,033b
21	95,5 ± 11,07a	5,97 ± 0,077 a	2,06 ± 0,119a	2,49 ± 0,529c	0,51 ± 0,042c	0,97 ± 0,054b

*As amostras controle, 1,5 e 3,0 kGy foram avaliadas no 1° e 7° dia, enquanto as amostras irradiadas com as doses 4,5 e 6,0 kGy foram avaliadas no 1°, 7°, 14° e 21° dias. Médias de três repetições ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$). Resultados expressos no peso fresco.

Carotenoides totais

Carotenoides totais não foram influenciados pela radiação gama e pela estocagem por 21 dias, a 25 °C. Em pesquisas que avaliaram o conteúdo de carotenoides, em alimentos submetidos à radiação gama, foi demonstrado que a estocagem por períodos semelhantes ou maiores que 21 dias teve mais influência do que a irradiação na redução do pigmento. Nos estudos de Youssef et al. (2002) o conteúdo de carotenoides em polpa de manga não foi influenciado pela irradiação com doses até 2 kGy. A estocagem a 3 °C, manteve os carotenoides estáveis por 30 dias, embora, tenha diminuído significativamente durante os 270 dias de estocagem.

Ramamurthy et al. (2004) assinalaram que as perdas de carotenoides em *Capsicum* minimamente processado, durante o armazenamento por 2 semanas, foram menores em amostras irradiadas com doses de 2 kGy do que em amostras não irradiadas. As amostras irradiadas com doses até 3 kGy exibiram perdas entre 5 a 10% ao longo de 4 semanas de estocagem.

Neste estudo, os teores de carotenoides variaram de 90,9 a 122,8 µg de Zeaxantina por grama de polpa. Na pesquisa de Rodríguez-Burruezo et al. (2009), os autores registraram variação de 30,5 a 200,2 µg g^{-1} no teor de carotenoides, em 23 cultivares de *Capsicum baccatum*, in natura. No entanto, Oliveira (2011) registrou 23,6 µg g^{-1} em pimenta Dedo-de-

moça in natura. De acordo com Topuz e Ozdemir (2007) os teores de carotenoides em *Capsicum* podem variar de acordo com o grau de maturação do fruto e com os cultivares.

Fenólicos totais

As doses de radiação gama empregadas na polpa de pimenta não provocaram alterações nos compostos fenólicos, entretanto, houve redução durante a estocagem. Damiani et al. (2013), também evidenciaram diminuição do conteúdo de compostos fenólicos em polpa de araçá, durante a estocagem. Os autores associaram esta redução à possível reação com o oxigênio (oxidação) durante o processamento. Em pimentões vermelhos, doses de 4 e 6 kGy não afetaram o conteúdo de fenólicos totais (0,43 mg g^{-1}) durante a estocagem entre 24 e 28 °C, por 90 dias (ABRAR et al., 2009). Youssef et al. (2002) evidenciaram aumento expressivo dos compostos fenólicos de polpa de manga irradiada com 1,5 kGy, após 30 dias de estocagem (0,82 para 3,19 mg g^{-1}). Em amostras não irradiadas reduziu de 8,1 para 1,74 mg g^{-1}.

Neste estudo, os teores de compostos fenólicos entre 0,97 e 1,06 mg g^{-1} EAG são consistentes com outras pesquisas que avaliaram pimentas *Capsicum baccatum* var. *pendulum.* As pesquisas revelaram teores entre 0,65 mg g^{-1} EAG (OLIVEIRA, 2011) a 1,4 mg g^{-1} EAG (ANTONIOUS et al., 2006).

Atividade antioxidante

Os resultados das avaliações pelos métodos do seqüestro dos radicais ABTS e DPPH foram coincidentes. Pelos dois métodos de análise evidenciaram-se reduções da atividade antioxidante com o aumento da dose de radiação gama e dos dias de estocagem. As maiores perdas foram ocasionadas pelas doses de 4,5 e de 6,0 kGy. Na dose de 4,5 kGy houve redução de 28%, pelo método ABTS e 43% pelo DPPH. Na dose de 6,0 kGy, diminuiu 38% pelo método ABTS e 50% pelo DPPH. Em polpa de frutas frescas, a redução da atividade antioxidante pode estar associada a reação de oxidação ocorrida durante o processamento da polpa (DAMIANI et al., 2013).

As avaliações da atividade antioxidante e do conteúdo de fenólicos apresentaram resultados coincidentes, ambos foram reduzidos durante a estocagem. No entanto, a irradiação não influenciou os compostos fenólicos, embora tenha afetado a atividade antioxidante. Hassimotto, Genovese e Lajolo (2005) evidenciaram correlação muito baixa (R2 <0,1) entre o teor de fenólicos e a atividade antioxidante em frutas, hortaliças e polpa de frutas, possivelmente, por que existem diferenças na composição fenólica entre extratos de plantas.

Os valores da atividade antioxidante medida pela captura dos radicais ABTS e DPPH variaram de 1,74 a 7,12 µmol g^{-1} Trolox para o método ABTS e de 0,42 a 4,02 µmol g^{-1} Trolox para o DPPH. Essa faixa está dentro da relatada por Chuah et al. (2008) em pimentas in natura e pápricas, que encontraram valores entre 5,2 e 11,9 µmol g^{-1} Trolox pelo método DPPH-CLAE, no peso fresco.

Capsaicinoides

Os teores de capsaicina (5,6 e 7,4 µg g^{-1}) e diidrocapsaicina (1,8 e 2,9 µg g^{-1}) não foram influenciados pela radiação gama e pela estocagem a 25 °C. Resultados semelhante foram demonstrados por Rico et al. (2010) em pimenta vermelha desidratada, estocada por 6 meses, que observaram que os teores de capsaicinoides não foram alterados pela dose de radiação de 10 kGy.

Existe ampla variação no teor de capsaicinoides em pimentas do gênero *Capsicum* e mesmo entre cultivares de uma mesma variedade. Em 17 cultivares das espécies de *C. chinense; C. baccatum*; *C. annuum* e *C. frutescens* foram evidenciados valores entre 2 e 1300 µg g^{-1}, no peso fresco (ANTONIOUS et al., 2006). Teores semelhantes (1250 µg g^{-1} no peso fresco) ao referido estudo foram relatados por Costa et al. (2010) em *Capsicum baccatum* var. *pendulum,* in natura. Tanaka et al. (2009) ao pesquisar 4 cultivares desta variedade, coletadas no Peru, Estados Unidos, Costa do Marfim e Paraguai encontraram teores entre 511 a 5073 µg g^{-1}, na matéria seca.

Diferenças nos teores de compostos bioativos entre uma mesma variedade pode estar relacionada com a sua localização de plantio, estação do ano, solo, fertilizantes, umidade e calor (SANTOS, 2008). O processamento da pimenta para elaboração da polpa também pode ter contribuído para redução dos teores de alguns compostos.

Além disso, as discrepâncias nos conteúdos entre estudos podem estar associadas à ausência de informação sobre a variedade da espécie *C. baccatum*. Esta espécie é classificada em duas variedades baseadas em diferenças morfológicas. A *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, conhecida, no Brasil, como Dedo-de-moça e Cambuci e *Capsicum baccatum* var. *baccatum* chamada de Cumari. Existe ainda grande diferença morfológica e nutricional entre as pimentas *Capsicum baccatum* var. *pendulum.* A Dedo-de-moça possui frutos alongados, vermelhos quando maduros, com pungência suave a mediana, enquanto a Cambuci tem formato campanulado, tamanho mediano e ausência de pungência (CARVALHO et al., 2006).

4.3.2 Cor

As coordenadas *L*, *a** e *b** foram influenciados pelas doses 3,0 e 6,0 kGy e pela estocagem por 14 dias (Tabela 3). A coordenada *L* (luminosidade) que representa a claridade/escuridão da polpa, teve seus valores reduzidos (de 49,1 para 40,1), ou seja, tornou-se mais escura. Os valores da coordenada *a** aumentaram de 9,8 para 16,8, apresentando aspecto mais vermelho e a coordenada *b** foi elevada de 14,2 para 25,3, aproximando-se mais do tom amarelo, ou seja, a polpa tornou-se mais alaranjada. Os resultados apresentados por Souza, Arthur e Nogueira (2012) também evidenciaram que a cor de pimenta-rosa foi afetada pela irradiação. Os valores de *a* e b** foram aumentados pelas doses de 0,2 e 0,8 kGy.

Tabela 3 – Coordenadas de cor instrumental de polpa de pimenta Dedo-de-moça submetica à radiação gama e a estocagem a 25 °C.

Dose (kGy)	***L***	***a****	***b****
Controle	48,6 ± 0,87a	9,9 ± 1,08c	14,2 ± 1,35c
1,5	49,1 ± 0,76a	9,9 ± 0,90c	15,4 ± 1,13c
3,0	45,1 ± 4,92b	14, 0 ± 2,74b	20,2 ± 5,13b
4,5	48,5 ± 2,03a	10,6 ± 1,96c	16,5 ± 3,06c
6,0	40,1 ± 1,61c	16,8 ± 2,06a	25,6 ± 1,50a
Estocagem (dias)			
1	48,0 ± 2,61a	12,7 ± 3,50b	17,8 ± 4,92b
7	45,5 ± 4,48b	12,6 ± 3,68b	19,3 ±5,43b
14	43,0 ± 3,99c	14,6 ± 3,13a	23,1 ± 4,34a
21	43,2 ± 4,39c	12,1 ± 3,63b	19,8 ± 5,82b

*As amostras controle, 1,5 e 3,0 kGy foram avaliadas no 1° e 7° dia, enquanto as amostras irradiadas com as doses 4,5 e 6,0 kGy foram avaliadas no 1°, 7°, 14° e 21° dia. Médias de três repetições ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p<0,05$). Resultados expressos no peso fresco.

A radiação gama pode aumentar a atividade da enzima polifenoloxidase em polpa, provavelmente em resposta ao estresse gerado durante o processo (YOUSSEF et al., 2002). De acordo com Gökmen (2010), as enzimas polifenoloxidase e peroxidase podem causar alterações de cor em vegetais. Além disso, o tempo e a temperatura de estocagem podem provocar degradação da cor em polpa ou pasta de alimentos de origem vegetal. Este fato foi observado por Ahmed, Shivhare e Ramaswamy (2002) em pasta de pimenta armazenada a 25 e 37 °C. Os autores atribuíram a alteração da cor à possível oxidação dos pigmentos carotenoides.

4.3.3 Avaliação Microbiológica

Todas as amostras estavam próprias para consumo conforme a recomendação da RDC n°12, de 02/01/2001 (ANVISA, 2001). Como não há recomendações para polpa de pimenta utilizou-se a indicação para polpa de frutas. Os resultados revelaram ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de polpa de pimenta e contagem de Coliformes a 45° inferiores a 10 Unidades Formadoras de Colônias por grama de polpa (UFC g^{-1}).

4.3.4 Análise Sensorial

Um total de sessenta provadores participou da pesquisa, entretanto, os resultados de dois participantes foram excluídos da análise estatística porque não responderem a maioria dos itens pesquisados e afirmaram não gostar e nunca consumir pimentas.

A maioria dos provadores se declarou do sexo feminino (53%), não fumante (95%) e pertencente à faixa etária entre 18 e 35 anos (62%). O consumo de pimenta foi mais freqüente entre homens do que entre mulheres. Cerca de 30% dos homens participantes do estudo afirmaram que ingeriam o fruto todos os dias ou pelo menos três vezes por semana, enquanto entre as mulheres o percentual foi de 26% (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização dos provadores da polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada.

	Homens	***Mulheres***	***Total***
	n (%)	n (%)	n (%)
Sexo	27 (47)	31 (53)	58 (100)
Fumantes	2 (7)	1 (3)	3 (5)
Idade (anos)			
18-35	13 (48)	23 (74)	36 (62)
36-50	8 (30)	6 (19)	14 (24)
51-65	6 (22)	2 (6)	8 (14)
Consumo de pimenta			
Sim, diariamente	7 (26)	5 (16)	12 (21)
Sim, raramente	7 (26)	17 (55)	24 (41)
1 vez por semana	7 (26)	5 (16)	12 (21)
2 vezes por semana	2 (7)	1 (3)	3 (5)
3 vezes por semana	2 (7)	3 (10)	5 (9)
Não respondeu	2 (7)	0 (0)	2 (3)

Quanto à intenção de compra da polpa de pimenta Dedo-de-moça tratadas com radiação gama e não tratadas (controle), nota-se que as amostras irradiadas obtiveram os maiores percentuais de respostas “sim”. Cerca de 60% para a dose 4,5 kGy e 48% para a de

6,0 kGy. Apenas 28%, do total de provadores, não tinham intenção de comprar as polpas irradiadas (Figura 1).

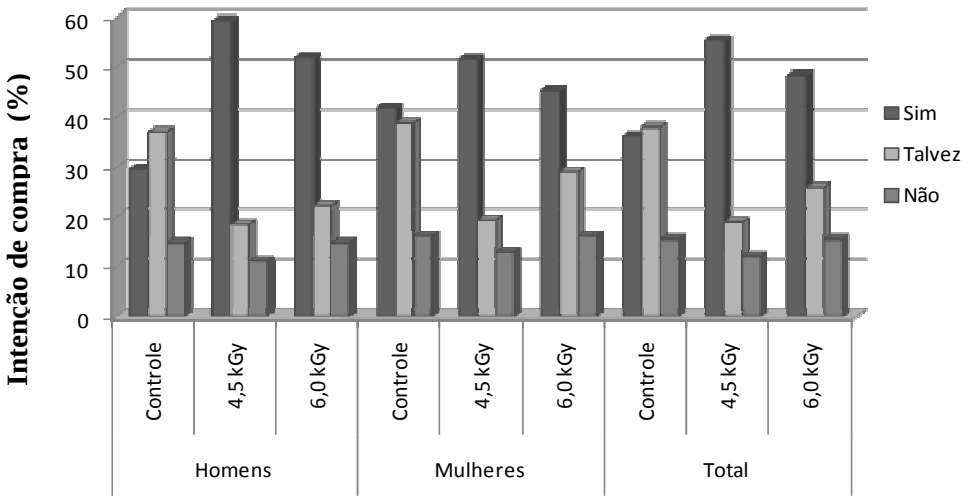

Figura 1 - Histograma de intenção de compra da polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada.

Teste de aceitação

A análise de variância não evidenciou diferença, entre os tratamentos, para todos os parâmetros avaliados no teste de aceitação. Na figura 2 encontram-se os gráficos *Box plot* das avaliações de aparência, sabor, cor percebida e aroma. Nota-se no teste de aceitação de aparência, sabor e cor percebida que todas as amostras receberam 75% das avaliações nas categorias 7 “gostei moderadamente” ou acima (8 “gostei muito” e 9 “gostei extremamente”). Apenas o controle, na avaliação de sabor, recebeu 40% das notas abaixo de 7. No julgamento do aroma, 50% dos provadores também atribuíram nota 7 ou acima.

Os círculos que aparecem nos gráficos *Box plot* de aparência, sabor e cor percebida evidenciam a presença de *outliers*. Estes dados discrepantes ocorreram, possivelmente, em razão das diferenças no nível de apreciação da pimenta pelos julgadores, ou seja, aqueles que relataram não gostar muito de pimenta atribuíram notas bem inferiores.

O losango disposto dentro da caixa do gráfico *Box plot* dispõe sobre as médias dos valores atribuídos aos testes. É possível constatar que as médias das notas para os atributos do teste de aceitação foram acima de 7. Apenas o aroma recebeu valores próximos a 6,6.

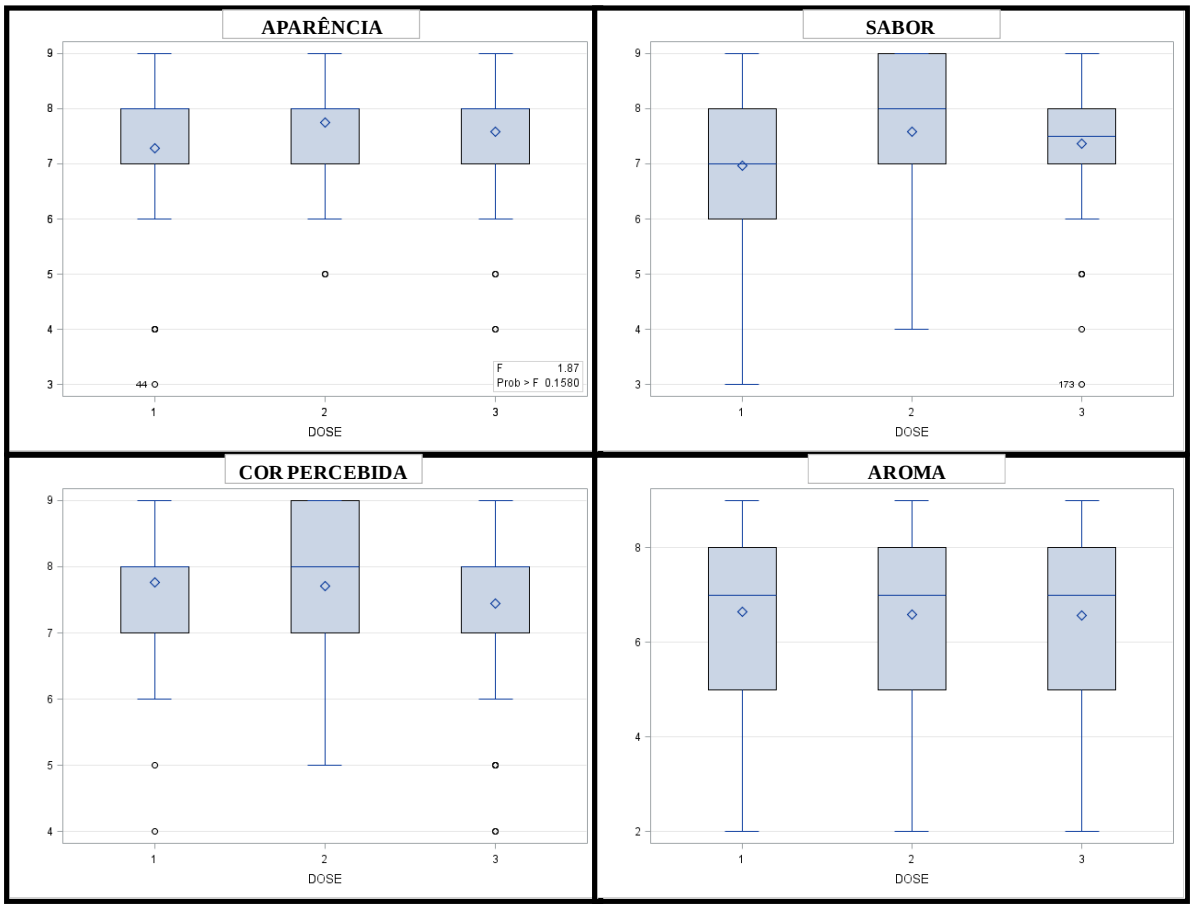

Figura 2 – *Box plot* das avaliações dos provadores para o teste de aceitação (1= desgostei extremamente; 5= não gostei nem desgostei e 9= gostei extremamente) de polpa de pimenta irradiada e não irradiada. Dose 1= controle; Dose 2= 4,5 kGy e Dose 3= 6,0 kGy.

Teste de ordenação

A pungência da polpa de pimenta não foi afetada pela irradiação, enquanto as amostras submetidas às doses de 4,5 e 6,0 kGy foram consideradas menos vermelha que o controle (Figura 3). Os resultados apresentados por Rico et al. (2010) corroboram com este estudo. Os autores não evidenciaram diferenças significativas, para a pungência, em amostras de pimenta vermelha em pó irradiada com 10 kGy e a amostra controle. No entanto, os provadores tiveram menor aceitabilidade a alteração da cor provocada pela irradiação, após 6 meses. A cor de polpa de manga irradiada com a dose de 2 kGy e não irradiada, após 30 dias de estocagem também foi rejeitada pelos provadores. A alteração da cor de polpas de alimentos de origem vegetal pode estar associada à atividade da enzima polifenoloxidase (YOUSSEF et al., 2002).

Neste estudo, as amostras irradiadas receberam nota média de 1,7 para a cor vermelha, enquanto o controle obteve 2,2 (Figura 3). Estes resultados corroboram com a avaliação

instrumental de cor, uma vez que, confirmam que as amostras irradiadas provocaram alteração da cor da polpa quando comparadas com a amostra controle.

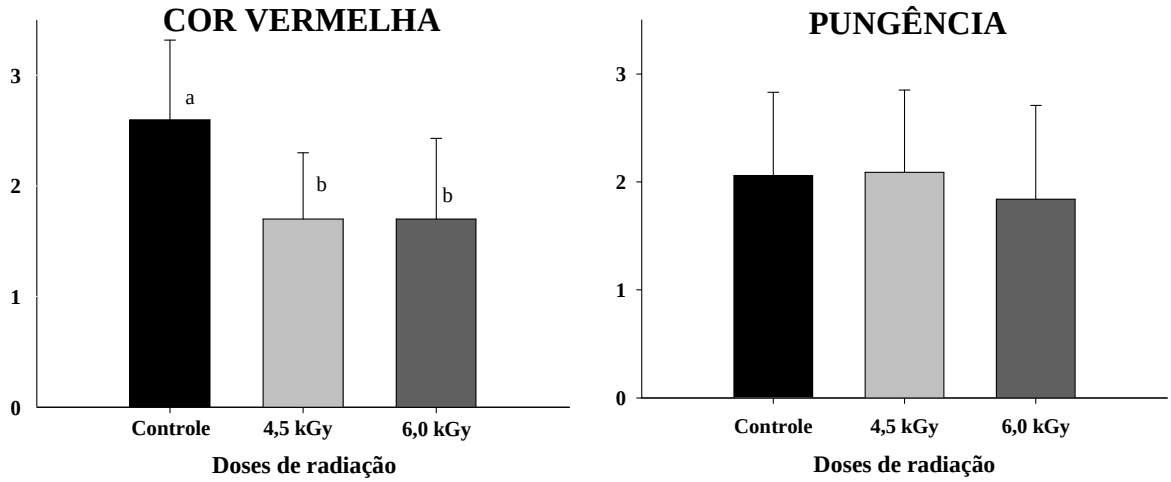

Figura 3 – Teste de ordenação (1= amostra menos vermelha ou menos pungente; 3= amostra mais vermelha ou mais pungente) de polpa de pimenta irradiada e não irradiada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p<0,05$).

Os resultados do teste sensorial de pungência foram confirmados pela análise do teor dos capsaicinoides, capsaicina e diidrocapasaicina, demonstrando que a radiação gama nas doses de 4,5 e de 6,0 kGy e a estocagem a 25 °C não afetaram os teores destes compostos.

Teste de Preferência

Quando os provadores foram questionados sobre o que mais gostaram na polpa de pimenta, os atributos cor, aroma, sabor e aparência foram os mais mencionados nos três tratamentos. Entretanto, o aroma, também foi o parâmetro que menos agradou a 22% dos provadores da amostra irradiada com a dose de 6 kGy e a 20% dos avaliadores da amostra controle (Figura 4). Estes resultados divergentes podem estar associados às diferenças na freqüência do consumo e no nível de apreciação da pimenta entre os provadores.

Rico et al. (2010) demonstraram que após 6 meses de estocagem houve menor aceitabilidade pelo aroma de pimentas em pó irradiadas com 10 kGy em relação a amostra controle. Lee et al. (2004) afirmaram que as alterações no aroma da pimenta podem ocorrer em razão do stress dos compostos estruturais ou despolimerização resultando no desaparecimento de alguns voláteis.

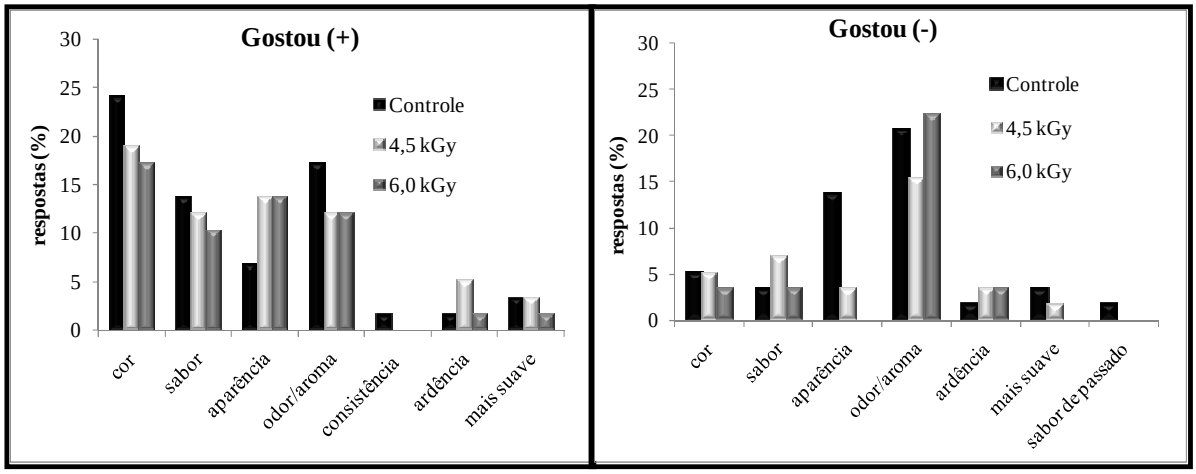

Figura 4 - Histograma de preferência das polpas de pimenta irradiada e não irradiada.

Os resultados das avaliações sensoriais dos homens e das mulheres foram analisados separadamente (resultados não apresentados). A análise estatística não evidenciou diferenças entre os sexos, em todos os parâmetros pesquisados, demonstrando que o sexo não interferiu na percepção dos atributos sensoriais da polpa de pimenta.

4.4 Conclusões

A irradiação não provocou alterações nos compostos fenólicos da polpa, por outro lado, a estocagem por 21 dias reduziu o seu teor. Apenas a cor da polpa foi modificada, assim como a atividade antioxidante que foi reduzida com o aumento da dose e com os dias de estocagem.

As doses de radiação de 4,5 e 6,0 kGy não afetaram os teores de carotenoides totais e de capsaicinoides da polpa de pimenta. Nestas doses, houve boa aceitação da polpa pelos provadores e não ocorreu modificação dos atributos sensoriais de cor, aparência, sabor e pungência.

Conclui-se que a radiação gama do ^{60}Co, nas doses de 4,5 e 6,0 kGy, podem ser usadas para conservar a polpa de pimenta Dedo-de-moça por 21 dias, a 25 °C sem afetar os compostos bioativos e a qualidade sensorial.

4.5. Referências

ABRAR, M. et al. Effect of storage period and irradiation doses on red chillies. **Pakistam Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 8, n. 8, p. 1287-1291, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA- ANVISA**. Resolução n° 12, de 02 de janeiro de 2001**. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos, Brasília, p. 48, jan. 2001.

AHMED, J.; SHIVHARE, U.S.; RAMASWAMY, H.S A fraction conversion kinetic model for thermal degradation of color in red chilli puree and paste. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 35, p. 497-503, 2002.

ANDREWS, L.S. et al. Food preservation using radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 154, p. 1-53, 1998.

ANTONIOUS G. F. et al. Antioxidants in hot pepper: variation among accessions. **Journal of Environmental Science and Health.** Part B, London, v. 41, n. 7, p. 1237-1243, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 17. ed. Arlington: AOAC, 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. O**ffcial methods of analysis:** microbiological methods. AOAC Official Method 2011.03 *Salmonella* in a Veriety of Foods. 19. ed. Arlington: AOAC, 2012.

BOSLAND P. W.; VOTAVA E. J. **Peppers:** vegetable and spice capsicum**.** Wallingford: CABI, 2000.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 28, p. 25-30, 1995.

CAMARGO, A. C. et al. Gamma radiation effects on peanut skin antioxidants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 13, n. 3, p. 3073-3084, 2012.

CARVALHO et al. **Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2006. p. 571-573.

CHUAH, A. M. et al. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers**. Food Chemistry**, Barking , v. 111, p. 20-28, 2008.

COSTA, L. M. et al. Atividade antioxidante de pimentas do gênero *Capsicum*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 30, n. 1, p. 51-59, 2010.

DAMIANI, C. et al. Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen araça pulp during storage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, Freising, v. 17, n. 4, p. 148-152, 2006.

FARIAS, V. L. **Aumento do rendimento do extrato de pimenta (*Capsicum frutescens* L.): utilização de preparações enzimáticas comerciais.** 2012. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

GIUFFRIDA, D. et al. Characterization of 12 *Capsicum* varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. **Food Chemistry**, Barking, v. 140, p. 794–802, 2013.

GÖKMEN, V. Selection of the indicator enzyme for blanching of vegetables. In: BAYINDIRLI, A. (Org.). **Enzymes in fruit and vegetable processing**: chemistry and engineering applications. Boca Raton: CRC Press, 2010.

HAGENMAIER, R.D; BAKER, R.A. Low-dose irradiation of cut iceverg lettuce in modified atmosphere packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 45, p. 2864-2868, 1997.

HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 8, p. 2928-2935, 2005.

HENZ, G. P; RIBEIRO, C.S.C. Mercado e comercialização. In: RIBEIRO, C.S.C. et al. **Pimentas *Capsicum*.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 15-23.

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. **Fact about food irradiation:** a series of fact sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation. Vienna: ICGFI/FAO/IAEA, 1999.

KAPPEL, V. D. et al. Phenolic content and antioxidant and antimicrobial properties of fruits of *Capsicum baccatum* L. var. *pendulum* at different maturity stages. **Journal of Medicinal Food**, Larchmont, v. 11, n, 2, p. 267-274, 2008.

KORNACKI J. L.; JONSON J.L. **Microbiological Monitoring of the Food Processing Environment. Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 rd. [S.l.], Washington DC: APHA, 2001. cap. 8, p. 69-82.

LEE, J. H et al. Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper power. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 69, p. 585-592, 2004.

LIMA, S. C. et al. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Doucos carota L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 202-208, 2001.

MECKELMANN, S. W. et al. Compositional characterization of native Peruvian chili peppers (*Capsicum* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 61, p. 2530-2537, 2013.

MENSOR, L. L et al. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy Research**, London, v. 15, p. 127-130, 2001.

MIZANI, M. et al. Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, p. 806-809, 2009.

MORAES, L. P. et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of fermented "dedo-de-moça". **Biochemistry and Biotechnology Reports**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 33-38, 2012.

OBOH, G.; ROCHA, J. B. T. Distribution and antioxidant activity of polyphenols in ripe and unripe tree pepper (*Capsicum pubescens*). **Journal of Food Biochemistry**, Hoboken, v. 31, n. 4, p. 456-473, 2007.

OLIVEIRA, A. M. C. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e atividade antifúngica de pimentas do gênero *Capsicum spp*.** 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

PINTO, C. M. F.; PINTO, C. L. O.; DONZELES, S. M. L. Pimenta *capsicum*: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável,** Viçosa, v. 3, n. 2, p. 108-120, 2013.

POSTE, L. M. et al. Laboratory methods for sensory analysis of food. **Research Branch Agriculture Canada**, Ottawa, p. 90, 1991.

RAMAMURTHY, M. S. et al. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated *Capsicum* by gamma irradiation International. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, London, v. 55, n. 4, p. 291-299, 2004.

RICO, C. W. et al. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum L.*). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 1012-1016, 2010.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods.** Washington: ILSI Press, 2001.

RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A. et al. Variation for bioactive compounds in ajı´ *(Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P.) and implications for breeding. **Euphytica**, Dordrecht, v. 170, p. 169-181, 2009.

SANTOS, R. L. S. **Efeitos da radiação gama do ^{60}Co em frutos de pequi (*Caryocar brsiliense* Camb.)**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
SAS Institute. **SAS/STAT®** User's guide: statistics. Cary: SAS Institute, 2011.

SGARBIERI, V. C. Nutrição e tecnologia de alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, p. 115-139, 1986.

SOUZA, A.R.M; ARTHUR V.; NOGUEIRA, D.P. The effect of irradiation in the preservation of pink pepper (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 81, n. 8, p. 1082-1083, 2012.

SUCHANDRA, C. et al. Antioxidant activity of some phenolic constituents from green pepper (*Piper nigrum* L.) and fresh nutmeg mace (*Myristica fragrans*). **Food Chemistry**, Barking, v. 101, p. 515-523, 2007.

TANAKA, Y. et al. Assessment of capsiconinoid composition, nonpungent capsaicinoid analogues, in *Capsicum* Cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, p. 5407–5412, 2009.

TOPUZ, A.; OZDEMIR, F. Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. **Food Chemistry**, Barking , v. 86, p. 509-515, 2004.

TOPUZ, A.; OZDEMIR, F. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, p. 596–602, 2007.

TRUJILLO, F. R. M. et al. Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (*Cucumis melo* L.) mínimamente procesado por impregnación al vacío. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición.** Caracas, v. 51, p. 173-179, 2001.

YOUSSEF, B.M. et al. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. **Food Research International**, Essex, v. 35, p. 1-13, 2002.

WOISKY, R. G.; SALATINO, A. Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. **Journal of Apicultural Research**, Essex, v. 37, n. 2, p. 99-105, 1998.

5. ESTABILIDADE DE POLPA DE PIMENTA DEDO-DE-MOÇA TRATADA COM RADIAÇÃO GAMA DO COBALTO-60

Resumo

A irradiação tem sido descrita como uma técnica de conservação eficaz, economicamente viável e fisicamente segura, com importante efeito no aumento da vida útil de frutos e hortaliças. Foram estudados os efeitos da radiação gama sobre a qualidade e conservação da polpa da pimenta Dedo-de-moça (*Capsicum Baccatum* var. *Pendulum*) durante o armazenamento a temperatura ambiente. As pimentas foram processadas para elaboração da polpa, embaladas em sacos de polietileno e irradiadas com raios gama do ^{60}Co em irradiador Multipropósito. Amostras de polpa de pimenta não irradiadas (controle) e irradiadas com doses de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy foram estocados a 25±1 °C, por 21 dias. Foram caracterizadas quanto à composição centesimal (umidade, fibra solúvel e insolúvel, cinzas, proteínas, extrato etéreo, carboidrato total e disponível). Avaliações de sólidos solúveis - SS, acidez titulável - AT, pH e ratio foram realizadas após 1, 7, 14 e 21 dias. A polpa foi submetida a análises microbiológicas de coliformes a 45 °C, *Salmonella* spp. e fungos filamentosos e leveduras após 1 e 21 dias da irradiação. A taxa respiratória (produção de CO_2) e produção de etileno – C_2H_4 foram avaliadas depois do processamento e após 12, 24, 48 e 72 horas da irradiação. Os resultados da caracterização da composição centesimal da polpa, na base fresca, revelaram os seguintes valores médios de umidade (80,7 g 100 g^{-1}), fibra solúvel (1,43 g 100 g^{-1}), fibra insolúvel (8,14 g 100 g^{-1}), cinzas (5,85 g 100 g^{-1}), proteínas (0,08 g 100 g^{-1}), extrato etéreo (0,81 g 100 g^{-1}), carboidratos totais (12,6 g 100 g^{-1}) e carboidrato disponível (3,0 g 100 g^{-1}). As doses de radiação empregadas não afetaram os parâmetros físico-químicos e a produção de C_2H_4. Apenas a dose de 6,0 kGy contribuiu para redução do pH. Durante a estocagem houve aumento da AT e da ratio, redução do pH e alterações na taxa respiratória e na produção de C_2H_4. Não foram detectados coliformes a 45 °C e *Salmonella* spp. nas amostras irradiadas e não irradiadas durante a estocagem. A contagem inicial de fungos filamentosos e leveduras (>5,6 x10^4 UFC g^{-1}) diminuiu com o aumento da dose de radiação, chegando ao nível não detectável a 6,0 kGy, enquanto as demais doses reduziram em 2 a 3 ciclos logarítmicos. No entanto, após 21 dias a contaminação por fungos filamentosos e leveduras aumentou em todos os tratamentos, chegando a ordem de 10^6, na dose de 6,0 kGy.

Palavras-chave: Físico-química. Contaminação. Taxa respiratória. Composição centesimal.

Abstract

Irradiation has been described as a conservation technique effective, economically viable and physically secure, with significant effect in increasing the shelf-life of fruits and vegetables. The effects of gamma irradiation on the quality and preservation of the pulp of Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) pepper during storage at room temperature were studied. The peppers were processed for preparation of pulp, packed in polyethylene bags and irradiated with gamma radiation from ^{60}Co in irradiator Multipurpose. Pepper pulp samples not irradiated (control) and irradiated with doses of 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 kGy were stored at 25±1 °C, for 21 days. They were characterized by proximate composition (moisture, soluble and insoluble fiber, ash, protein, ether extract, total and available carbohydrate). Analysis of soluble solids - SS, titratable acidity - TA ratio and pH were performed after 1, 7, 14 and 21 days. Pulp was subjected to microbiological analysis for coliforms at 45 °C, *Salmonella* spp. and yeasts and molds after 1 and 21 days after irradiation. The respiratory rate (CO_2 production) and ethylene production - C_2H_4 were evaluated after processing and after 12, 24, 48 and 72 hours of irradiation. The results of the characterization of the chemical composition of the pulp, on fresh based, revealed the following average values of moisture (80.7 g $100g^{-1}$), soluble fiber (1.43 g 100 g^{-1}), insoluble fiber (8.14 g 100 g^{-1}), ash (5.85 g 100 g^{-1}), proteins (0.08 g 100 g^{-1}), ether extract (0.81 g 100 g^{-1}), total carbohydrate (12.6 g 100 g^{-1}) and available carbohydrate (3.0 g 100 g^{-1}). The radiation doses did not affect the physicochemical parameters and the production of C_2H_4. Only the dose of 6.0 kGy contributed to lowering the pH. During storage AT and ratio increased, the pH decreased and there were changes in respiratory rate and C_2H_4 production. Coliforms at 45 °C and *Salmonella* were not detected in irradiated and non-irradiated samples during storage. The initial count of yeasts and molds (> 5.6 x 10^4 CFU g^{-1}) decreased with increasing radiation dose, reaching undetectable level to 6.0 kGy, while other doses reduced by 2-3 log cycles. However, after 21 days the contamination by yeasts and molds increased in all treatments, reaching the order of 10^6 for the dose 6.0 kGy

Keywords: Physico-chemical. Contamination. Respiration rate. Proximate composition.

5.1 Introdução

As pimentas do gênero *Capsicum* são algumas das mais antigas plantas cultivadas e seus frutos são usados na dieta humana há mais de 6.000 anos (PERRY et al., 2007). Além do consumo in natura abastecem a agroindústria, podendo ser processadas e utilizadas em vários tipos de produtos. Pertencem à família das *Solanaceae* juntamente com outras plantas, tais como tomate, berinjela, batata, ou tabaco. Atualmente, o gênero inclui pelo menos 37 táxons (espécies e suas variedades), sendo 5 deles domesticados: *Capsicum annuum, C. frutescens, C. chinense, C. baccatum,* e *C. pubescens* (BOSLAND; VOTAVA, 2012).

A pimenta Dedo-de-moça *C. baccatum var. pendulum* apresenta grande popularidade e relevância econômica em função de sua coloração, sabor e pungência situada entre 46.000 Unidades de Calor Scoville - SHU (ZHANG; HAMAUZU, 2003; RIBEIRO et al., 2008; CARVALHO et al., 2009) e 90.000 SHU (CARVALHO et al., 2009). É uma das variedades mais consumidas no Brasil, em especial nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Goiás (KAPPEL, 2007).

Durante a cadeia de comercialização da pimenta as perdas são cumulativas e resultam da incidência de fatores de deterioração tais como, perda de qualidade pela redução do valor nutricional; perda física por danos mecânicos; perda de água pela transpiração; perda por exposição a extremos de temperatura; redução da energia armazenada por meio do processo respiratório e perdas provocadas por fungos, bactérias e ou insetos (FINGER; CASALI, 2006). Uma alternativa viável para minimizar estas perdas é o processamento na forma de polpa de pimenta. No entanto, é necessário garantir que as polpas de alimentos sejam disponibilizadas ao consumidor de acordo com os padrões de qualidade exigidos pela legislação. Tradicionalmente, as polpas são conservadas por meio da cadeia do frio, o que dificulta sua comercialização e representa alto custo tanto para os processadores quanto para os comerciantes.

A técnica de irradiação é reconhecida, internacionalmente, como um método eficaz para a manutenção da qualidade de alimentos por longos períodos (JALILI; JINAP; NORANIZA, 2010; IQBAL et al., 2013). O princípio básico da aplicação da radiação ionizante na preservação de alimentos processados sustenta-se, principalmente, nos danos causados no ácido desoxirribonucléico - DNA de modo que células vivas se tornam inativas. Assim, microorganismos, insetos, gametas e meristemas de plantas são impedidos de se reproduzir (FARKAS, 2006). Dentre os efeitos da irradiação nos alimentos, temos: retardo da

maturação de frutos climatéricos, inibição de brotamento em bulbos e tubérculos, redução da contaminação parasitológica e microbiológica e prevenção de doenças transmitidas por alimentos que são ocasionadas por microrganismos como *Escherichia coli, Salmonella, Campylobacter, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus, Vibrio vulnificus, Vibrio parahaemolyticus* e *Lactobacillus* (STEFANOVA; VASILEV; SPASSOV, 2010).

A susceptibilidade à irradiação varia de acordo com o microrganismo. Quanto mais simples um organismo, maior resistência ele apresenta aos efeitos da radiação ionizante. Desta forma, os vírus são mais resistentes do que as bactérias que, por sua vez, toleram doses mais altas que os parasitas (TAUXE, 2001). Em fungos filamentosos e leveduras a resistência a irradiação é comparada a de algumas bactérias formadoras de esporos. As doses letais para fungos filamentosos encontram-se entre 2,5 e 6 kGy, enquanto que para leveduras entre 4,65 e 20 kGy (URBAIN, 1986). As bactérias Gram-negativas são geralmente mais sensíveis que as Gram-positivas, e pesquisadores concordam que, dentre os patógenos Gram-negativos, a *Salmonella* é a mais resistente. Qualquer processo de irradiação capaz de destruir esta bactéria também eliminaria outras Gram-negativas (JAY, 2005; WORCMAN-BARNINKA; LANDGRAF, 2006).

Estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito da radiação ionizante sobre microrganismos contaminantes de alimentos. Tauxe (2001), afirmou que a dose de 2,80 kGy reduziu em 5 ciclos logarítmicos a população de *Salmonella*, enquanto que para as bactérias *Campylobacter, E. coli* O157 e *Listeria*, nas mesmas condições, foram necessárias doses de 1,00; 1,50 e 2,25 kGy, respectivamente. Em *Capsicum annum L.* a dose de 10 kGy resultou em reduções de até 5 logs na contagem de microrganismos mesófilos e até 2 logs na contagem de fungos filamentosos e leveduras, com efeitos mínimos nas propriedades físico-químicas (RICO et al., 2010).

Ainda que a pimenta apresente grande valor nutricional, importância econômica e inegáveis benefícios a saúde, estudos sobre o emprego da irradiação para conservação do fruto in natura e processada são escassos. As poucas pesquisas foram desenvolvidas, principalmente, em frutos de *Capsicum* desidratados. Especificamente, em polpa de pimenta *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, o uso da técnica de irradiação para a preservação da qualidade e o aumento da vida útil ainda não foram investigados.

Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da radiação gama do ^{60}Co sobre a conservação e qualidade física, química e microbiológica da polpa de pimenta Dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) durante a estocagem a 25 °C.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Matéria-prima e obtenção da polpa

Pimentas Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* foram coletadas maduras (totalmente vermelhas) e com pedúnculo, no município de Piedade, Piracicaba-SP. Cerca de 12 Kg do fruto foram transportados em caixas plásticas de polietileno para a planta piloto do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP), Piracicaba-SP.

As pimentas foram divididas em três lotes e processadas separadamente. Inicialmente, foi realizada a pesagem e a seleção, considerando o grau de maturação, a ausência de lesões e de danos mecânicos.

Os procedimentos para o processamento da polpa foram feitos de acordo com as Boas Práticas de Fabricação. Após lavagem em água potável e retirada do pedúnculo, as pimentas foram sanitizadas em solução clorada de 150 mg L^{-1} por 15 minutos.

A polpa foi obtida pela trituração das pimentas em liquidificador e adição de 5% de NaCl. Cuidados foram tomados para que nenhum fragmento das partes não comestíveis dos frutos e ou substâncias estranhas fossem misturados à polpa. Cinquenta gramas da polpa de pimenta foram embaladas em sacos de polietileno transparentes (10 cm x 15 cm x 20 μ).

5.2.2 Irradiação e estocagem

A polpa de pimenta foi transportada em caixas de isopor com gelo para o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN em SP, onde foi irradiada dentro das caixas. O irradiador utilizado foi um Multipropósito com raios gama que utiliza fonte de ^{60}Co. As doses de radiação nominais foram de: 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy e as doses medidas de: 1,5; 3,2; 4,3; 6,1 kGy, com taxa de dose de 5,97 kGy h^{-1}. Utilizou-se os dosímetros Gammachrome YR (1,5 kGy) e Amber Perspex 3042 (3,0; 4,5 e 6,0 kGy) para monitoramento das doses. Amostras controle, sem irradiação, também foram levadas ao IPEN a fim de garantir as mesmas condições analíticas.

Após a irradiação, a polpa foi armazenada a 25 °C em estufa climatizada durante 21 dias.

5.2.3 Composição Centesimal

As determinações de composição centesimal foram realizadas com a finalidade de caracterizar a polpa de pimenta. Considerando que os macronutrientes permanecem relativamente estáveis quando expostos a irradiação, não foram realizadas avaliações da composição centesimal por dose.

Porções equivalentes das amostras da polpa, das quatro doses empregadas foram homogeneizadas e avaliadas em triplicata, em delineamento inteiramente aleatorizado - DIA.

Umidade: método gravimétrico, em estufa a 105 °C, até peso constante (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS- AOAC, 2005);

Cinzas: método gravimétrico, por aquecimento a 550 °C em mufla (AOAC, 2005);

Proteínas: método de Micro-Kjeldahl, por meio de digestão com H_2SO_4, destilação com NaOH 50% e titulação com H_2SO_4 0,02 N. Foi utilizado o fator de conversão para proteína bruta de 6,25 (AOAC, 2005);

Extrato etéreo: extração com éter de petróleo, por 4 horas, em aparelho do tipo Soxhlet (AOAC, 2005);

Fibras: por digestão enzimática e separação em fibra solúvel e insolúvel (ASP et al., 1983);

Carboidrato total e disponível: determinados por diferença entre 100 e a soma dos teores de umidade, cinzas, extrato etéreo e proteínas para carboidrato total. Para quantificação de carboidrato disponível também foi somado o teor de fibra total.

5.2.4 Análises Microbiológicas

Para avaliar a influência das doses de radiação na contaminação microbiológica da polpa de pimenta, o delineamento experimental adotado foi o inteiramente aleatorizado, em esquema fatorial 5x2, correspondendo a: doses de irradiação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy e controle não irradiado) e tempos de armazenamento (1 e 21 dias após a irradiação), com 3 repetições.

Coliformes a 45 °C: Utilizou-se 25 mL da amostra diluídas em água peptonada a 0,1%. As amostras foram homogeneizadas e em seguida foram realizadas diluições seriadas. Foi realizado teste presuntivo, em tubos contendo Lauril Sulfato-Triptose (LST), em triplicata, incubados a 35 ± 0,5 °C por 24-48h. A pesquisa de coliformes termotolerantes foi feita em caldo *E. coli* (EC), com incubação a 45,5 °C por 24h de acordo com os

procedimentos propostos pelo *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (KORNACKI; JOHNSON, 2001).

Fungos filamentosos e leveduras: Foram selecionadas três diluições obtidas a partir dos 25 mL da amostra diluídas em água peptonada a 0,1%. Uma alíquota de 0,1 mL de cada diluição foi inoculada por plaqueamento em superfície, em ágar dicloram rosa de Bengala clorafenicol, incubadas a 22-25 °C por 5 dias (BEUCHAT; COUSIN, 2001).

Salmonella spp.*:* a pesquisa foi realizada em 25 mL da polpa diluída em 225 mL de caldo lactosado, com incubação a 35 °C por 24h, seguidos do isolamento e da identificação, conforme método 2011.03 da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012).

5.2.5 Avaliações Físico-químicas

Os tratamentos consistiram de fatorial 5x4, correspondendo a: doses de radiação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy e controle não irradiado) e tempos de armazenamento (1, 7, 14 e 21 dias após a irradiação, com exceção da análise de umidade que foi realizada apenas nos tempos 1 e 21 dias), com 3 repetições, em DIA.

Sólidos Solúveis - SS: realizada por leitura em refratômetro digital, pingando-se três gotas do filtrado da polpa. Os resultados foram expressos em ºBrix (AOAC, 2005).

pH: Aferido em potenciômetro com resultados expressos em unidade de pH (AOAC, 2005).

Acidez Titulável – AT: determinada por titulação potenciométrica. Os resultados foram expressos em mg 100 mg^{-1} de ácido cítrico (AOAC, 2005).

Ratio: obtida pela relação direta dos valores de sólidos solúveis e acidez titulável.

*Umidade:*verificada em estufa com circulação forçada de ar a 105 ºC até peso constante (AOAC, 2005).

5.2.6 Taxa respiratória e produção de etileno

As aferições das concentrações de gás carbônico (CO_2) e de etileno (C_2H_4) foram realizadas em esquema fatorial 5x4, correspondendo a: doses de irradiação (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kGy e controle não irradiado) e tempos de armazenamento (após 12, 24, 48 e 72 horas da irradiação), com 4 repetições, em DIA.

Foi realizada avaliação da concentração de CO_2 e de C_2H_4 do fruto in natura com objetivo de compará-lo com a polpa de pimenta. Esta aferição foi feita logo após o processamento e antes da polpa ter sido irradiada.

Cinquenta gramas da polpa foram colocadas em frascos de vidro com capacidade para 100 g, que permaneceram hermeticamente fechados por 30min antes de cada coleta. Amostras de 1 mL de gás foram retiradas do interior dos frascos, com uma seringa de vidro de 2,5 mL, através de um septo de silicone. O gás foi injetado em cromatógrafo a gás (ThermoElectron Trace GC 2000), equipado com 2 detectores de ionização de chama (FID), 2 injetores, 2 colunas Porapak N e um metanador. O forno estava a 120ºC, o detector a 250ºC, o injetor a 120ºC e o metanador a 350ºC. Uma das colunas, usada para detecção de CO_2, possuia 4 m de comprimento e hidrogênio como gás de arraste a um fluxo de 39,1 mL min^{-1}. A outra, usada para C_2H_4, possuía 1,8 m e o nitrogênio como gás de arraste a um fluxo de 33,3 mL min^{-1}. O aparelho foi calibrado com padrões de CO_2 e de C_2H_4.

O cálculo da atividade respiratória e da produção de C_2H_4 levou em consideração o volume do jarro, a massa da polpa de pimenta e o tempo que os jarros permaneceram fechados. Os resultados foram expressos em mL CO_2 Kg h^{-1} e μL C_2H_4 Kg h^{-1}.

5.2.7 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade e quando não seguiram distribuição normal foram transformados pelo método de transformação Box-Cox do *General Linear Model* do SAS/STAT® 9.3. Após as transformações os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se como nível de significância, $\alpha = 0,05$ (SAS *Institute*, 2011).

5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Composição Centesimal

Os percentuais de umidade, extrato etéreo, cinzas e carboidratos totais (Tabela 1) estão próximos aos evidenciadas por Oliveira (2011) em pimenta Dedo-de-moça in natura. O autor encontrou os seguintes teores de umidade (82%), extrato etéreo (1%), cinzas (3%) e carboidratos totais (11%). Apenas o teor de proteína (2,5%) foi bem superior aos encontrados neste estudo. Lutz e Freitas (2008) registraram valores de 80,5% de umidade, 9% de fibras,

2% de proteínas, 1,6% de extrato etéreo, 5,7% carboidratos e 1% de cinzas também em pimenta Dedo-de-moça. De acordo com Hou e Chang (1998), a composição centesimal pode variar com o cultivar, com as condições de cultivo e com o tipo de processamento utilizado.

Tabela 1 - Composição centesimal de polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada.

Constituintes	**g 100 g^{-1}**
Umidade	80,07 ± 0,056
Extrato etéreo	0,84 ± 0,040
Proteína	0,08 ± 0,017
Cinzas	5,72 ± 0,078
Fibra total	9,78 ± 0,020
Fibra insolúvel	8,36 ± 0,145
Fibra solúvel	1,42 ± 0,165
Carboidratos totais	13,29 ± 0,121
Carboidratos disponíveis	3,50 ± 0,107

*médias de três repetições ± desvio padrão. Resultados expressos no peso fresco.

5.3.2 Avaliação microbiológica

Não foram detectadas contaminações por coliformes a 45 °C e *Salmonella* spp. nas amostras de polpa irradiadas e não irradiadas após o tratamento e durante a estocagem a 25 °C (Tabela 2). Rico et al. (2010) não detectaram coliformes a 45 °C em pimentões irradiados com 10 kGy e Ramamurthy et al. (2004) encontraram ausência de *Salmonella* em espécies de *capsicum* irradiadas com doses de radiação gama até 3 kGy. Durante a estocagem das amostras, nestes dois estudos, também não houve crescimento destes microrganismos.

A contagem inicial de fungos filamentosos e leveduras (>5,6 x10^4 Unidades Formadoras de Colônias por grama de polpa - UFC g^{-1}) foi reduzida com o aumento da dose de radiação. A dose de 6,0 kGy provocou redução da contagem de fungos filamentosos e leveduras para o nível não detectável, enquanto nas demais doses a redução foi de 2 a 3 ciclos logarítmicos (Tabela 2). A dose de radiação de 10 kGy, em pimentões (*C. annum* L) provocou redução de 5 logs na contaminação por fungos filamentosos e leveduras e por microrganismos mesófilos aeróbios (RICO et al., 2010). Em pimenta vermelha minimamente processada, a população inicial de fungos (10^4 UFC g^{-1}) foi reduzida em 3 logs e a de bactérias do grupo de coliformes, *Listeria* e *Yersinia* foram eliminadas na dose de 2 kGy (RAMAMURTHY et al., 2004).

Tabela 2 - Contaminação microbiológica de polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada, estocada a 25 °C.

Tratamentos	Fungos filamentosos e Leveduras	Coliformes a 45 °C	*Salmonella* spp.
	---------- UFC g^{-1} ----------		em 25g
	Contagem Inicial		
Controle	>5,6 x10^4	< 10	-**
1,5 kGy	1,2 x 10^2	< 10	-
3,0 kGy	10	< 10	-
4,5 kGy	10	< 10	-
6,0 kGy	< 10*	< 10	-
	Após 21 dias de estocagem		
Controle	3,4 x 10^6	< 10	-
1,5 kGy	1,1 x 10^7	< 10	-
3,0 kGy	8,1 x 10^5	< 10	-
4,5 kGy	8,1 x 10^5	< 10	-
6,0 kGy	4,6 x 10^6	< 10	-

* valor estimado; ** (-) = Ausência.

Os íons reativos produzidos durante a irradiação danificam e destroem os microrganismos imediatamente, alteram a estrutura da membrana celular e afetam a atividade de enzimas metabólicas. Entretanto, o efeito mais importante é sobre o DNA. Estes efeitos se tornam aparentes após um período de tempo, quando a dupla hélice do DNA não consegue desenrolar-se e o microrganismo não consegue reproduzir-se por meio da divisão celular (FELLOWS, 2006).

Apesar de, as doses de radiação gama empregadas terem sido responsáveis pela redução da contaminação inicial da polpa, a contagem de fungos filamentosos e leveduras, aos 21 dias, aumentou nas amostras não irradiadas e naquelas irradiadas (Tabela 2). Na dose de 6 kGy, na qual não foi detectada inicialmente contagem de fungos filamentosos e leveduras alcançou à ordem de 10^6. Este fato pode ter ocorrido pela presença de esporos resistentes a irradiação que esporularam, e se multiplicaram na polpa ou mesmo pela sobrevivência de células vegetativas que não foram detectadas em razão da sensibilidade do método de análise. De acordo com Farkas (2006), esporos são mais resistentes do que células vegetativas à irradiação. Saleh, Mayo e Ahearn (1988) descreveram que a sensibilidade de vários fungos à irradiação é da mesma grandeza que a das células vegetativas de bactérias, no entanto, fungos com hifas septadas podem ter uma resistência à radiação comparável ao dos esporos bacterianos. As leveduras são tão ou mais resistentes do que as bactérias.

Em pimentas e em coentro, as contagens iniciais de fungos filamentosos e leveduras também aumentaram após o período de estocagem. Nas pimentas a contaminação aumentou

de 2 a 4 logs até 28 dias e no coentro em 3 logs até 15 dias (RAMAMURTHY et al., 2004; KAMAT et al., 2003).

Na legislação brasileira, não existe uma norma específica que estabeleça padrões microbiológicos para polpa de pimenta. A instrução normativa n° 01 de janeiro de 2000, fixa padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas. Esta norma recomenda que para polpa congelada ou não, a soma de fungos filamentosos e leveduras seja no máximo $5x10^3$ UFC g^{-1}, enquanto para polpa conservada quimicamente e/ou que sofreu tratamento térmico seja de $2x10^3$ UFC g^{-1}. A contaminação por coliforme a 45 °C pode chegar ao máximo de 1 UFC g^{-1} e por *Salmonella* spp. ausência em 25 g de polpa (BRASIL, 2000). Observou-se, neste estudo que a contaminação inicial da polpa de pimenta irradiada estava dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente para polpa de frutas, no entanto, aos 21 dias alcançou níveis acima do permitido para fungos filamentosos e leveduras, em todas as doses de radiação.

5.3.3 Avaliação físico-química

As amostras controle deterioraram-se após 8 dias da aplicação da radiação gama. Observou-se a presença de fungos no interior da embalagem plástica, odor desagradável e produção de gás. As amostras irradiadas com doses de 1,5 e 3,0 kGy apresentaram o mesmo comportamento aos 12 dias. Diante disso, esses tratamentos foram descartados e, consequentemente, as avaliações físico-químicas nos tempos de estocagem 14 e 21 dias não foram realizadas.

A instrução normativa 01 de janeiro de 2000 que trata da fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta, propõe recomendações para características e composição em polpa de diversas frutas, entretanto não existe legislação específica para polpa de pimentas, o que dificulta a análise mais profunda quanto à adequação da qualidade da polpa de pimenta (BRASIL, 2000).

A seguir são apresentados os resultados das avaliações físico-química da polpa.

Umidade

A umidade da polpa de pimenta não foi influenciada pela irradiação (Tabela 3) e pela estocagem por 21 dias a 25 °C (Figura 2). Souza, Arthur e Nogueira (2012) não encontraram diferença no percentual de umidade entre amostras de pimenta rosa não irradiadas e submetidas a doses até 1,6 kGy. Milagres et al. (2012) demonstraram que a irradiação e a

estocagem não afetaram a umidade de pimenta Dedo-de-moça in natura irradiada com doses até 1,5 kGy.

Tabela 3. Umidade, sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT) e Ratio de polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada, estocada a 25 °C.

Dose (kGy)	***Umidade***	***pH***	***Sólidos Solúveis***	***Acidez Titulável***	***Ratio***
	g 100 g^{-1}		°Brix	%	
Controle	79,4 ± 1,06a	4,56 ± 0,103a	14,7 ± 0,51a	0,38 ± 0,063a	39,4 ± 6,70a
1,5	80,0 ± 3,50a	4,58 ± 0,075a	15,0 ± 0,44a	0,39 ± 0,059a	39,7 ± 5,80a
3,0	79,9 ± 0,15a	4,56 ± 0,082a	15,3 ± 0,58a	0,37 ± 0,048a	42,1 ± 5,34a
4,5	79,2 ± 0,63a	4,49 ± 0,120ab	15,0 ± 0,97a	0,40 ± 0,068a	38,5 ± 8,02a
6,0	78,3 ± 1,07a	4,47 ± 0,130b	15,4 ± 0,59a	0,39 ± 0,051a	40,0 ± 5,49a

**médias de três repetições ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p<0,05$). Resultados foram expressos no peso fresco.

pH

A dose de radiação de 6 kGy e a estocagem da polpa a 25 °C contribuíram para redução do pH da polpa (Tabela 3 e Figura 2). É provável que esta queda no pH esteja associada à produção de ácidos orgânicos provenientes da ação de microrganismos ou do tratamento com radiação gama (RICO et al., 2010) ou a combinação de ambos. O aumento da contagem de fungos filamentosos e leveduras durante o período de estocagem pode confirmar a ação destes microrganismos sobre o pH da polpa (Tabela 2) .

Os registros da literatura acerca do efeito da irradiação associada à estocagem sobre o pH dos frutos tem revelado resultados conflitantes. Rico et al. (2010) pesquisaram a influência da dose de radiação de 10 kGy em pimentão desidratado (*C. annum* L.). O tempo de estocagem provocou redução do pH das amostras, entretanto não houve influência da irradiação. Santos et al. (2010) não verificaram alteração no pH de mangas irradiadas após 15 dias de armazenamento. Enquanto, Shahbaz et al. (2014) demonstraram que a dose de 2 kGy provocou aumento no valor do pH de romã.

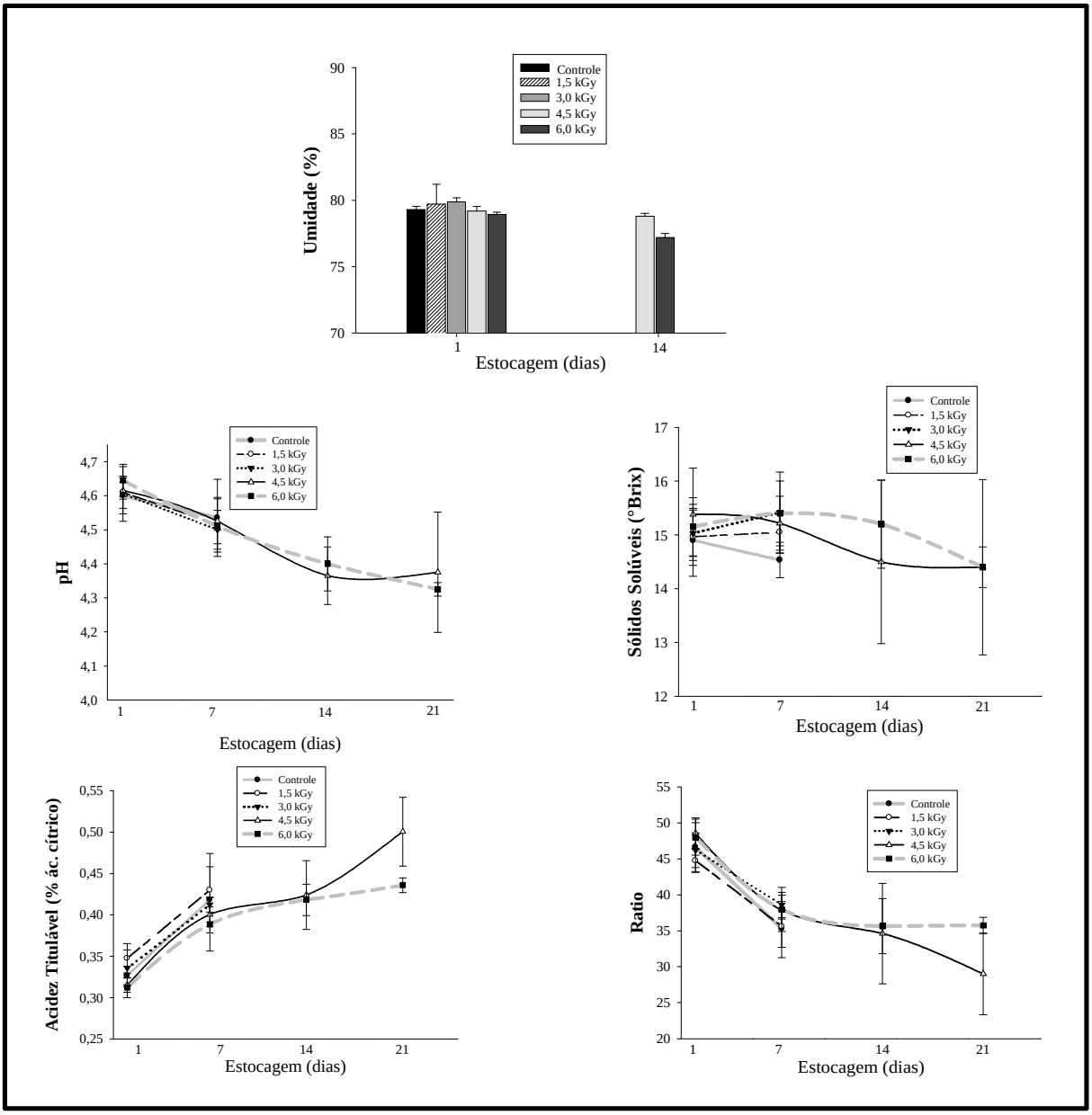

Figura 2 - Evolução dos parâmetros físico-químicos de polpa de pimenta Dedo-de-moça irradiada e não irradiada durante a estocagem a 25 °C. As amostras controle, 1,5 e 3,0 kGy foram avaliadas no 1° e 7° dia, enquanto as amostras irradiadas com as doses 4,5 e 6,0 kGy foram avaliadas no 1°, 7°, 14° e 21° dia.

Acidez Titulável

A acidez titulável - AT corresponde à soma dos ácidos orgânicos livres e complexados de frutas e hortaliças. Estes ácidos podem ser encontrados na forma natural ou acumulados, em conseqüência do processo de fermentação ou serem adicionados durante o processamento. Influenciam o sabor, o odor, a cor, a estabilidade e a manutenção de qualidade e são úteis na indicação de deterioração por bactérias com produção de ácido e na avaliação da estabilidade do alimento. Produtos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quanto à deterioração. (WILEY, 1997).

Na polpa de pimenta, a AT não foi afetada pelas doses de irradiação aplicadas (Tabela 3). No entanto, tornou-se mais ácida ao longo do tempo de estocagem, com valores variando de 0,33% a 0,46% de ácido cítrico ($p<0,05$), como pode ser verificado na Figura 2. Essa variação da AT pode estar associada a contaminação por fungos filamentosos e leveduras, que aumentou exponencialmente durante a estocagem (Tabela 2). De acordo com Damiani et al. (2013) os fungos podem consumir os açúcares solúveis por meio da via glicolítica e em consequencia produzir ácidos orgânicos. Youssef et al. (2002) afirmaram que o aumento da acidez durante a estocagem de polpa de manga irradiada com doses entre 0,5 e 2,0 kGy, pode ter ocorrido devido a inativação da enzima de clivagem do ácido cítrico ou do aumento da microbiota durante a estocagem.

Sólidos Solúveis

Os SS representam os açúcares encontrados nos vegetais embora alguns ácidos, vitaminas, aminoácidos e pectinas estejam presentes. São utilizados como um índice dos açúcares totais e de maturidade dos frutos (BLEINROTH, 1991).

A irradiação e a estocagem não influenciaram o teor de sólidos solúveis – SS da polpa (Tabela 3 e Figura 2). A atividade respiratória da polpa praticamente cessou após quatro dias de irradiação (Figura 3), o que pode justificar a estabilidade quanto ao teor de SS. Estudos realizados por Santos et al. (2010) em mangas submetidas a irradiação com doses até 0,45 kGy, por Lima et al. (2001, 2003) em cenouras irradiadas com doses até 1 kGy e por Shahbaz et al. (2014) em romãs irradiados com doses entre 0,4 e 2,0 kGy também demonstraram que os SS não foram alterados pela irradiação.

Ratio

A irradiação não afetou a relação SS/AT (Tabela 3), entretanto o tempo de estocagem contribuiu para sua redução (Figura 2). Esta queda ocorreu devido ao aumento na concentração de ácidos orgânicos durante a estocagem. A ratio é um importante parâmetro do ponto de vista tecnológico, pois está diretamente relacionada à qualidade do alimento quanto ao atributo sabor. É mais representativa que a medição isolada de açucares ou da acidez, indicando o grau de equilíbrio entre eles. Uma redução da ratio pode significar prejuízo de sabor do alimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005),.

Neves, Manzione e Vieites (2002), também não registraram interferência da radiação gama no teor de SS, AT e ratio. Nos estudos de Santos (2008) em pequi, a irradiação não influenciou a Ratio. De acordo com Bande (1990) frutos e hortaliças quando irradiados não

apresentam nenhuma toxidez e praticamente mantêm a mesma qualidade do que os tratados por outras técnicas de conservação.

5.3.4 Taxa respiratória e produção de etileno

A respiração é um processo bioquímico no qual ocorre a degradação oxidativa de produtos mais complexos presentes na célula, tais como amido, açúcares e ácidos orgânicos, em moléculas mais simples como CO_2 e água. Neste processo ocorre liberação de energia na forma de ATP e NadH + H^+ na glicólise e no ciclo de Krebs ou de NadPH + H^+ e açucares de 4 e 5 carbonos na rota das pentoses. Os frutos após a colheita respiram continuamente, utilizando as reservas armazenadas, consumindo oxigênio e desprendendo gás carbônico. A deterioração mais rápida dos frutos é resultado de uma taxa respiratória maior (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007).

As avaliações realizadas imediatamente após o processamento da pimenta e antes da irradiação demonstraram que, em função da destruição do aparato celular, a polpa apresentou reduzida taxa respiratória (0,03 mL CO_2 Kg h^{-1}) e produção de etileno (0,004 µLC_2H_4 Kg h^{-1}). O fruto fresco sem nenhum processamento, apresentou valores médios de 755 mL CO_2 Kg h^{-1} e de 0,633 µL C_2H_4 Kg h^{-1}.

Na figura 3 observa-se a variação da concentração de CO_2 e de C_4H_4 da polpa de pimenta durante a estocagem. A maior concentração de CO_2 foi verificada em pimentas não irradiadas, com valores variando de 4,85 a 421,3 mL CO_2 Kg h^{-1} (Figura 3), o que pode estar associado à alta contaminação inicial por fungos filamentosos e leveduras evidenciado nas análises microbiológicas (Tabela 2). Nas amostras irradiadas, as concentrações de CO_2 variaram de 0,2 a 9,8 mL CO_2 Kg h^{-1}, com significativo aumento após 12h da irradiação. O aumento da taxa respiratória de frutos pode ocorrer como resposta fisiológica do fruto para fornecer energia para a restauração das lesões acarretadas pela irradiação (THOMAS, 1986). Em cebola tratada com ^{60}Co, a dose de 0,3 kGy quase duplicou a concentração de CO_2 (BENKEBLIA et al., 2000).

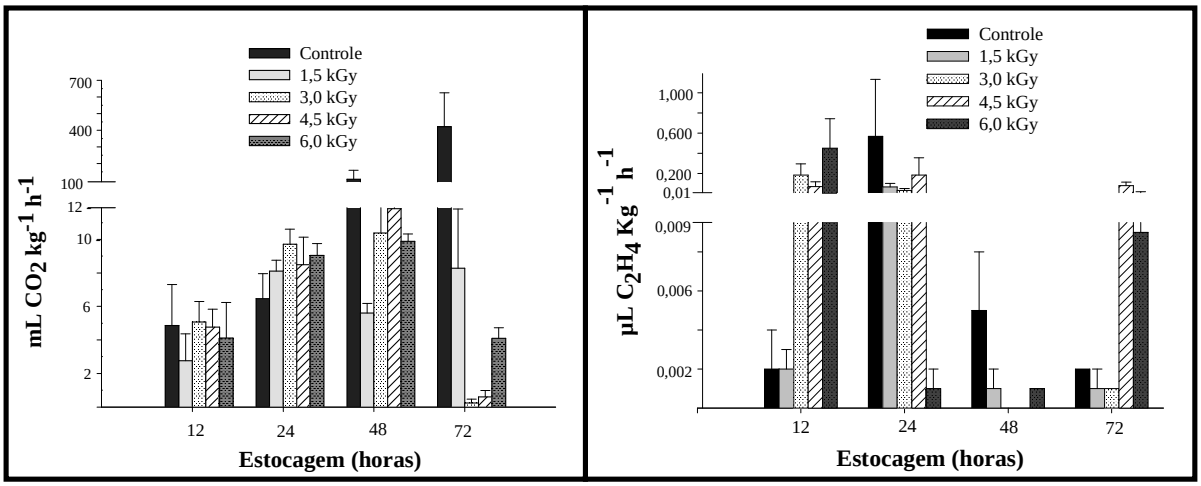

Figura 3 – Taxa respiratória e produção de etileno da polpa de pimenta irradiada e não irradiada durante a estocagem a 25 °C (valores reais).

A radiação gama em todas as doses contribuiu para a redução da concentração de CO_2 da polpa, entretanto não provocou alteração na produção de etileno. Houve aumento da concentração de CO_2 e de C_2H_4 até 48h de estocagem, voltando a reduzir às 72h (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de CO_2 e de C_2H_4 de polpa de pimenta Dedo-de-moça submetida à radiação gama e a estocagem a 25 °C (valores transformados pelo método de transformação Box-Cox).

Dose (kGy)	***CO_2***	***C_2H_4***
	mL CO_2 Kg h^{-1*}	µL C_2H_4 Kg h^{-1*}
Controle	1,29 ± 1,01a	445,12 ± 142,81a
1,5	0,66 ± 0,49b	469,99 ± 123,00a
3,0	0,61 ± 0,54b	399,88 ± 173,95a
4,5	0,66 ± 0,48b	334,23 ± 212,23a
6,0	0,77 ± 0,35b	400,95 ± 197,93a
Estocagem (horas)		
12	0,52 ± 0,46b	319,25 ± 221,51b
24	0,94 ± 0,12a	375,60 ± 195,82b
48	1,03 ± 0,48a	502,56 ± 21,62a
72	0,56 ± 0,95b	433,70 ± 148,04ab

*Médias de três repetições ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p<0,05$).

Os estudos que pesquisaram o efeito da irradiação na taxa respiratória de frutas e hortaliças demonstraram resultados incongruentes. Em cebolas, após a elevação inicial provocada pela irradiação, os mecanismos de reparação resultaram em declínio da taxa respiratória. Os autores afirmaram que este período correspondeu à ruptura do processo de dormência que em algumas cebolas irradiadas, ocorreu com falhas, possivelmente, devido a

danos genéticos em células meristemáticas causados pela irradiação (BENKEBLIA et al., 2000). Doses até 2 kGy não afetaram a taxa respiratória e a produção de etileno de framboesa. No entanto, após 3 dias houve redução de 90% da taxa respiratória que se manteve constante até o final da estocagem. A produção de etileno diminuiu 88%, mas a partir do 7° dia aumentou atingindo valores similares aos do dia da irradiação (TEZOTTO-ULIANA et al., 2013).

Neste estudo, o aumento do CO_2 e do C_2H_4 durante a estocagem está associado, provavelmente, ao tratamento de irradiação ou a contaminação microbiológica, ou ambos. Microrganismos fermentadores produzem ácidos orgânicos com geração de CO_2. Durante a fermentação, carboidratos e álcoois sofrem desassimilação anaeróbia, podendo ocorrer produção de compostos orgânicos ácidos que podem ser acompanhados por gases, como hidrogênio ou CO_2. Microrganismos intestinais, por exemplo, fermentam a glicose com produção de ácidos orgânicos e de CO_2. Leveduras, coliformes e culturas lácticas, chamadas heterofermentativas também produzem CO_2 (BACH, 2012).

5.4 Conclusões

As doses de radiação gama de 4,5 e 6,0 kGy foram efetivas para reduzir a contaminação microbiana inicial da polpa de pimenta Dedo-de-moça sem afetar a umidade, o teor de SS e a concentração de etileno .

O pH, a AT, a ratio e a taxa respiratória foram alterados pela irradiação após 21 dias de estocagem a 25 °C, a contaminação por fungos filamentosos e leveduras aumentou em todos os tratamentos. Sugere-se, portanto, que mais estudos sejam realizados associando a irradiação a outras técnicas de conservação a fim de manter a polpa de pimenta com contagens aceitáveis de microrganismos por longos períodos, sem comprometer sua qualidade.

5.5 Referências

ASP, N.G. et al. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 31, n. 3, p. 476-482, 1983.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Offcial methods of analysis:** Microbiological methods. 2011.03 *Salmonella* in a Veriety of Foods. 19. ed. Washington: AOAC, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18. ed. Washington: AOAC, 2005.

BACH, F. **Avaliação das condições de produção de fermentado acético de soro de leite.** 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

BANDE, A.L. Aplicaciones de la irradiación de los alimentos: diversos aspectos relacionados. **Alimentaria**, Madrid, v. 27, p. 23-28, 1990.

BENKEBLIA et al. Respiratory parameters of onion bulbs (*Allium cepa*) during storage: effects of ionizing radiation and temperature. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** London, v. 80, p. 1772-1778, 2000.

BEUCHAT L. R.; COUSIN M. A. **Microbiological Monitoring of the Food Processing Environment. Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 rd. [S.l.], Washington DC: APHA, 2001. cap. 20, p. 209-215.

BLEINROTH, E.W. Determinação do ponto de colheita, maturação e conservação das frutas. In: ITAL. **Industrialização de frutas**. Campinas: ITAL, 1991. p.1-15. **(**Manual Técnico, 8).

BOSLAND, P. W.; VOTAVA, E. J. Peppers. **Vegetable and spice *Capsicums.*** 2. ed. Wallingford: CABI, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução normativa Nº 01, de 7 de Janeiro de 2000**. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. Brasília, DF, 2000.

CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Respiração de frutas e hortaliças**. Disponível em: <http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2007/cot/cot_46.pdf>. Acesso: 11 jun. 2014.

CARVALHO, S. I. C. et al. 'BRS Mari': nova cultivar de pimenta "dedo-de-moça" para processamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 571-573, 2009.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças:** fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DAMIANI, C. et al. Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen araça pulp during storage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, Freising, v. 17, n. 4, p. 148-152, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos:** princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FINGER, F.L.; CASALI, V.W.D. Colheita e manejo pós-colheita da pimenta. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 235, p. 99-103, 2006.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Yield and quality of soft tofu as affected by soybean physical damage and storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, n. 12, p. 4798-4805, 1998.

IQBAL, S. Z. et al. Effect of γ irradiation on fungal load and aflatoxins reduction in red chillies. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 82, n.8, p. 80–84, 2013.

JALILI, M.; JINAP, S.; NORANIZAN, A. Effect of gamma radiation on reduction of mycotoxins in black pepper. **Food Control**, Guildford, v. 21, n. 10, p.1388–1393, 2010.

JAY, J.M**. Modern food microbiology**. 7. ed. New York: Springer, 2005.

KAMAT, A. et al. Potential application of low dose gamma irradiation to improve the microbiological safety of fresh coriander leaves. **Food Control**, Guildford, v. 14, p. 529–537, 2003.

KAPPEL, V. D. **Avaliação das propriedades antioxidantes e antimicrobiana de extratos de *Capsicum baccatum* L. var. *pendulum*.** 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas: Bioquímica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KORNACKI J. L.; JONSON J.L. **Microbiological Monitoring of the Food Processing Environment. Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 rd. [S.l.], Washington DC: APHA, 2001. cap. 8, p. 69-82.

LIMA, K.S.C. et al. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucos carota* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n. 2, p. 202-208, 2001.

LIMA, K.S.C. et al. Cenouras minimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 240-250, 2003.

LUTZ, D.L.; FREITAS, S.C. Valor nutricional. In: RIBEIRO, C.S.C. et al. (Ed.). **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. cap. 4, p. 31-38.

MILAGRES, R. C. R. M et al. Aplicação da radiação gama associada a diferentes temperaturas para conservação de pimenta (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) *in natura.* **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 2, p. 223-233, 2012.

NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES, R, L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina (*Prunus Persica* var. *Nucipersica*) frigoconservada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 676-679, 2002.

OLIVEIRA, A. M. C. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e atividade antifúngica de pimentas do gênero *Capsicum spp*.** 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

PERRY, L. et al. Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum spp*. L.) in the Americas. **Science**, Washington, v. 315, p. 986−988, 2007.

RAMAMURTHY, M. S. et al. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated *Capsicum* by gamma irradiation International. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, London, v. 55, n. 4, p. 291-299, 2004.

RIBEIRO, C. S. C. et al. **Pimentas *Capsicum*.** Brasília: Athalaia Editora, 2008.

RICO, C. W. et al. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum L*.). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 1012-1016, 2010.

SALEH, Y. G.; MAYO, M. S.; AHEARN, D. G. Resistance of some common fungi to gamma irradiation. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 54, p. 2134-2135, 1988.

SANTOS, A. M. G. et al. Podridão por *Fusicoccum* em mangas submetidas a baixas doses de radiação gama. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 45, p. 1066-1072, 2010.

SANTOS, M. R. L. **Efeitos da radiação gama do ^{60}Co em frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)**. 2008. 75 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2008.

SAS Institute. **SAS/STAT® User's guide: s**tatistics. Cary: SAS Institute, 2011.

SHAHBAZ, M. S. et al. Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment. **Food Chemistry**, Barking, n. 145, p. 312–318, 2014.

SOUZA, A.R.M; ARTHUR V.; NOGUEIRA, D.P. The effect of irradiation in the preservation of pink pepper (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 81, n. 8, p. 1082-1083, 2012.

STEFANOVA, R.; VASILEV, N. V.; SPASSOV, S. L. Irradiation of food, current legislation framework, and detection of irradiated foods. **Food Analytical Methods,** Heidelberg, v. 3, n. 3, p. 225-252, 2010.

TAUXE, R.V. Food safety and irradiation: protecting the public from foodborne infections. **Emerging Infectious Diseases**, Atlanta, v. 7, n. 3, Supplement, 2001.

TEZOTTO-ULIANA, J. V. at al. Gamma radiation: an efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 164, p.348–352, 2013.

THOMAS, P. Radiation presrvation of foods of plant origin. Part V. Temperate fruits: pome fruits, stone fruits, and berries. Boca Raton: CRC Press, 1986.

URBAIN, W. M. Biological effects of ionizing radiation. **Food irradiation.** Orlando: Academic Press, 1986. chap. 4, p. 83-117.

WILEY, R.C. **Frutas y hortalizas minimamente procesadas y refrigeradas**. Madrid: Acribia, 1997.

WORCMAN-BARNINKA, D.; LANDGRAF, M. Microbiologia de carne irradiada. In: SHIMOKOMAKI, M.; OLIVIO, R.; TERRA, N.N.; FRANCO, B.D.G.M. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes.** São Paulo: Varela, 2006. p. 147–154.

YOUSSEF, B. M. et al. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. **Food Research International**, Essex, v. 35, p. 1-13, 2002.

ZHANG, D.; HAMAUZU, Y. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. **Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 1, n. 2, p. 22-27, 2003.

Conclusões e Considerações finais

Nas pimentas Dedo-de-moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum* in natura, doses de radiação até 3 kGy não foram efetivas para estender a vida útil dos frutos estocados a 25 °C. Houve degradação da qualidade visual e de algumas características físico-química. A refrigeração, a 5 °C, das amostras irradiadas e não irradiadas foi mais eficiente, preservando as características visuais e físico-químicas por 15 dias.

Na polpa da pimenta Dedo-de-moça, a radiação gama com doses até 3 kGy associada ao ácido cítrico (5%) e a pasteurização em bancada (85 °C/15min) não foram promissoras para prolongar sua vida útil por períodos superiores a 9 dias, a 25 °C.

A caracterização da composição centesimal da polpa revelou teores semelhantes aqueles encontrados por outros autores para o fruto de Dedo-de-moça in natura.

A radiação gama com doses até 6 kGy e adição de NaCl (5%) contribuíram para redução do CO_2, mas não alteraram a concentração de etileno da polpa.

Doses de radiação de 4,5 e 6,0 kGy associadas ao NaCl (5%) foram eficazes para manter os compostos bioativos e as características físico-químicas da polpa por 21 dias, a 25 °C. Os atributos sensoriais de cor, aparência, sabor e pungência foram preservados e a polpa obteve boa aceitação pelos provadores. Houve redução da contaminação inicial por fungos filamentosos e leveduras.

Aos 21 dias de estocagem as polpas de pimenta irradiadas com doses até 6,0 kGy e não irradiadas atingiram alta contagem de fungos filamentosos e levedutras.

Diante disso, sugere-se que a radiação gama nas doses de 4,5 e 6,0 kGy seja associada a outros métodos de conservação, tais como embalagem com atmosfera modificada, tratamento a vácuo ou embalagem ativa a fim de inibir o crescimento de fungos. O uso de tecnologias de obstáculos associando a irradiação, a adição de ácido e ao NaCl também devem ser consideradas.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Ficha de Avaliação Sensorial

Nome: _____Sexo: _____ Idade: _____ Data: ____ /____ /____

Muito obrigada por participar de nossa pesquisa!

Você receberá **03** amostras de **Patê de Pimenta "Dedo-de-Moça"**, para avaliar a *pungência (ardência)* e o *sabor* e **03** amostras de **Polpa de Pimenta "Dedo-de-Moça"** para avaliar: *cor*, *aparência* e *aroma*.

Por favor, prove o Patê de Pimenta e responda as questões abaixo. ***Entre uma prova e outra beba um pouco de iogurte!***

1. Ordene as amostras de acordo com a intensidade de **Pungência (ardência).**

_____ _____ _____

(+) pungente **(-) pungente**

2. Indique o quanto você gostou **sabor** do produto, colocando no parêntesis o n° da amostra:

( ) ( ) ( ) gostei extremamente
( ) ( ) ( ) gostei muito
( ) ( ) ( ) gostei moderadamente
( ) ( ) ( ) gostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) não gostei nem desgostei
( ) ( ) ( ) desgostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) desgostei moderadamente
( ) ( ) ( ) desgostei muito
( ) ( ) ( ) desgostei extremamente

Por favor, dirija-se a MESA com as amostras de POLPA DE PIMENTA "Dedo-de-Moça".

3. Por favor, observe as amostras de polpa de pimenta. Ordene as amostras em ordem decrescente em relação a **cor:**

_____ _____ _____

(+) vermelha **(-) vermelha**

4. Indique o quanto você gostou da **cor** do produto, colocando no parêntesis o n° da amostra:

( ) ( ) ( ) gostei extremamente
( ) ( ) ( ) gostei muito
( ) ( ) ( ) gostei moderadamente
( ) ( ) ( ) gostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) não gostei nem desgostei
( ) ( ) ( ) desgostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) desgostei moderadamente
( ) ( ) ( ) desgostei muito
( ) ( ) ( ) desgostei extremamente

5. Indique o quanto você gostou da **aparência** do produto:

( ) ( ) ( ) gostei extremamente
( ) ( ) ( ) gostei muito
( ) ( ) ( ) gostei moderadamente
( ) ( ) ( ) gostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) não gostei nem desgostei
( ) ( ) ( ) desgostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) desgostei moderadamente
( ) ( ) ( ) desgostei muito
( ) ( ) ( ) desgostei extremamente

6. Indique o quanto você gostou do **aroma** do produto:

( ) ( ) ( ) gostei extremamente
( ) ( ) ( ) gostei muito
( ) ( ) ( ) gostei moderadamente
( ) ( ) ( ) gostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) não gostei nem desgostei
( ) ( ) ( ) desgostei ligeiramente
( ) ( ) ( ) desgostei moderadamente
( ) ( ) ( ) desgostei muito
( ) ( ) ( ) desgostei extremamente

7. Comentários: por favor, indique o que você mais gostou ou menos gostou no produto (use palavras ou frases):

Mais gostei:	Menos gostei:
( )_____	( )_____
( )_____	( )_____
( )_____	( )_____

8. Você costuma consumir pimenta?

( ) Sim, diariamente
( ) Sim, de vez em quando (com que freqüência? _____)
( ) Sim, raramente
( ) Nunca

9. Você é fumante?

( ) sim ( ) não

10. Você compraria a polpa de pimenta? Identifique o nº da amostra e marque um X na opção desejada.

nº da Amostra	**Sim**	**Talvez**	**Não**

APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Piracicaba, 07 de novembro de 2013.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Resolução n° 196 de 10 de outubro de 1996, segundo o Conselho Nacional de Saúde.

TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA: Efeito da radiação gama do ^{60}Co na conservação e qualidade de pimenta in natura e em polpa.

JUSTIFICATIVA: Pimentas do gênero *Capsicum* apresentam relevância econômica, social, nutricional e significativos efeitos à saúde. Apesar disso, fatores que afetam a conservação e qualidade da pimenta in natura e em polpa, ainda são pouco conhecidos. Pesquisas têm indicado o processo de irradiação como uma técnica economicamente viável, bem como fisicamente segura para uso em pimentas.

OBJETIVO: Avaliar os efeitos da radiação gama do ^{60}Co na qualidade e conservação da pimenta Dedo-de-Moça *(Capsicum baccatum var. pendulum)* e de sua polpa por meio de análises das características microbiológicas, nutricionais, funcionais, físico-químicas e sensoriais.

MATERIAL E MÉTODOS: Os frutos in natura recém-colhidos foram selecionados, pesados, processados na forma de polpa (pimenta e 5% sal) e envasados em sacolas plástica. As amostras foram irradiadas, utilizando-se fonte de ^{60}Co. Foi empregado um esquema fatorial 5x4 com análises das variáveis: irradiação (1,5; 3,0; 4,5; 6,0 kGy e controle não irradiado) e tempo de armazenamento (1, 7, 14 e 21 dias após irradiação). Antes do teste sensorial as amostras foram analisadas quanto às suas características microbiológicas (contagem de *Salmonella* spp., coliformes totais e coliformes termo tolerantes, fungos filamentosos e leveduras); características físico-químicas (teor de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e cor); composição centesimal (cinzas, umidade, proteínas, fibras e lipídios); compostos bioativos e nutricionais (carotenoides, capsaicinoides, atividade antioxidante e fenólicos).

POPULAÇÃO PARTICIPANTE DO ESTUDO: Adultos, não fumantes, estudantes e servidores do *campus* "Luiz de Queiroz", de ambos os sexos, que se declarem consumidores de pimenta e não apresentem relação de subordinação com nenhum dos membros envolvidos na pesquisa. Serão recrutados os provadores que não apresentem nenhuma reação ao consumo de pimenta e manifestem seu consentimento.

RISCO: A pimenta que será submetida à experimentação para análise de sabor, será preparada observando as boas práticas de manipulação para segurança dos provadores. Assim, os riscos previsíveis são inerentes ao tipo de pesquisa e em eventual dano ao voluntário este deverá consultar os responsáveis pela pesquisa.

BENEFÍCIOS: Não haverá benefício direto ao provador. A presente pesquisa tem o propósito de contribuir com os estudos sobre conservação de alimentos.

CARO COLABORADOR: O estudo proposto realizará análise sensorial de pimenta Dedo-de-Moça. Estas constituirão das análises de sabor, cor, aparência, aroma e preferência.

PRIVACIDADE: Os resultados obtidos neste trabalho serão tornados públicos em publicações e congressos, sejam eles favoráveis ou não, porém, sem identificação dos participantes.
Os pesquisadores garantem fornecer resposta a qualquer pergunta ou esclarecer qualquer dúvida que haja sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa e entregará uma cópia do TCLE a cada provador. Também será responsável por resolver qualquer problema que surgir durante a realização do teste sensorial.
A participação de vossa senhoria é voluntária, podendo retirar seu consentimento e deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem maiores conseqüências. O provador não arcará com nenhum ônus por participar da pesquisa.
Ciente do compromisso assumido na minha colaboração com esta pesquisa, e, pela importância da mesma, subscreve-me a seguir:

Nome (completo): _____

Assinatura: _____

Pesquisador: _____

Caso necessite de informações complementares sobre a presente pesquisa, entrar em contato com: Regina Célia Rodrigues Miranda Milagres (e-mail: rmilagres@cena.usp.br) ou Solange Guidolin Canniatti-Brazaca (e-mail: sgcbraza@usp.br), Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ – Universidade de São Paulo (USP). Avenida Pádua Dias, n° 11 CEP. 13416-380 ou pelo telefone (19) 3429-4118. CEP – Cometê de Ética em pesquisa da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Caixa Postal 9, Avenida Pádua Dias, 11 CEP 13418-900 Piracicaba SP (019) 3429-4313. coet@esalq.usp.br.

ANEXOS

ANEXO A - Parecer da Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa ESALQ/USP

ANEXO B - Parecer do Comitê de Ética da ESALQ/USP