



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA "ELISEU MACIEL"
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGROINDUSTRIAL

IRRADIAÇÃO GAMA NA QUALIDADE DE CARNE BOVINA MOÍDA
REFRIGERADA EMBALADA A VÁCUO

CRISTINA SIMÕES DA COSTA

Pelotas-RS, 2004

CRISTINA SIMÕES DA COSTA

**IRRADIAÇÃO GAMA NA QUALIDADE DE CARNE BOVINA MOÍDA
REFRIGERADA EMBALADA A VÁCUO**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGROINDUSTRIAL DA FACULDADE DE
AGRONOMIA "ELISEU MACIEL" DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PELOTAS, COMO REQUISITO PARCIAL À
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
CIÊNCIAS (M. S.).

Orientador: Prof. Dr. Germano Jorge Dornelles Soares

Co-Orientador: Prof. Dr. Wladimir Padilha da Silva

Pelotas-RS, 2004

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Germano Jorge Dornelles Soares (Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel"
- UFPel)

Prof. Dr. Wladimir Padilha da Silva (Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel"-UFPel)

Prof. Dr. Carlos Prentice-Hernández (Fundação Universidade Federal do Rio Grande
- FURG)

Prof^a. Dra. Anna Lucia C. H. Villavicencio (Instituto de Pesquisas Nucleares – IPEN)

*A Iná, Jacyr, Fábio e Andrea
dedico...*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Germano Jorge Dornelles Soares, pelo incentivo, confiança, ensinamentos e apoio, e acima de tudo, pela amizade durante a orientação deste trabalho.

Ao meu co-orientador Wladimir Padilha da Silva, pelo incentivo, confiança e amizade.

À CAPES, pelo financiamento da bolsa de estudo.

Às amigas Heloísa Correa da Silva Antunez e Silvana Carro Techera, fundamentais para a realização deste trabalho, pelo auxílio incondicional, dedicação, companheirismo e pelas inúmeras demonstrações de amizade no decorrer destes dois anos.

Ao amigo Cláudio Kuhn, por dar “cor” ao trabalho, pela amizade e companhia, torcida, exemplo e apoio.

À amiga Charli Lüdtke, pelo auxílio, pela amizade e companheirismo, pelas palavras de incentivo, exemplo e torcida.

À amiga Ana Cristina Krolow, pela acolhida e companheirismo.

Ao amigo Ricardo Toralles pelo incentivo e companheirismo.

Ao amigo Eliézer, pelo exemplo, incentivo, apoio, ajuda sempre presente e pelas inúmeras demonstrações de amizade.

A leda e a todo pessoal do Laboratório de despoluição, pela solicitude e carinho com que sempre me receberam.

Aos amigos Andressa Silveira, Vanessa Monks, Fábio Málaga, Luciano Bessa e Eduarda Hallal, companheiros no desenvolvimento deste estudo, pela companhia, dedicação e seriedade.

Aos amigos Fernando Zocche e Márcia Jantzen pela companhia, pelos momentos de descontração e pela ajuda de forma direta ou indireta.

Às amigas Andréia Saldanha, Márcia Araújo, Ana Von Laer, Vanessa, Élen Nalério, Nádia e demais amigos do MICROBIAL, pela companhia e apoio.

Aos amigos do BIOTECNAL: Márcio Zanuzo, Luciano Luchetta, Emerson, Jocemar Zanatta e Paulo, pela amizade, companhia e ajuda sempre presente.

À amiga Daniela, pela companhia, animação e alegria.

Aos amigos do laboratório de grãos, em especial Mateus Cardoso, pela amizade, incentivo e exemplo.

À Rita de Cássia pelo auxílio com as cepas de *Salmonella*.

Ao professor Celso Medina Fagundes, pela amizade e apoio.

Ao técnico Édson Medina pelo auxílio.

Aos professores Tabajara Lucas de Almeida, Paul Kinas e Walter Augusto-Ruiz pela solicitude e ensinamentos.

À prof.^a Maria Izabel Queiroz pelo empréstimo de reagente sem o qual não teria conseguido realizar este estudo no prazo.

À prof.^a Suzana Juliano Kalil pelo auxílio, atenção, carinho e disposição com que sempre me recebeu.

À amiga Ana Virgínia Sanzo pela solicitude sempre que precisei de auxílio.

Ao Seu Rudnei pela disposição e presença e pelos memoráveis almoços.

À Companhia Brasileira de Esterilização (CBE) e à Dra. Ana Lúcia Villavicencio (IPEN) pela prontidão e inestimável ajuda nas operações de irradiação sem a qual não teria sido possível a realização desse trabalho.

Ao Frigorífico Bonsul, especialmente à veterinária Eliana, pelo auxílio na obtenção da carne.

A todos colegas da UFPEL e da FURG que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

À todos os professores e funcionários do DCTA, em especial ao amigo Fábio Padilha da Silva, pela sua valiosa ajuda, sempre com prontidão e competência e à Aline, pela prontidão, eficiência e amizade.

Ao meu namorado, Alexandre, pela paciência, compreensão, amor, carinho e apoio.

À minha família e a todos meus Amigos, pela confiança, incentivo, carinho e compreensão nos momentos de ausência.

A Deus, por estar presente em todos os momentos de minha vida, por me dar força, energia e coragem para seguir a minha caminhada.

Não há saber mais ou saber menos: há saberes diferentes.

(Paulo Freire)

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO.....	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Irradiação de Alimentos.....	19
3.1.1 Regulamentação	20
3.1.2 Processo de irradiação.....	22
3.1.3 Efeito nos microrganismos	23
3.1.4 Alterações nos alimentos.....	25
3.1.4.1 Nutricionais.....	25
3.1.4.2 Sensoriais.....	26
3.1.4.2.1 Odores.....	27
3.1.4.2.2 Cor.....	28
3.2 Carne bovina moída	29
3.3 Relação Dose X Efeito.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Carne bovina moída	36
4.2 Bactéria	36
4.3 Preparo do Inóculo	37
4.4 Embalagem e Inoculação das Amostras	37
4.5 Irradiação.....	38
4.6 Análises Microbiológicas	39
4.6.1 Enumeração de microrganismos mesófilos.....	39
4.6.2 Enumeração de <i>Salmonella</i> Typhimurium.....	39
4.7 Cor (Sistema CIE*)	40
4.8 Substâncias reativas com ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)	40
4.8.1 Curva Padrão de Tetraetoxipropano (TEP)	40

4.8.2 Determinação de TBARs.....	41
4.9 Delineamento Experimental.....	42
4.10 Análise Estatística	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Redução/Eliminação de <i>Salmonella</i> Typhimurium	43
5.2 Redução da Carga Bacteriana	50
5.3. Efeito na Oxidação Lipídica -TBARs	57
5.4 Efeito na Cor.....	62
5.4.1 Valor a*	62
5.4.2 Valor b*.....	66
5.4.3 Valor L*	68
6 CONCLUSÕES	71
7 REFERÊNCIAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva padrão de TBARS.	41
Figura 2 - Redução da contagem de <i>Salmonella</i> Typhimurium em função da dose de radiação.....	44
Figura 3 - Redução da contagem de <i>S. Typhimurium</i> provocada por diferentes doses de radiação no segundo dia de armazenamento.....	46
Figura 4 - Contagem de <i>Salmonella</i> Typhimurium em função do tempo em carne bovina moída sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.....	47
Figura 5 - Contagens de mesófilos em carne bovina moída aerobicamente embalada em função do tempo de armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação gama.....	54
Figura 6 - Contagens de mesófilos em carne bovina moída embalada a vácuo em função do tempo de armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação gama.	55
Figura 7 - Tempo de armazenamento para atingir o limite de deterioração (6 log (UFC.g ⁻¹) sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	56
Figura 8 - Níveis de TBARS em função do tempo de armazenamento em carne bovina moída embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação gama. ...	61
Figura 9 - Níveis de TBARS em função do tempo de armazenamento em carne bovina moída embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação gama.	61
Figura 10 - Valores de a* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação. ...	64
Figura 11 - Valores de a* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação	65

Figura 12 - Valores de b^* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada aerobicamente e a vácuo sob diferentes doses de radiação.....	67
Figura 13 - Valor L^* em carne bovina moída, embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação em função do tempo armazenamento.....	70
Figura 14 - Valor L^* em carne bovina moída, embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação em função do tempo armazenamento.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da análise de variância das contagens de <i>Salmonella</i> Typhimurium em carne bovina moída durante o armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	44
Tabela 2 - Contagens médias de <i>Salmonella</i> Typhimurium em carne bovina moída sob diferentes doses de radiação em função do tempo de armazenamento refrigerado*	44
Tabela 3 - Contagens de <i>Salmonella</i> Typhimurium em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	49
Tabela 5 - Síntese da análise de variância das contagens de microrganismos mesófilos em carne bovina moída durante o armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	50
Tabela 4 - Contagens de microrganismos mesófilos em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	51
Tabela 6 - Contagens médias de mesófilos em carne bovina moída em função do armazenamento refrigerado nas diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	52
Tabela 7 - Síntese da análise de variância dos valores de TBARs em carne bovina moída durante armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	57
Tabela 8 - Valores de TBARs em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	59

Tabela 9 - Médias dos valores de TBARs em carne bovina moída em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.....	59
Tabela 10 - Síntese da análise de variância dos valores de a^* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	62
Tabela 11 - Valores de a^* em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.....	64
Tabela 12 - Síntese da análise de variância dos valores de b^* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	66
Tabela 13 - Valores de b^* em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.....	67
Tabela 14 - Síntese da análise de variância dos valores de L^* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.	69
Tabela 15 - Valores de L em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.....	70

RESUMO

Os efeitos de diferentes doses de radiação gama e vácuo na redução/eliminação de *Salmonella* Typhimurium e da microbiota deteriorante, bem como modificações na cor e oxidação lipídica de carne bovina moída, sob armazenamento refrigerado, foram avaliados. Amostras inoculadas com *S. Typhimurium* foram embaladas a vácuo ou aerobicamente e depois irradiadas a 0; 1,5; 2,5 e 3,5kGy. No segundo dia de armazenamento, a redução de *S. Typhimurium* foi proporcional a dose de irradiação, obtendo-se reduções de 2,2; 3,7 e 4,5 log(UFC.g⁻¹), com doses de 1,5; 2,5 e 3,5kGy, respectivamente, independentemente das condições de embalagem. As contagens de *Salmonella* diminuíram nas amostras irradiadas com o tempo de armazenamento, não sendo detectada a partir do vigésimo dia nas amostras irradiadas a 3,5kGy. Maior redução da microbiota foi obtida com o emprego de irradiação a 3,5kGy quando associada ao vácuo. A irradiação e o tempo de armazenamento provocaram reduções nos valores de a* e aumentos nos valores de TBARs, obtendo-se maior estabilidade das duas variáveis sob vácuo. O uso de vácuo retardou a oxidação lipídica e aumentou a estabilidade da cor de carne bovina moída irradiada, além de promover uma redução da microbiota.

Palavras-chave: Irradiação de alimentos. Carne bovina moída. Vácuo. *Salmonella* Typhimurium. Oxidação lipídica.

ABSTRACT

The effects of gamma-irradiation and vacuum packaging on the reduction/elimination of *Salmonella* and of microbial load, and on color and lipid oxidation changes in ground meat were investigated. Samples inoculated with *S. Typhimurium*, were packaged under air or vacuum and irradiated at 0; 1.5; 2.5 and 3.5kGy. On second day of storage, *S. Typhimurium* reduction was dose-dependent. Reductions of 2.2, 3.7 e 4.5 log units were obtained by doses of 1.5; 2.5 and 3.5kGy, respectively, regardless of packaging. The number of *Salmonella* decreased with storage at 2°C on irradiated samples, resulting in no survival cell being detected after 20 days of storage on samples irradiated at 3.5kGy. Higher reductions of microbial load were obtained in vacuum-packaged ground meat irradiated at 3.5kGy. Irradiation and storage time reduced a* values and increased TBARs values. Better color and lipid oxidation stability is obtained under vacuum. Irradiation of vacuum-packaged ground meat produced a reduction on microbial load and a more stable (color and rancidity) product.

Key-Words: Food irradiation; Ground beef; Vacuum; *Salmonella* Typhimurium; Lipid oxidation.

1 INTRODUÇÃO

A carne apresenta proteínas de alto valor biológico, vitaminas e minerais importantes para o adequado desenvolvimento do homem, portanto nutricionalmente pode ser considerada um alimento completo. O alto valor nutritivo pouco difere entre os diferentes cortes comercializados como carne “in natura”. Há diferentes formas de comercializar esses cortes de carne, entre os quais destaca-se a carne bovina moída. Esta que vem a ser uma das formas mais comuns e importantes de aproveitamento da carne, especialmente a bovina, servindo como matéria-prima na fabricação de produtos cárneos ou sendo comercializada diretamente.

A carne bovina moída, no entanto, apresenta um curto período de armazenamento e está freqüentemente associada a casos de surtos alimentares, pois a manipulação durante seu processamento cria condições propícias para a instalação, sobrevivência e multiplicação de grande número de microrganismos, tornando-a susceptível à ação de bactérias deteriorantes e à incidência de microrganismos patogênicos.

Entre as tecnologias existentes para a preservação de alimentos, a irradiação permite o controle de bactérias patogênicas e deteriorantes em produtos “in natura” já embalados, diminuindo a possibilidade de contaminação cruzada, e provocando

apenas pequenas alterações nutricionais no produto, não havendo comprometimento da sua qualidade. No entanto, o processo de irradiação pode provocar algumas alterações na coloração e oxidação lipídica da carne, as quais podem ser controladas ou reduzidas pela exclusão do oxigênio da embalagem.

Dessa forma, a irradiação de carne bovina moída refrigerada proporciona aumento na segurança alimentar do produto e economia em termos de redução de gastos com saúde e perdas por deterioração, possibilitando a abrangência de um maior mercado, pela disponibilização do produto em mercados mais distantes em função da extensão do prazo de armazenamento.

Neste trabalho avaliou-se o efeito de diferentes doses de radiação combinadas com o uso de vácuo no aumento da sanidade e conservação, bem como, nas alterações oxidativas lipídicas e de coloração da carne bovina moída refrigerada, durante armazenamento prolongado.

2 OBJETIVOS

1) Verificar o efeito de baixas doses no processamento por radiação, sob diferentes condições de embalagem na redução e/ou eliminação de microrganismos patógenos e deteriorantes em carne bovina moída.

2) Avaliar o efeito das diferentes doses de radiação e das condições de embalagem nas alterações de cor e oxidação lipídica da carne bovina moída, durante o armazenamento refrigerado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Irradiação de Alimentos

A contaminação de alimentos de origem animal, por bactérias patogênicas, é alta, o que resulta em graves problemas de saúde pública, tanto em países desenvolvidos, como em desenvolvimento (THAYER & BOYD, 1991b; SANTOS, 1997; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999; SPOTO et al., 2000; BHIDE et al., 2001; MOLLINS et al., 2001; DELINCÉE, 2002). Os alimentos contaminados, especialmente aqueles comercializados crus, podem ter seus níveis de contaminação reduzidos, mas não eliminados, pelo emprego de boas práticas de fabricação, representando uma grande fonte de perdas econômicas com relação a despesas médicas, perda de produtividade, perdas de negócios e possíveis ações legais (FU et al., 1995; FARKAS, 1998; MOLLINS et al., 2001; MARTINEZ et al., 2002).

Embora existam vários métodos de descontaminação de alimentos, um dos mais versáteis é o processamento de alimentos com radiação ionizante (SPOTO et al., 2000; CHIRINOS et al., 2002). A irradiação atua evitando ou retardando o processo de infestação, contaminação ou deterioração do alimento (THAYER, 1993; HAMPSON et al., 1996; SPOTO et al., 1999). O processo é considerado por alguns

autores como o melhor método para controle da carga microbiana (DU et al., 2000), eliminação ou redução de bactérias patogênicas de origem alimentar como *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia* e *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes* ou *Escherichia coli* O157:H7, especialmente em produtos cárneos e de frango, resultando no aumento da segurança alimentar com a concomitante extensão da vida útil do produto embalado (HANIS et al., 1989; THAYER et al., 1991; THAYER & BOID, 1991a; THAYER & BOYD, 1991b; THAYER, 1993; RADOMYSKI et al., 1994; CRAWFORD & RUFF, 1996; FARKAS, 1998; SPOTO et al., 1999; HANSON et al., 2000; SPOTO et al., 2000; GIROUX et al., 2001; BRITO et al., 2002; OUATTARA et al., 2002b).

A descontaminação de alimentos por irradiação ionizante é segura, ambientalmente limpa e energeticamente eficiente. O processo é considerado um tratamento “frio”, pois provoca aumentos de temperatura muito pequenos no alimento, mantendo-o cru e conservando sua aparência fresca, além de permitir o processamento do alimento sob o estado congelado. A radiação-gama apresenta alto poder de penetração, sendo aplicada em produtos embalados, permitindo a irradiação de alimentos volumosos de forma uniforme, evitando problemas de contaminação pós-processamento ou as falhas decorrentes de desuniformidade do processo que se verificam no tratamento térmico. Ainda pode eliminar a necessidade de tratamentos químicos, apresentando custo competitivo com outros métodos de processamento de alimentos (URBAIN, 1986; SANTOS, 1997; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999; SPOTO et al., 1999; SPOTO et al., 2000; DURANTE, 2002; GOMES & SILVA, 2002).

3.1.1 Regulamentação

Em 1981, a junta composta pela FAO/Agência Internacional de Energia Atômica/Comite Expert de Salubridade de Alimentos Irradiados da Organização Mundial da Saúde concluiu que a irradiação de qualquer alimento até uma dose global média de 10kGy não apresenta perigo toxicológico ou introduz qualquer risco

microbiológico ou nutricional especial (CRAWFORD & RUFF, 1996; GIROUX & LACROIX, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; CHUNG *et al.*, 2000; GIROUX *et al.*, 2001; MOLLINS *et al.*, 2001; CHIRINOS *et al.*, 2002; OUATTARA *et al.*, 2002a; SATIN, 2002). Um código geral padronizado para a irradiação de alimentos foi adotado pela Comissão do Codex Alimentarius em 1983, o qual também recomendou um código de práticas internacionais (SANTOS, 1997).

No Brasil, a irradiação de alimentos é regulamentada pelo Decreto Nº 72.718 de 29 de agosto de 1973 – Diário Oficial de 30 de agosto de 1973 e pelas Diretivas do Ministério da Saúde Nº 9 de 8 de março de 198 e Nº 30 de 25 de setembro de 1989. Mais recentemente a legislação foi atualizada pelo *Regulamento Técnico para a Irradiação de Alimentos* – Resolução – RDC Nº 21 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de 26 de janeiro de 2001 – Diário Oficial de 29 de janeiro de 2001. A RDC 21 no item 4.3 estabelece que “qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas as seguintes condições: a) a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; b) a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento.” (ANVISA, 2001).

Atualmente, mais de 40 países, aprovaram para consumo, mais de 100 artigos alimentícios ou grupos de alimentos irradiados, destes, 34 também adotaram a irradiação comercial de alguns alimentos (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; MOLLINS *et al.*, 2001; OUATTARA *et al.*, 2002a). Nos Estados Unidos, em dezembro de 1997 o Food and Drug Administration (FDA) e posteriormente, em 2000, o Serviço de Inspeção e Segurança de Alimentos do Departamento de Agricultura Americano (FSIS –USDA) aprovaram o tratamento por radiação ionizante de carne vermelha “in natura” com doses de até 4,5 kGy e congelada com até 7 kGy para o controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos (CHUNG *et al.*, 2000; JO & AHN, 2000; CHIRINOS *et al.*, 2002; DELINCÉE, 2002; OUATTARA *et al.*, 2002a; SATIN, 2002).

3.1.2 Processo de irradiação

Define-se a irradiação de alimentos como o processo em que alimentos são expostos à energia ionizante, a qual compreende os raios-X, os feixes de elétrons de alta energia e a radiação gama. Essa última provem de fontes radioativas como o Cobalto 60 e Césio 137 (SATIN, 2002). O Cobalto 60 (^{60}Co) é um elemento não estável produzido via bombardeamento de nêutrons do elemento não radioativo ^{59}Co ; sua desintegração gera raios gama com energia de 1,17 e 1,33 MeV (SANTOS, 1997; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999). No processo, não há contato do alimento com a fonte de irradiação sendo impossível induzir radioatividade no produto nas doses aplicadas (URBAIN, 1986; SATIN, 2002).

A radiação ionizante reage com o material irradiado transferindo energia aos elétrons, que passam para um estado de maior energia. No entanto, se a quantidade de energia fornecida for maior, o elétron carregado pode escapar da molécula e formar um íon positivo, um radical livre, que reage para formar produtos radiolíticos estáveis. A dose de radiação absorvida é a quantidade de energia absorvida por unidade de massa do material irradiado, sendo expressa em Gray (Gy), o qual corresponde a 1 Joule de energia absorvida por quilograma de material (RADOMYSKI *et al.*, 1994; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; SATIN, 2002).

A interação da radiação no alimento pode se dar de forma direta, quando a energia transportada pela radiação é transferida sem intermediários para o objeto alvo, e/ou de forma indireta, quando a radiação interage com outras substâncias, resultando na formação de radicais livres que são altamente reativos (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; JO & AHN, 2000; SATIN, 2002). A presença da água torna a ação indireta da radiação mais efetiva, aumentando o papel dos fatores ambientais, tanto através de produtos radiolíticos ativos da água, como pela reunião dos reagentes. Na ausência da água, o efeito da radiação limita-se essencialmente à ação direta (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998).

Durante a irradiação, ocorrem alterações químicas na microbiota contaminante e no próprio alimento (URBAIN, 1986).

3.1.3 Efeito nos microrganismos

Há uma relação diretamente proporcional entre a dose de energia absorvida e as alterações celulares, tanto nas reações diretas como indiretas (KIM & THAYER, 1996; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999). As alterações celulares possíveis são: (1) alterações na membrana celular, as quais modificam as funções de transferência de materiais críticos para a atividade celular; (2) efeitos em enzimas; (3) efeitos nos processos sintéticos, particularmente a síntese de DNA ou RNA; (4) efeitos no metabolismo energético, principalmente na redução da fosforilação e (5) modificações na composição do DNA, afetando as funções normais da célula, inclusive a reprodução (URBAIN, 1986; OUATTARA *et al.*, 2002b; CHIRINOS *et al.*, 2002). Dentre essas, consideram-se as alterações do DNA as principais causas de inativação celular, por inviabilizar a reprodução, enquanto que os danos sobre proteínas, lipídeos e RNA têm menor influência na morte microbiana (URBAIN, 1986; KIM & THAYER, 1996; LUCHT *et al.*, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999).

O índice de radioresistência de um organismo, D_{10} , define-se como a dose necessária para produzir uma redução de 90% dos microrganismos viáveis (THAYER, 1993; SANTOS, 1997; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; SOMMERS *et al.*, 2003). As bactérias Gram-negativas, tanto as deteriorantes como as patogênicas, geralmente são mais sensíveis à radiação que as Gram-positivas. No entanto, a diferença na resistência do microrganismo não se restringe somente aos gêneros, mas também entre as linhagens de uma mesma espécie, sua fase durante o ciclo de crescimento, seu potencial para reparar danos e das proporções relativas dos danos canalizados nas diferentes vias de reparo, da condição fisiológica das células individuais, além de fatores ambientais como a composição do meio (conteúdo de água, componentes dos alimentos, pH, oxigênio) e condições durante a irradiação (temperatura, dose e taxa de irradiação) e pré-

irradiação (URBAIN, 1986; THAYER, 1993; MONK *et al.*, 1995; THAYER *et al.*, 1995; KIM & THAYER, 1996; THAYER & BOYD, 1996; ANDREWS & GRODNER, 1997; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; BHIDE *et al.*, 2001, CHIRINOS *et al.*, 2002; OUATTARA *et al.*, 2002). Os microrganismos sobreviventes a doses baixas e médias de irradiação apresentam maior susceptibilidade ao estresse ambiental ou ao processamento subsequente do alimento (SANTOS, 1997; FARKAS, 1998; OUATTARA *et al.*, 2002b).

Devido à natureza de sua molécula, a qual apresenta elétrons desemparelhados, o oxigênio se liga a muitos radicais, evitando recombinações e dimerizações. Dessa forma, sob determinadas condições, a presença de oxigênio potencializa a ação indireta da irradiação, aumentando sua efetividade e provocando a redução no valor de D_{10} (URBAIN, 1986). Thornley (1963) citado por Urbain (1986), encontrou um D_{10} de 0.28kGy e de 0.62kGy para *Salmonella* Typhimurium em condições aeróbicas e anóxicas, respectivamente. Entretanto, o aumento da ação indireta no alimento pode ser indesejável, em função de outros aspectos como a oxidação lipídica (MONK *et al.*, 1995; LUCHSINGER *et al.*, 1996).

Geralmente, são baixos os valores de D_{10} para as bactérias deteriorantes mais comuns em carne fresca, as quais são efetivamente eliminadas com doses próximas a 3kGy. *Pseudomonas* apresentam um dos mais baixos valores de D_{10} , na faixa de 0.02-0.1kGy (URBAIN, 1986; HANIS *et al.*, 1989). Entretanto, bactérias ácido-lácticas mostram-se resistentes à radiação com doses de até 3kGy (SPOTO *et al.*, 1999).

O gênero *Salmonella*, por ser considerado o mais resistente dentro os Gram-negativos, vem recebendo especial atenção no processo de irradiação, uma vez que a menor dose para eliminar essa bactéria, é suficiente para inativar as demais bactérias patogênicas Gram-negativas (MONK *et al.*, 1995; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999). Chung & Kim (2000) sugeriram que 3kGy de irradiação são suficientes para eliminar a maioria dos patógenos comumente

encontrados em carnes. Entretanto, Hanis *et al.* (1989) relataram que para a eliminação de *Salmonella* doses de 5kGy são insuficientes. Também Spoto *et al.*, (1999), verificaram que *Staphylococcus* foram resistentes à radiação com doses de até 3kGy. Porém, Thayer *et al.* (1995), afirmaram que a irradiação de frango com doses de 1.5 a 3kGy asseguram uma proteção significativa contra *Salmonella*, bem como induzem uma redução da população microbiana natural. Katta *et al.* (1991) observaram que mais de 99% da carga microbiana de carcaças de frango poderiam ser inativadas quando submetidas à doses maiores ou iguais a 2.0kGy. Thayer *et al.* (1995) afirmaram que a maioria das bactérias de interesse para a saúde pública, especialmente *Salmonella* spp e *E. coli* O157:H7, são relativamente sensíveis à radiação. Doses de radiação de 1.5 a 3.0kGy são suficientes para reduzir os níveis dessas bactérias. A eliminação de bactérias potencialmente patogênicas, não-formadoras de esporos, pode ser obtida pelo tratamento de irradiação com doses de 2.0 até 7.0kGy, dependendo das condições de irradiação, contaminação inicial e tipo de alimento (SPOTO *et al.* , 2000).

3.1.4 Alterações nos alimentos

3.1.4.1 Nutricionais

Nutricionalmente podem ocorrer algumas alterações nos alimentos irradiados, porém, essas não são diferentes das observadas em alimentos submetidos a outros processos, tais como: enlatamento, congelamento ou desidratação (SANTOS, 1997; GIROUX & LACROIX, 1998).

Nas proteínas, as modificações por ação da radiação incluem desaminação, descarboxilação, redução de ligações dissulfídicas, oxidação dos grupos SH e aromáticos, quebras de ligações peptídicas, etc. Os principais compostos formados são NH₃, H₂S, CO₂, carbonilas, aminoácidos livres, cetoácidos, mercaptanas, produtos como amida e outros (URBAIN, 1986; SANTOS, 1997; GIROUX &

LACROIX, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999). As proteínas também podem sofrer desnaturação pela irradiação, envolvendo alterações na sua estrutura primária, secundária e terciária (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999).

Os principais produtos gerados durante a irradiação de lipídeos são CO₂, CO e H₂, hidrocarbonetos, principalmente alcanos e aldeídos (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998). Alguns dos hidrocarbonetos insaturados podem ser formados a partir de ácidos graxos insaturados. Esses últimos também podem formar dímeros e polímeros, cujos teores aumentam na presença de O₂ (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998). Entretanto, nas doses comercialmente utilizadas em carnes (2-7kGy) não há perda nutricional significativa de lipídeos, proteínas e aminoácidos ou qualquer alteração na atividade das enzimas. (URBAIN, 1986; HANIS et al., 1989; SANTOS, 1997; GIROUX & LACROIX, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999)

As perdas vitamínicas provocadas pela irradiação, na maioria dos casos, são de pequena significância nutricional. A única perda significativa devida à irradiação é a de tiamina, no entanto, ainda pode ser menor que a observada durante o cozimento (URBAIN, 1986; CRAWFORD & RUFF, 1996; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999).

3.1.4.2 Sensoriais

O processo de irradiação pode alterar algumas propriedades sensoriais do alimento de forma indesejável. Carnes irradiadas são susceptíveis à deterioração por oxidação de lipídeos e pigmentos, provocando descoloração e produção de odores residuais (MILLAR et al., 2000a, 2000b; JO & AHN, 2000; DU et al., 2002a, NAM & AHN, 2003b). A qualidade da carne irradiada está fortemente correlacionada com a quantidade de produtos radiolíticos formados, a qual é dependente da dose empregada (URBAIN, 1986; NAM & AHN, 2003b).

3.1.4.2.1 Odores

Alguns dos compostos gerados pela irradiação de proteínas são responsáveis pelo desenvolvimento de odores indesejáveis na carne irradiada. O limite para a formação de odor detectável varia com o tipo de carne, sendo de 2.5kGy para a carne vermelha. (URBAIN, 1986; SANTOS, 1997; GIROUX & LACROIX, 1998). Segundo Farkas (1998), o cozimento pode atenuar o odor e sabor induzidos pelo tratamento de irradiação.

O odor da carne também é fortemente influenciado pelos compostos voláteis originados pela oxidação dos ácidos graxos durante o armazenamento da carne (JO & AHN, 2000). A oxidação lipídica apresenta-se como uma das principais causas de deterioração durante o armazenamento e produção de alimentos (FENNEMA, 1993; ROSMINI *et al.*, 1996; FERNÁNDEZ *et al.*, 1997; GIROUX & LACROIX, 1998; WHEATLEY, 2000; BRITTO *et al.*, 2002).

A análise de TBARs tem sido tradicionalmente utilizada para avaliar a oxidação lipídica em alimentos (KOSUGI & KIKUGAWA, 1985; SALIH *et al.*, 1987; ROSMINI *et al.*, 1996; HANSON *et al.*, 2000). Na reação forma-se uma coloração vermelha resultante da condensação de uma molécula de malonaldeído (MDA), produto de oxidação secundária de ácidos graxos poliinsaturados contendo duas ou três ligações duplas, com duas moléculas de ácido-tiobarbitúrico (SALIH *et al.*, 1987; ROSMINI, 1996; FERNÁNDEZ *et al.*, 1997; WHEATLEY, 2000). Outros compostos também podem reagir com o ácido tiobarbitúrico, formando coloração vermelha. Entretanto, o MDA é o mais importante, o que permite monitorar a oxidação lipídica em produtos cárneos pela sua presença (SALIH *et al.*, 1987; FERNÁNDEZ *et al.*, 1997; WHEATLEY, 2000).

A alteração de ácidos graxos produz-se, principalmente, por um mecanismo autocatalítico de radicais livres chamado autooxidação (FERNÁNDEZ *et al.*, 1997).

Está se dá em três estágios: formação de radicais livres, propagação e terminação. A irradiação leva à produção de radicais livres, os quais reagem de várias formas até formar produtos estáveis, acelerando a oxidação lipídica (NAM & AHN, 2003a; SOMMERS et al., 2003).

Apesar de algumas exceções terem sido relatadas, a ausência de O₂ na irradiação e armazenamento do alimento, diminui a oxidação lipídica (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999). Além da presença ou ausência de oxigênio, a ação indireta da irradiação sobre os lipídeos é influenciada por fatores ambientais e outros, como a temperatura, a dose e a taxa de irradiação, a composição dos lipídeos e a presença de pró-oxidantes (URBAIN, 1986; GIROUX & LACROIX, 1998; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999).

Ahn & Jo (2004) mencionaram um aumento dos níveis de TBARS em função do tempo e da dose, imediatamente após a irradiação, utilizando carne de porco moída resfriada, verificando o desaparecimento do efeito da irradiação após 1 semana de armazenamento. Du et al. (2001b) verificaram aumento dos valores de TBARS em carnes moídas de peru, de porco e bovino, irradiadas após cozimento, quando armazenadas aerobicamente por 7 dias, mas não quando embaladas a vácuo.

3.1.4.2.2 Cor

A aparência visual é um dos principais critérios usados pelos consumidores para averiguar a qualidade e palatabilidade da carne e seus derivados, portanto influenciando a decisão de compra. Os consumidores comumente fazem uso da cor da carne bovina moída para avaliar o quanto a mesma é segura para consumo (ARNOLD et al., 1992; MILLAR et al., 2000a, 2000b; LACROIX et al., 2000; GIROUX et al., 2001; TROUT, 2003).

A mioglobina (Mb) e em menor extensão a hemoglobina (Hb) são responsáveis pela coloração vermelha da carne (LACROIX *et al.*, 2000). Na medida que o oxigênio do ar entra em contato com as superfícies expostas da carne, o mesmo se liga a molécula da mioglobina para formar oximioglobina, conferindo à carne fresca coloração vermelho vivo (URBAIN, 1986; GIROUX *et al.*, 2001).

Quando irradiada, a carne pode sofrer alterações na cor, pela oxidação dos pigmentos na presença de O₂, causando descoloração (FARKAS, 1998; Nam & AHN, 2002; SOMMERS *et al.*, 2003). Os radicais livres gerados durante o processo de irradiação e armazenamento do alimento, podem reagir com a mioglobina ou hemoglobina, resultando em colorações indesejáveis. Com a irradiação, o sítio livre de ligação da mioglobina ao invés de reagir com o oxigênio, reage com radicais livres, entre os quais radicais hidroxila e sulfidril, formando metamioglobina e sulfomioglobina, respectivamente. A metamioglobina está associada com a coloração marrom da carne e a sulfomioglobina é responsável pela coloração esverdeada (GIROUX *et al.*, 2001). As alterações da cor na carne irradiada diferem significativamente dependendo de vários fatores como: a dose de irradiação, espécie do animal, tipo de músculo e tipo de embalagem (AHN, 2003).

3.2 Carne bovina moída

A carne apresenta um alto nível de umidade (cerca de 75%) e completa composição de nutrientes. Portanto, é um ótimo substrato para o crescimento de microrganismos com desenvolvimento de alterações indesejáveis durante seu armazenamento, sendo freqüentemente contaminada durante as operações de abate e processamento (LOAHARANU, 1996; CHUNG, 2000; TAN & SHELEF, 2002).

Na elaboração da carne bovina moída ocorre um aumento da área superficial, o que provoca a liberação de caldo nutritivo, bem como uma maior exposição ao oxigênio; fatores que aliados a maior manipulação, tornam esse produto mais susceptível à contaminação. A comercialização de carne bovina moída contaminada pode trazer uma série de problemas, uma vez que patógenos presentes em uma carcaça podem contaminar uma batelada inteira (URBAIN, 1986; CHUNG, 2000; MOTTA & BELMONTE, 2002; POHLMAN *et al.*, 2002; SATIN, 2002;).

A natureza e nível de contaminação microbiana têm conseqüências importantes para a saúde pública, tipo provável de deterioração e vida útil (CHUNG, 2000). A maioria dos microrganismos deteriorantes, em carne refrigerada, é Gram-negativa destacando-se os gêneros *Achromobacter*, *Serratia* e *Pseudomonas*, sendo este último o de maior predominância em carnes refrigeradas (URBAIN, 1986; FU *et al.*, 1995; CHUNG *et al.*, 2000). Dentre os patógenos, os de maior importância em carne refrigerada estão *E. coli*, *Salmonella* e *Clostridium spp.*, *S. aureus*, *Bacillus cereus*, etc. (BROMBERG *et al.*, 2000; BHITE *et al.*, 2001; SATIN, 2002). Dentre estes, destacam-se *Salmonella spp* e *Eschericchia coli* O157:H7.

Salmonella spp possui uma dose infectante da ordem de 10^2 UFC.g⁻¹, sendo responsável por 19 e 30% dos surtos de origem alimentar com origem conhecida na América Latina e no Brasil, respectivamente (SANTOS, 1997; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999; DELAZARI, 2000). Nos Estados Unidos, 4533 casos de salmonelose foram relatados no ano de 1999 (DELAZARI, 2000).

Motta & Belmonte (2002), ao analisar amostras de carne bovina moída comercializada na região oeste de São Paulo, verificaram que das 15 amostras analisadas, 1 apresentou *Salmonella*, enquanto que apenas 4 estavam aptas para consumo, considerando-se as contagens de coliformes fecais, *S. aureus* e microrgansimos mesófilos. Em outro estudo, constatou-se que a carne bovina moída resfriada comercializada em Santa Maria-RS apresentou contaminação bastante acima da permitida pela legislação, com 36% das amostras apresentando-se

impróprias para consumo com relação à contagem de *S. aureus* (MORANDINI *et al.*, 2002).

Escherichia coli O157:H7 causa colite hemorrágica que pode evoluir para síndrome urêmica hemolítica e síndrome púrpura trombótica trombocitopênica; sendo a carne bovina um dos principais alimentos envolvidos com surtos alimentares causados por essa bactéria (THAYER & BOYD, 1993; CHIRINOS *et al.*, 2002). O maior reservatório dessa bactéria é o trato intestinal de bovinos, ocorrendo a contaminação da carne durante o abate (CHIRINOS *et al.*, 2002).

Tendo em vista que a carne bovina moída é um produto popular, altamente comercializado e sujeito à contaminação, é necessária a aplicação de métodos de conservação que garantam a qualidade microbiológica da carne bovina moída sem afetar negativamente suas características nutricionais e sensoriais. Dentre os métodos de conservação aplicados à carne bovina moída com a finalidade de aumentar sua segurança microbiológica, cita-se a pasteurização de carcaças com vapor ou água quente antes da moagem da carne. No entanto, este processo pode alterar características importantes para a performance comercial de alguns produtos, além de apresentar uma eficácia questionável, uma vez que contaminações por *E. coli* e *Salmonella* continuam ocorrendo em carne bovina moída obtida de carcaças pasteurizadas (GILL & BADONI, 2002). A adição de compostos antimicrobianos como o fosfato trissódico é um outro tratamento que vem sendo utilizado para diminuir a contaminação da carne bovina moída (POHLMAN *et al.*, 2002), embora enfrente uma resistência crescente ao consumo de alimentos que contenham aditivos químicos.

A irradiação destaca-se dos demais métodos de conservação para a carne bovina moída pré-embalada, por garantir eliminação/redução de patógenos e deteriorantes (FARKAS, 1998), aumentando a vida útil, não alterando o valor nutricional e frescor da carne. Além disso, elimina a necessidade de aditivos químicos, apresentando maior praticidade e segurança.

No entanto, a irradiação de carne vermelha e produtos cárneos para prevenção de surtos alimentares passou a ser mais seriamente considerada e aprovada pelo FDA, somente após o surto alimentar provocado pelo consumo de hambúrgueres mal-passados contaminados por *E. coli* O157:H7, em janeiro de 1993 nos Estados Unidos. Esse surto afetou cerca de 500 pessoas e causou a morte de 4 crianças (FU et al., 1995; FARKAS, 1998; MOLINS et al., 2001), além de ter sido responsável por grandes perdas econômicas com despesas médicas, recolhimento de milhares de toneladas de carne moída e perda de credibilidade pelo consumidor (MOLINS et al., 2001).

Há uma previsão do Serviço de Inspeção e Segurança de Alimentos do Departamento de Agricultura Americano (FSIS –USDA) que se 25% de toda carne bovina moída consumida nos Estados Unidos fosse irradiada, os ganhos de saúde e a vantagem econômica pela redução de doenças, poderiam atingir 56,5 a 138 milhões de dólares (LACROIX & OUATTARA, 2000).

3.3 Relação Dose X Efeito

Dentre os microrganismos Gram-negativos, o gênero *Salmonella*, é considerado o mais resistente, sendo que a menor dose para eliminar essa bactéria, é suficiente para inativar as demais bactérias patogênicas Gram-negativas. Em decorrência, a eliminação de *Salmonella* pode ser considerada um indicador da inativação de outros microrganismos patogênicos em carne moída. O D_{10} de *Salmonella* spp é de 0.621-0.624kGy em carne moída de baixo teor de gordura, enquanto que *E. coli* O157:H7, bactéria cuja incidência em carne moída tem recebido maior importância em decorrência da severidade da patologia que provoca, apresenta um D_{10} de 0.241kGy, cerca de 2 vezes menor. (MONK et al., 1995; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999, CHIRINOS et al., 2002).

Doses na faixa de 1-3 kGy são indicadas por alguns autores como suficientes para eliminar uma média de 2-3 ciclos logarítmicos de *Salmonella* e serem mais do que adequadas para controlar *E. coli* O157:H7 e outros patógenos não formadores de esporos mais radiosensíveis em carne bovina moída e cortes de carne vermelha resfriada (FARKAS, 1998). No entanto, a literatura relacionada à redução de *Salmonella* em carne bovina moída é escassa, porém não em carne de frango, embora os resultados encontrados sejam controversos. Abu-Tarboush et al. (1997) e Lamuka et al. (1992) verificaram que uma dose de 2.5kGy é suficiente para eliminar *Salmonella* em frango. Para Kamat et al. (1991) citados por Abu-Tarboush et al. (1997) uma dose de 2kGy elimina somente as espécies de *Salmonella* comumente encontradas em frango, e doses de 4 a 6 kGy são necessárias para eliminar as *Samonella* spp. radio-resistentes. Também Hanis et al (1989), verificaram que doses maiores que 5kGy são necessárias para eliminar *Salmonella* em frango. Similarmente, Spoto et al. (2000) verificaram que a eliminação de *Salmonella* em carcaças de frango só foi obtida com doses maiores ou iguais a 6kGy.

A dose necessária para eliminação de um microrganismo pode variar com a composição do alimento, sua contaminação inicial e a presença de oxigênio, tornando-se muitas vezes necessário à avaliação da resistência de um microrganismo num alimento determinado, para especificar as condições do processo de irradiação (URBAIN, 1986; BHIDE et al., 2001). Clavero et al. (1994) encontraram um valor de D_{10} de 0,608 para *Salmonella* em carne bovina moída com baixo teor de gordura, sugerindo que uma dose de 2.5kGy seria suficiente para eliminá-la do produto. No entanto, Tarkowski et al.(1984), citado por Rodríguez et al (1993), trabalhando com cortes inteiros de carne bovina, relataram que a dose de 1kGy provocou uma redução de mais de 95% de *Salmonella* e 99,9% de *Yersinia enterocolítica* e *Campylobacter jejuni*. Também Chung et al. (2000) verificaram que doses de 1.5kGy são suficientes para eliminar *Salmonella* Typhimurium de carne bovina previamente inoculada a uma concentração de 6 log UFC.g¹. Fu et al. (1995) relataram uma redução de 1,5 e 5 Log UFC.g⁻¹ de *Listeria monocytogenes* em carne bovina moída irradiada a 0.8 e 2.0kGy respectivamente. Ouattara et al. (2002a) mencionaram uma redução no crescimento de coliformes, enterobactérias, *S. aureus* e *B. thermosphacta* em carne bovina moída irradiada a 3kGy. Murano et al., (1998),

aplicando uma dose de 2kGy obtiveram uma extensão da vida útil de carne bovina moída irradiada para 55 dias sob armazenamento refrigerado, enquanto que FU et al. (1995) encontraram uma vida útil de apenas 10 dias irradiando carne bovina moída com a mesma dose.

Além da redução/eliminação dos microrganismos pela irradiação, também foram observadas alterações na cor e estabilidade lipídica da carne. Lefebvre et al. (1994) notaram diferenças discerníveis de cor em carne bovina moída exposta a várias doses de radiação gama (1.0, 2.5 e 5.0kGy). A irradiação provoca uma diminuição da coloração vermelha da carne bovina moída. A diminuição de a^* de forma significativa foi constatada em carne bovina moída irradiada a 2.5 kGy (AHN & NAM, 2004; FU et al., 1995; GIROUX et al., 2001; KUSMIDER et al., 2002). Ouattara et al. (2000b) também relataram diminuição os valores de a^* , b^* e L^* após a irradiação de carne bovina moída. A irradiação também provocou aumento da oxidação lipídica em carne bovina moída irradiada a 2.0 e 2.5kGy (FU et al., 1995; AHN & NAM, 2004) e em carne bovina moída cozida irradiada a 3 e 5 kGy (BYUN et al., 2002). Entretanto, Murano et al. (1998) não verificaram aumento da oxidação lipídica com a irradiação em carne bovina moída.

Embora sejam obtidas maiores reduções de bactérias patogênicas e deteriorantes com doses mais elevadas, mais intensos também serão os efeitos da radiação na descoloração e oxidação da carne, induzindo à busca da dose mínima que possibilite a eliminação dos patógenos, provocando a menor alteração possível nas propriedades organolépticas e nutricionais dos produtos. Esse objetivo pode ser alcançado através da associação da irradiação gama com outros métodos de conservação (THAYER et al., 1991; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999; BHIDE et al., 2001; OUATTARA et al., 2002a; 2002b; SATIN, 2002). Uma vez que a irradiação torna os microrganismos sobreviventes menos resistentes a fatores tais como o frio, calor, pH, concentração e sal, etc., a combinação de irradiação com outros processos de conservação, como a refrigeração, por exemplo, tem sido sugerida para garantir a qualidade do produto (SANTOS, 1997; FARKAS, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999). Combinações de tratamentos que se mostram promissoras

são: irradiação e tratamento brando com calor; irradiação e frio; uso de atmosfera modificada e de vácuo; aplicação de agentes antimicrobianos como bacteriocina e ácidos orgânicos (BARBOSA -CÁNOVAS. et al., 1999; BHADE et al., 2001; SOMMERS et al., 2003).

A combinação de irradiação e vácuo além de assegurar a qualidade microbiológica, promove um retardamento do crescimento bacteriano e minimiza alterações bioquímicas, como a oxidação lipídica e dos pigmentos, e a formação de odores desagradáveis, pela exclusão do oxigênio, prolongando a vida útil dos alimentos (THAYER, 1993; FU et al., 1995; FARKAS, 1998; RODRÍGUEZ et al., 2000). Com relação ao aumento de vida útil, segundo Thayer (1993), a combinação dos tratamentos de irradiação com o emprego de embalagem a vácuo vem extrapolando os resultados previstos. Lambert et al. (1992) concluíram que a vida útil de carne suína pode ser prolongada para 21 dias quando o produto, embalado a vácuo, é pré-irradiado com 1kGy e armazenado a 5°C. A carne bovina moída refrigerada apresenta uma vida útil muito breve, de cerca de 3 a 6 dias, sendo de grande interesse a aplicação de métodos de conservação que combinados possam estender seu prazo de armazenamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Carne bovina moída

Carne bovina moída fresca, com cerca de 3% de gordura foi adquirida em um frigorífico da cidade de Pelotas-RS logo após o abate. A carne foi armazenada a 2°C por 1 dia antes do preparo das amostras.

4.2 Bactéria

4.2.1 Cepa

Foi utilizada cepa liofilizada de *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 obtida na Fundação Oswaldo Cruz – RJ – Brasil, mantida sob temperatura de congelamento (-10°C).

4.2.2 Reativação

A cepa foi reativada com um volume aproximado de 5mL de caldo Infusão Cérebro Coração (BHI - Oxoid) e incubada a 37°C por 5h, sendo logo após inoculada por esgotamento em ágar Enteric Hektoen (HE - Oxoid) e incubada a 37°C por 18h. A seguir uma colônia foi repicada em ágar Trypticase de Soja (TSA – Oxoid) e incubada a 37°C por 24h.

4.3 Preparo do Inóculo

Uma colônia de *Salmonella* Typhimurium isolada, em meio TSA (Oxoid) foi repicada para 200mL de caldo BHI (Oxoid) e mantida a temperatura de 37°C, sob agitação (120r.p.m. em Estufa Incubadora *Shaker*) por 24h. Após esse período, a suspensão foi centrifugada (Centrífuga Excelsa-Baby modelo 206R, FANEM - São Paulo – Brasil) a 4000G por quinze minutos e ressuspensa em 200mL de solução de Cloreto de Sódio P.A. (Difco) a 0,85%, obtendo-se um inóculo com concentração de 9 Log(UFC.mL⁻¹). A concentração do inóculo foi confirmada através de semeadura por espalhamento em placas contendo meio ágar Padrão para Contagem (PCA -Merck), com duplicatas para cada diluição, as quais foram incubadas por 48h a 37°C.

4.4 Embalagem e Inoculação das Amostras

Amostras de carne bovina moída com aproximadamente 100 gramas cada foram individualmente embaladas a vácuo (Embaladora Webomatic E10-CT100) em sacos polivinil multicamadas (Cryovac) ou em embalagens de polipropileno permeáveis ao ar. A cada amostra foi adicionado 1mL de inóculo e procedeu-se homogeneização por massageamento durante 2 minutos, resultando numa concentração inicial de *Salmonella* Typhimurium de 7 log(UFC.g⁻¹). Testes de

recuperação de *Salmonella* Typhimurium aderida à carne bovina moída foram realizados para confirmar as contagens inoculadas através de sementeira por espalhamento em ágar Bismuto Sulfito (Merck) a 37°C por 48h.

4.5 Irradiação

As amostras do item 4.4 foram duplamente acondicionadas em recipiente de isopor, sendo o isopor externo preenchido com gelo seco em quantidade suficiente para manter a amostra sob temperatura de refrigeração (em torno de 4°C). Utilizou-se fita adesiva para vedar o recipiente. Em teste piloto realizado, verificou-se que 0,6 Kg de gelo seco para cada 1Kg de carne são suficientes para manter a carne sob uma temperatura média de 4°C por até 48h.

O transporte até a fonte irradiadora foi realizado através de empresa transportadora, via terrestre até Porto Alegre, de onde as amostras foram enviadas via aérea até São Paulo. A duração total do transporte foi de 24h. Os controles não irradiados foram diretamente armazenados a 2°C em câmara fria.

As amostras foram irradiadas por raios gama, utilizando-se fonte irradiadora Co⁶⁰ Multipropósito CBE 001 na Companhia Brasileira de Esterilização – CBE – São Paulo-SP, a uma taxa de dose de 4kGy/h. A temperatura durante a irradiação foi mantida em torno de 4°C. As doses de radiação aplicadas foram: 0; 1.5; 2.5 e 3.5kGy. Para aferição da dose de irradiação aplicada foi utilizado dosímetro Amber (tipo 3034, Harwell, UK) com faixa operacional de 1 a 30kGy. Após a irradiação as amostras foram transportadas até Pelotas-RS, seguindo procedimento inverso ao descrito no envio, e armazenadas em câmara fria a 2°C por até 55 dias após a irradiação.

4.6 Análises Microbiológicas

Nos dias 6^o, 13^o, 20^o, 27^o, 34^o, 41^o, 48^o e 55^o de armazenamento, 25 gramas de carne bovina moída foram retiradas assepticamente das embalagens, e homogeneizadas em 225 mL de solução de Cloreto de Sódio P.A. 0,85% P/V por 2 minutos. Todas as diluições subseqüentes foram preparadas a partir da diluição inicial 10⁻¹. A enumeração de *Salmonella* também foi realizada no 2^o dia de armazenamento.

4.6.1 Enumeração de microrganismos mesófilos

A enumeração de microrganismos mesófilos foi realizada através da semeadura por espalhamento de 0,1mL das diluições adequadas em placas contendo meio ágar Padrão para Contagem (PCA –Merck), com duplicatas para cada diluição, as quais foram incubadas por 48h a 30°C. As placas que apresentaram contagem entre 25-250 colônias foram contadas e as médias calculadas. Contagens de 6 log(UFC.g⁻¹) de microrganismos mesófilos foram utilizadas como um indicador de deterioração microbiológica, determinando o fim da vida útil das amostras (OUATTARA et al, 2002).

4.6.2 Enumeração de *Salmonella* Typhimurium

A enumeração de *Salmonella* foi realizada da mesma forma que a de microrganismos mesófilos, utilizando como meio de cultura ágar Bismuto Sulfito (BS –Merck) e temperatura de incubação de 37°C. As placas que apresentaram contagem entre 25-250 colônias foram contadas e as médias calculadas.

4.7 Cor (Sistema CIE*)

A luminosidade e a intensidade da cor da carne bovina moída foram determinadas nos controles e nas amostras irradiadas durante o armazenamento a 2°C, com quatro repetições. A cor das amostras foi medida com colorímetro (Minolta CR-300), através do filme da embalagem das amostras. O mesmo material da embalagem foi utilizado na padronização do colorímetro (branco) a fim de eliminar a influência do material da embalagem na cor da carne.

O sistema Cie* converte o espectro de luz refletida num conjunto de coordenadas de cor: L* representando o brilho; a* cor vermelha, e b* cor amarela. As medições de cor foram realizadas nos dias 6^o, 13^o, 20^o e 27^o de armazenamento.

4.8 Substâncias reativas com ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)

4.8.1 Curva Padrão de Tetraetoxipropano (TEP)

Preparou-se a curva utilizando alíquotas de 33, 66 e 1μL e de 1,33, 1,66, 2, 2,33, 2,66, 3, 3,33, 3,66 e 4mL de solução 3×10^{-4} M de 1-3-3- tetraetoxipropano (TEP-Sigma), completando o volume para 5mL com solução de ácido tricloroacético (TCA - Difco) 10% em tubos de rosca com tampa. Nestes tubos foram adicionados 5mL de solução 0,02M de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA-Merck). Os tubos foram fechados, agitados e colocados em banho-maria fervente por 40 minutos para o desenvolvimento de cor. Decorrido o tempo de reação, os tubos foram imediatamente resfriados em banho de gelo e a absorbância foi determinada em espectrofotômetro (Ultrospec 2000 UV / Visible Pharmacia Biotech) a um comprimento de onda de 532 nm. A prova em branco contendo 5mL de TCA 10% e 5mL de TBA, foi tratada da mesma forma que os demais tubos. A correlação entre a

concentração de malonaldeído e a absorbância lida, permitiu a obtenção da curva e sua respectiva equação (Figura 1).

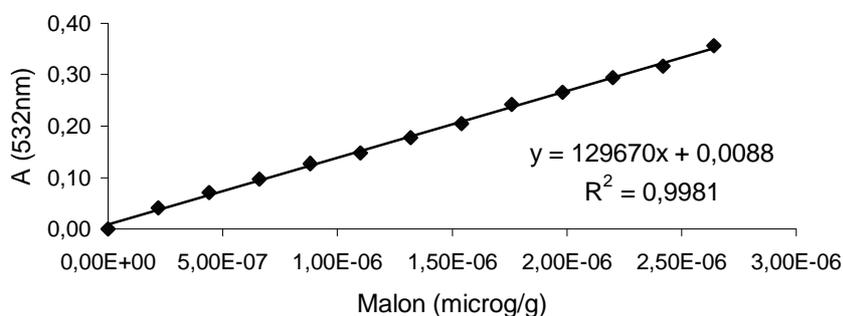


Figura 1 - Curva padrão de TBARs.

4.8.2 Determinação de TBARs

Para essa determinação foram pesados aproximadamente 5 g de carne em balança de precisão e triturados com 30 mL de TCA 10% por 1 minuto, sendo posteriormente filtrados em papel filtro nº 40. Alíquotas de 5mL do filtrado foram pipetados em tubos de ensaio com rosca e 5mL de solução de TBA 0,02M foram adicionados. Os tubos foram fechados, agitados e colocados em banho-maria fervente por 40 minutos para o desenvolvimento de cor. Decorrido o tempo de reação, os tubos foram imediatamente resfriados em banho de gelo e a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 532nm. Foi preparada uma prova em branco com 5mL de TCA 10% e 5mL de TBA, tratados da mesma forma que os demais tubos. Os valores de TBARs foram calculados utilizando-se a curva padrão determinada (Figura 1) e expressos em µg de malonaldeído (MDA) por g de carne.

A determinação da oxidação lipídica foi realizada em duplicata nos dias 6º, 13º, 20º e 27º de armazenamento.

4.9 Delineamento Experimental

O experimento constou de um fatorial 4 X 2 com 4 níveis de dose de radiação (0, 1.5, 2.5 e 3.5) e 2 condições de embalagem (vácuo e aeróbica), avaliados em 8 períodos de armazenamento (6, 13, 20, 27, 34, 41, 48, 55 dias) para as análises microbiológicas e em 4 períodos de armazenamento (6, 13, 20 e 27 dias) para as determinações de cor e oxidação lipídica. Foram realizadas 2 repetições do experimento.

4.10 Análise Estatística

Os dados referentes às análises microbiológicas, expressos em UFC.g^{-1} foram transformados em unidades logarítmicas ($\log (\text{UFC.g}^{-1})$) antes da análise estatística.

Os resultados obtidos nos dias 6^o, 13^o, 20^o e 27^o de armazenamento foram analisados através de análise de variância utilizando-se o módulo ANOVA do software Statistica 6.0. A comparação de médias para diferenciar os tratamentos foi realizada pelo teste de Duncan ao nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Redução/Eliminação de *Salmonella* Typhimurium

Na Tabela 1 observa-se que apenas a dose de radiação influenciou a redução de *Salmonella* Typhimurium no 2º dia de armazenamento. Essa redução foi diretamente proporcional à dose, até o limite de 2.5kGy (Figura 2 e Tabela 2). A redução dose-dependente de *Salmonella* Typhimurium também foi verificada por Mahrour et al., (1998) e Spoto et al., (2000), em carne de frango. A injúria provocada pela radiação varia em função da dose aplicada, pois tanto as reações diretas como indiretas entre a radiação ionizante e os componentes celulares ocorrem numa relação diretamente proporcional à quantidade de energia que é absorvida (KIM & TAHYER, 1996; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1999).

O resfriamento teve efeito sobre a redução (Tabela 2) de *S. Typhimurium* na contagem inicial da amostra controle, que foi cerca de 5 log(UFC.g⁻¹). A injúria provocada pelo frio diminuiu a velocidade das reações metabólicas do microrganismo, inibindo ou retardando o seu crescimento (JAY, 1992), por outro lado favorecendo o crescimento de microrganismos psicrótróficos na competição bacteriana.

Tabela 1 - Síntese da análise de variância das contagens de *Salmonella* Typhimurium em carne bovina moída durante o armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 2		Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	p	GL	GL	p	GL	p	GL	p	GL	p
Dose	3	0,000*	3	0,000*	3	0,000*	3	0,002*	3	0,001*
Embalagem	1	0,441	1	0,632	1	0,730	1	0,392	1	0,726
Dose x Embalagem	3	0,573	3	0,965	3	0,850	3	0,867	3	0,650

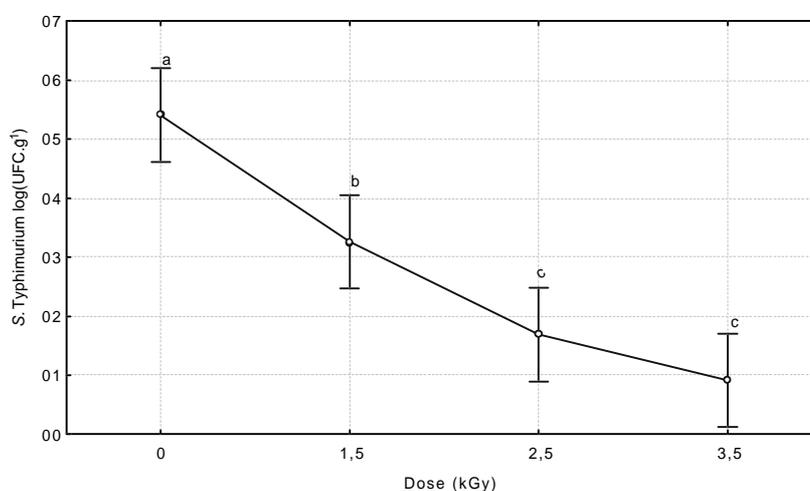


Figura 2 - Redução da contagem de *Salmonella* Typhimurium em função da dose de radiação.

*Médias com mesma letra não diferem entre si.

Tabela 2 - Contagens médias de *Salmonella* Typhimurium em carne bovina moída sob diferentes doses de radiação em função do tempo de armazenamento refrigerado*.

Dose (kGy)	S. Typhimurium log (UFC.g ⁻¹)				
	Dia 2	Dia 6	Dia 13	Dia 20	Dia 27
0	5,41±0,17 A	4,63±0,02 A	4,57±0,18 A	4,77±0,40 A	4,22±0,38 A
1.5	3,26±0,22 B	3,06±0,28 B	2,67±0,22 B	1,69±0,63 B	1,60±0,36 B
2.5	1,69±0,49 C	2,09±0,39 B	1,88±0,37 B	1,41±0,55 B	1,05±0,61 B
3.5	0,91 ±0,43 C	0,39±0,22 C	0,15±0,00 C	0,00±0,00 B	0,00±0,00 B

* Médias na mesma coluna com letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

Não foi verificado efeito significativo da embalagem na redução inicial de *Salmonella* nas amostras de carne bovina moída, ou na sua multiplicação durante o armazenamento (Tabelas 1 e 2), como foi relatado para amostras de carne inoculadas com espécies de *Salmonella* (Thayer & Boyd, 1991a; Thayer et al., 1990). Similarmente, nenhum efeito do oxigênio foi relatado sobre *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*, *Y. enterocolítica* e *E. coli* O157:H7 quando irradiadas em carne inoculada (THAYER & BOYD, 1992;1993; FU et al., 1995). No entanto, alguns autores relatam maior sensibilidade dos microrganismos à radiação na presença de oxigênio. Este último aumenta o efeito indireto da radiação unindo-se a radicais e impedindo a combinação dos mesmos, bem como a dimerização (URBAIN, 1986; THAYER & BOYD, 1999). Entretanto, para Thayer & Boyd et al.(1993) qualquer efeito do oxigênio teria sido mascarado pelo volume, muito maior, de massa cárnea. Os resultados diferiram dos obtidos por Thayer & Boyd, (1999), que verificaram maior eliminação de *Listeria monocytogenes* na presença de oxigênio, em carne de peru moída irradiada. Patterson (1988), por outro lado, verificou menor resistência à radiação de *E. coli* e *Salmonella* Typhimurium, em carne embalada a vácuo.

As reduções obtidas no segundo dia de armazenamento, aplicando-se as doses de 1.5, 2.5 e 3.5kGy foram de 2,2; 3,7 e 4,5 unidades logarítmicas respectivamente, com relação às amostras não irradiadas (Figura 3). Esse resultado está de acordo com o encontrado por Liciardello et al. (1970) citado por Thayer & Boyd (1991a) que encontraram uma redução 2 e 4 unidades logarítmicas de *S. Typhimurium* por grama em carne mecanicamente desossada de frango irradiada a 1.5 e 3.0kGy respectivamente; e por Clavero et al. (1994) que observaram uma redução de 3 ciclos logarítmicos de *Salmonella* na dose de 2.5kGy em carne bovina moída. Também Thayer & Boyd (1991a) predisseram a inativação de 3 e 5 log UFC de *Salmonella* Typhimurium em carne mecanicamente desossada irradiada a 1.5 e 3.0kGy, respectivamente.

A dose máxima empregada, 3.5kGy não foi suficiente para eliminar *Salmonella* das amostras, corroborando os resultados de Hanis et al. (1989) que apontam doses maiores que 5kGy para eliminar 6 log UFC de *Salmonella*

Typhimurium em peitos de frango cru. No entanto, Chung *et al.* (2000) verificaram que irradiação de bifes de carne bovina a 8°C com doses de 1.5 kGy são suficientes para eliminar *Salmonella* Typhimurium previamente inoculada na concentração de 6 log (UFC.g⁻¹).

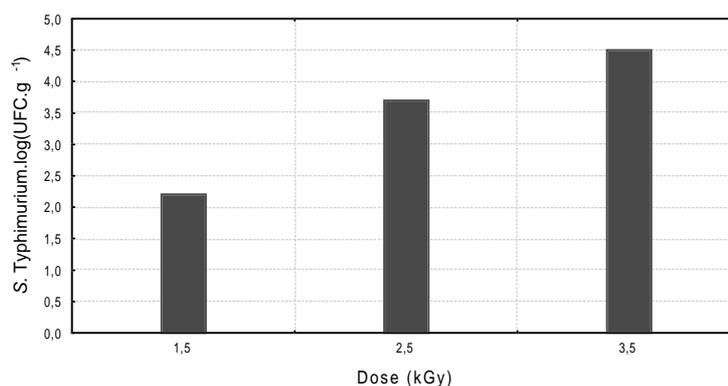


Figura 3 - Redução da contagem de *S. Typhimurium* provocada por diferentes doses de radiação no segundo dia de armazenamento.

A aplicação da dose de 2.5kGy é suficiente para inativar *Salmonella* em carne bovina moída refrigerada, visto que este microrganismo é naturalmente encontrado em contagens menores do que 10³ UFC em carne bovina moída (CLAVERO *et al.*,1994). Outros autores, dentre os quais: Lescano *et al.* (1991) citado por Abu-Tarboush et al (1997), Lamuka *et al.* (1992) e Abu-Tarboush *et al.* (1997) também demonstraram que a dose de 2.5kGy é apropriada para inativar *Salmonella* presente em frango.

As amostras não irradiadas apresentaram atividade bacteriana em todos os períodos de armazenamento sob refrigeração (Figura 4). Nas amostras irradiadas, a resistência de *Salmonella* Typhimurium à radiação diminuiu com o aumento da dose e do período de armazenamento sob refrigeração (Figura 4), verificando-se interação entre a radiação gama e o frio na redução de *Salmonella* Typhimurium. Resultados similares foram encontrados por Spoto *et al.*(2000) em peito de frango resfriado irradiado. Há uma interação do frio e da radiação decorrente da maior

susceptibilidade ao estresse ambiental, dos microrganismos sobreviventes a doses subletais de radiação (SANTOS, 1997; FARKAS, 1998; OUATTARA *et al.*, 2002b).

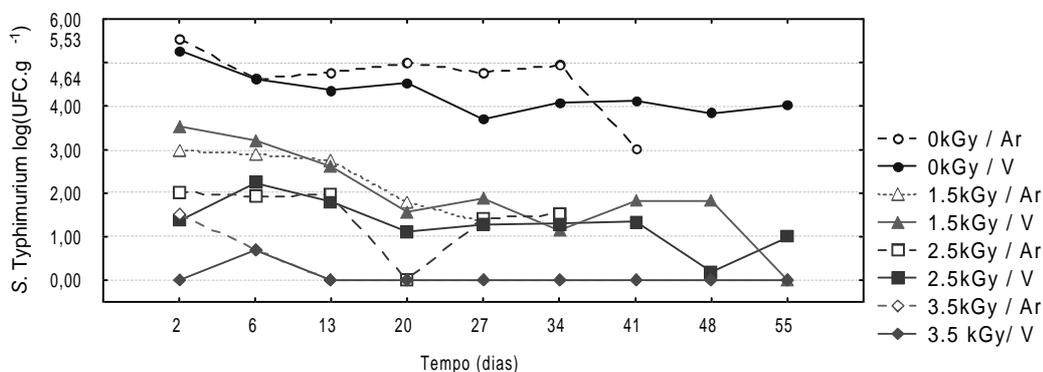


Figura 4 - Contagem de *Salmonella Typhimurium* em função do tempo em carne bovina moída sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

A inibição do crescimento de *Salmonella*, nas amostras de carne bovina moída irradiadas a 3.5kGy, aerobicamente embaladas, foi observada no 13º dia de armazenamento. Similarmente, aplicando uma dose de 4kGy, Spoto *et al.* (2000) obtiveram a inibição do crescimento de *Salmonella Typhimurium* a partir de 7 dias de armazenamento em peito de frango moído previamente inoculado com 7 unidades logarítmicas.

Observa-se que a dose desempenha um efeito bastante importante na redução de *Salmonella* no início do armazenamento. Ao longo do armazenamento, no entanto, a redução provocada pelas diferentes doses aproxima-se, não se observando diferença significativa na redução obtida com as diferentes doses a partir do 20º dia de armazenamento (Tabela 3). Quando baixas doses de radiação são utilizadas, a irradiação pode não causar a morte celular imediatamente, mas pode provocar alterações nos componentes celulares que levarão à inativação posterior, explicando a redução das contagens observada durante o armazenamento.

A dose de 2.5kGy possibilita a redução mínima de *Salmonella* considerada necessária em carne bovina moída, 3 unidades logarítmicas, entretanto, a dose de 3.5kGy, provocou uma maior redução de *Salmonella* Typhimurium, bem como uma injúria maior das células sobreviventes, garantindo maior margem de segurança para o produto durante o armazenamento.

Tabela 3 - Contagens de *Salmonella Typhimurium* em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

D*	E**	<i>Salmonella Typhimurium</i> log(UFC.g ⁻¹)									
		Tempo (dias)									
		2	6	13	20	27	34	41	48	55	
0	Ar	5,53±0,33 a	4,64±0,05 b	4,77±0,04b	5,01±0,31 ab	4,75±0,01 b	4,95±0,10 ab	3,01±0,06 c	-	-	-
0	V	5,28±0,20 a	4,63±0,02 a	4,37±0,33a	4,54±0,87 a	3,69±0,57 a	4,08±0,68 a	4,12±0,85 a	3,83±0,87 a	4,02±0,60 a	
1.5	Ar	2,98±0,36 ca	2,91±0,45 ca	2,74±0,16a	1,81±1,21 a	1,32±0,72 a	-	-	-	-	-
1.5	V	3,54±0,11a	3,21±0,47 a	2,61±0,51ab	1,57±0,97 ab	1,88±0,35 ab	1,14±0,54 ab	1,82±1,21 ab	1,82±1,21 ab	AND b	
2.5	Ar	2,01±0,80 a	1,95±0,75 a	1,97±0,63a	AND a	1,13±1,13 a	1,53±0,73 a	-	-	-	-
2.5	V	1,37±0,77 a	2,23±0,55 a	1,80±0,65a	1,12±0,52 a	0,97±0,97 a	1,30±0,70 a	1,35±0,75 a	0,19±0,59 a	0,99±0,39 a	
3.5	Ar	1,52±0,52 ea	0,39±0,39 b	AND b	AND b	AND b	AND b	AND b	AND b	AND b	
3.5	V	0,30±0,30 a	0,39±0,39 a	0,30±0,30a	AND a	AND a					

* Dose de radiação (kGy); ** embalagem: aeróbica ou vácuo. AND: abaixo do nível de detecção. Letras minúsculas iguais indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre amostras da mesma linha.

5.2 Redução da Carga Bacteriana

As contagens de microrganismos mesófilos das amostras nos 55 dias de armazenamento são apresentadas na Tabela 4. Através da análise de variância (Tabela 5), constatou-se que nas duas primeiras semanas de armazenamento, a embalagem não influenciou de forma significativa ($p \leq 0,05$) a carga microbiana das amostras, influenciando no armazenamento subsequente.

A dose de radiação apresentou efeito significativo na redução das contagens ($p \leq 0,05$) em todos períodos analisados, exceto no 6º dia de armazenamento, em que o valor de p ficou muito próximo a 0,05 (0,055), realizando-se igualmente teste de comparação de médias neste período (Tabela 6).

Tabela 5 - Síntese da análise de variância das contagens de microrganismos mesófilos em carne bovina moída durante o armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	GL	p	GL	p	GL	p	GL	p
Dose	3	0,055	3	0,02*	3	0,007*	3	0,001*
Embalagem	1	0,826	1	0,150	1	0,025*	1	0,003*
Dose x Embalagem	3	0,701	3	0,786	3	0,821	3	0,585

*: efeitos significativos ao nível de 5%.

Tabela 4 - Contagens de microrganismos mesófilos em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

D*	E**	Contagem de Microrganismos Mesófilos log(UFC.g ⁻¹)									
		Tempo (dias)									
		6	13	20	27	34	41	48	55		
0	Ar	6,01±0,03 ab	5,79±0,42 a	6,97±0,57 abc	6,97±0,36 abc	7,65±0,10 c	7,05±0,08bc	-	-	-	-
0	V	5,20±0,05 a	5,25±0,47 ca	4,82±0,06 a	5,11±0,22 a	5,68±0,14 a	7,19±1,57 a	6,80±1,58 a	5,97±0,29a		
1.5	Ar	4,71±0,87 a	3,84±0,01 a	4,97±1,04 a	6,27±0,26 b	-	-	-	-	-	-
1.5	V	3,79±0,47 a	3,82±0,55 a	3,70±0,25 a	4,26±0,61ab	4,74±0,18 ab	5,50±0,18 b	5,33±0,31b	4,89±0,03ab		
2.5	Ar	3,50±1,04 a	3,93±1,31 a	4,70±1,42 a	5,26±0,28 a	6,11±0,33a	-	-	-	-	-
2.5	V	4,04±1,58 a	2,76±0,14 a	3,92±0,85 a	4,00±0,94 a	4,24±0,34 a	4,46±0,24 a	5,01±0,25 ab	4,76±0,45a		
3.5	Ar	2,43±0,33 c	2,37±0,18 c	2,99±0,01 c	3,04±0,45 c	3,51±0,03 bc	5,33±0,92a	4,51±0,05 ab	4,86±0,35ab		
3.5	V	3,07±1,06 abc	1,45±0,54 d	1,53±0,11 cd	2,09±0,45 bcd	3,52±0,21 ab	3,69±0,03a	4,22±0,09 a	4,15±0,06a		

*Dose de radiação (kGy); ** embalagem: aeróbica ou vácuo. Letras minúsculas iguais indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre amostras na mesma linha.

Tabela 6 - Contagens médias de mesófilos em carne bovina moída em função do armazenamento refrigerado nas diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Variável	Contagem de Microrganismos Mesófilos Log (UFC.g ⁻¹)			
	Dia 6	Dia 13	Dia 20	Dia 27
<i>Dose (kGy)</i>				
0	5,60 ± 0,23 A	5,52 ± 0,30 A	5,89 ± 0,67 A	6,04 ± 0,56 A
1.5	4,25 ± 0,48 A	3,83 ± 0,22 B	4,33 ± 0,57 A	5,26 ± 0,64 AB
2.5	3,77 ± 0,79 A	3,34 ± 0,64 B	4,31 ± 0,71 A	4,48 ± 0,47 B
3.5	2,75 ± 0,49 B	1,91 ± 0,35 C	2,26 ± 0,42 B	2,56 ± 0,38 C
<i>Embalagem</i>				
Aeróbica	4,16 ± 0,57	3,98 ± 0,53	4,91 ± 0,64 A	5,31 ± 0,58 A
Vácuo	4,02 ± 0,47	3,32 ± 0,56	3,49 ± 0,49 B	3,86 ± 0,48 B

* Médias na mesma coluna com letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

A radiação provocou uma redução na contagem de mesófilos em relação às amostras não irradiadas, independente da embalagem empregada (Tabela 6). Esse resultado está de acordo com o encontrado por Ouattara *et al.*, (2002b) e Giroux *et al.*, (2001) em carne bovina moída irradiada e por outros autores em carne irradiada (MATTISON *et al.*, 1986; RODRÍGUEZ *et al.*, 1993; ABU-TARBOUSH *et al.*, 1997; CHUNG *et al.*, 2000; GOMES & SILVA, 2002). Os microrganismos deteriorantes comumente encontrados em carne fresca apresentam baixa resistência à radiação gama, obtendo-se reduções importantes com doses relativamente baixas (URBAIN, 1986; HANIS *et al.*, 1989; RODRÍGUEZ *et al.*, 1993; CHUNG *et al.*, 2000; OUATTARA *et al.*, 2002a).

Quando as amostras foram irradiadas a 3.5kGy observou-se uma maior redução da carga de mesófilos do que a 1.5kGy (Tabela 6). Ouattara *et al.* (2002b) também verificaram uma redução dose-dependente em carne bovina moída irradiada a 1, 2 e 3kGy. Outros autores, dentre os quais: Klinger *et al.* (1986) citado por Abu-Tarboush *et al.* (1997); Mahrouf *et al.* (1998) e Spoto *et al.*, (1999)

observaram o mesmo fenômeno em carne de frango. Reações diretas e indiretas entre a radiação ionizante e os componentes celulares ocorrem numa relação diretamente proporcional à dose absorvida, resultando em maior inativação celular quando doses maiores são aplicadas (KIM & TAHYER, 1996; BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 1999).

As reduções obtidas na carne bovina moída com as doses de 1.5, 2.5 e 3.5kGy em relação à amostra não irradiada, no sexto dia de armazenamento, foram 1,3, 1,8 e 2,8 unidades logarítmicas (Tabela 6). Esse resultado é semelhante ao encontrado por Spoto *et al.* (1999), em frango irradiado a 2 e 4kGy, resultando numa redução de 1,87 e 3 unidades logarítmicas aos 7 dias de armazenamento. No entanto, Fu *et al.* (1995) obtiveram uma redução da microbiota de 3 unidades logarítmicas ao irradiar carne bovina moída a 2kGy. Provavelmente, a maior redução encontrada por esse último autor deve-se a diferentes níveis de contaminação inicial e composição da microbiota.

Todas as doses aplicadas provocaram redução da microbiota, no entanto, apenas a dose de 3.5kGy provocou redução significativa em relação às amostras não irradiadas, em todos os períodos analisados (Tabela 6). Esta também foi a dose que induziu maior redução da microbiota mesofílica.

A embalagem não influenciou significativamente as contagens de mesófilos no 6º e 13º dia de armazenamento, passando a apresentar efeito no 20º e 27º dias, quando as amostras embaladas aerobicamente demonstraram um maior crescimento bacteriano do que aquelas sob vácuo (Tabelas 5 e 6). Este resultado está de acordo com os obtidos por Thayer & Boyd (1991a), em coxa de frango irradiada, que não observaram efeito da embalagem (ar ou vácuo) na redução das contagens de mesófilos, logo após a irradiação e com os de Fu *et al.* (1995) em carne bovina moída armazenada por até 10 dias. Mas contrariam os resultados encontrados por Lacroix *et al.* (2000; 2002) que verificaram maior resistência dos microrganismos à radiação em lombo de porco embalado a vácuo, confirmando a

maior sensibilidade dos microrganismos à radiação na presença de oxigênio preconizada pela literatura.

Nas amostras embaladas a vácuo não se verificou crescimento da microbiota mesofílica até o 27º dia de armazenamento, enquanto que, nas aerobicamente embaladas observou-se aumento das contagens de microrganismos mesófilos a partir do 20º dia de armazenamento (Figuras 5 e 6; Tabelas 4 e 6). O aumento da fase lag dos microrganismos mesófilos pela injúria provocada pela irradiação também foi observada por outros autores, em carne de frango e bovina (ABU-TARBOUSH *et al.*, 1997; CHUNG *et al.*, 2000). Para microrganismos psicrotróficos, em carne bovina moída irradiada a 2kGy, houve um aumento da fase lag de cerca de 8 a 15 dias (RODRÍGUEZ *et al.*, 1993). O aumento da fase lag verificado neste experimento foi um pouco maior do que o observado pelo último autor mencionado, o que pode ser atribuído ao efeito do frio sobre os microrganismos mesófilos, diminuindo a velocidade das reações metabólicas.

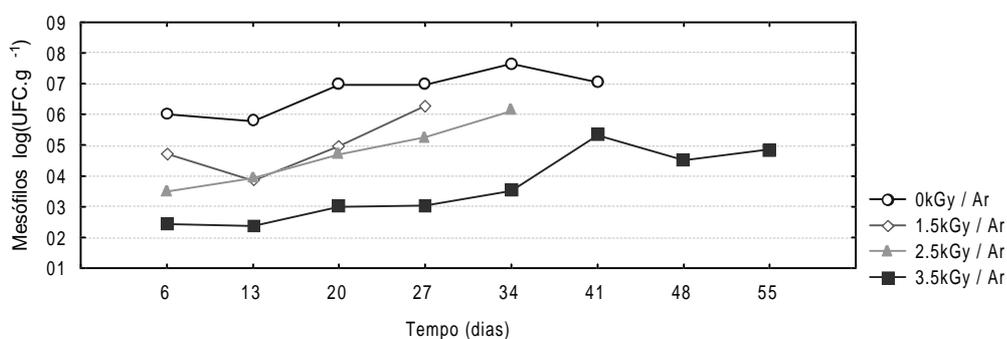


Figura 5 - Contagens de mesófilos em carne bovina moída aerobicamente embalada em função do tempo de armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação gama.

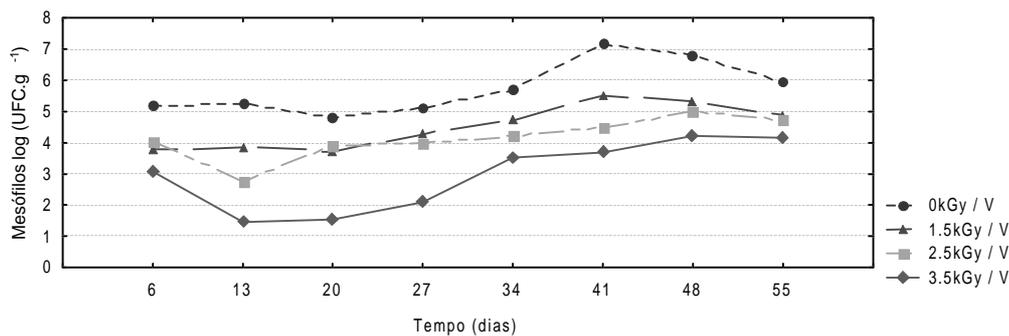


Figura 6 - Contagens de mesófilos em carne bovina moída embalada a vácuo em função do tempo de armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação gama.

Sob ambas condições de embalagem verificou-se um aumento das contagens de mesófilos até o 41º dia de armazenamento. No entanto, a uma dose de 3.5kGy, as amostras embaladas a vácuo apresentaram uma contagem menor (4 unidades logarítmicas) do que as aerobicamente embaladas (5 unidades logarítmicas). Ouattara *et al.* (2002b) também verificaram aumento da população microbiana em carne bovina moída irradiada a 1, 2 e 3kGy. Em carne de frango, similarmente, Spoto *et al.* (1999), observaram aumento na população microbiana de amostras irradiadas a 2kGy durante o período de 28 dias de armazenamento. A radiação provoca várias alterações químicas nos componentes das células bacterianas, incluindo (i) efeito em processos de síntese, particularmente síntese de DNA e RNA; (ii) alterações da membrana celular, o que altera a transferência de compostos nutricionais críticos; e (iii) afeta o metabolismo energético através da redução da fosforilação (OUATTARA *et al.*, 2002b). Entretanto, as doses de radiação usadas neste experimento (1.5, 2.5 e 3.5kGy) correspondem a um tratamento de radurização, não provocando a inativação celular, mas proporcionando alterações, cuja duração depende de sua intensidade e da capacidade do microrganismo para reparar danos, a qual depende da dose aplicada. Conseqüentemente, a contagem de microrganismos mesófilos aumentou durante o armazenamento.

Na Figura 7, observa-se que a radiação provocou um retardo dose-dependente no crescimento da microbiota mesofílica na carne bovina moída aerobicamente embalada, aumentando o período de armazenamento até o limite de

deterioração. Embora não tenha havido interação entre a irradiação e a embalagem, o efeito da irradiação somado ao efeito da embalagem a vácuo, reduziu o crescimento bacteriano de forma que ao final dos 55 dias de armazenamento, as amostras ainda não haviam atingido o limite de deterioração, o que sugere que a vida útil da carne bovina moída pode ser estendida pelo uso da irradiação a vácuo, como também foi observado por Fu *et al.* (1995) e Murano *et al.* (1998).

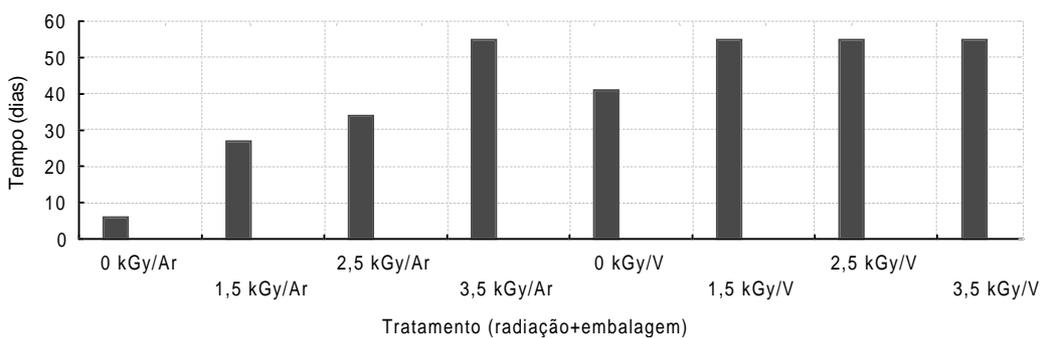


Figura 7 - Tempo de armazenamento para atingir o limite de deterioração ($6 \log \text{UFC.g}^{-1}$) sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

5.3. Efeito na Oxidação Lipídica -TBARs

No sexto dia de armazenamento, somente a embalagem influenciou significativamente os níveis das substâncias reativas com o ácido-tiobarbitúrico (TBARs), enquanto que, no armazenamento subsequente, tanto a embalagem como a dose de radiação, influenciaram de forma significativa a oxidação lipídica de carne bovina moída refrigerada (Tabela 7).

Tabela 7 - Síntese da análise de variância dos valores de TBARs em carne bovina moída durante armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	GL	p	GL	P	GL	P	GL	P
Dose	3	0,124	3	0,000*	3	0,009*	3	0,024*
Embalagem	1	0,044*	1	0,017*	1	0,049*	1	0,000*
Dose x Embalagem	3	0,173	3	0,711	3	0,779	3	0,192

*: efeitos significativos ao nível de 5%.

As amostras irradiadas apresentaram maiores valores de TBARs que as amostras não irradiadas (Tabelas 8, 9). Este fato é bem evidenciado no sexto dia de armazenamento, quando se observam níveis de TBARs em torno de 4 nas amostras irradiadas, aproximadamente o dobro dos níveis das não irradiadas. Esse resultado é coerente com os de Fu *et al.* (1995), Kusmider *et al.* (2002) e Ahn & Nam (2004) em carne bovina moída e com os resultados de Byun *et al.* (2002) e Du *et al.* (2001b) em carne bovina moída cozida após 7 dias de armazenamento. Outros autores também verificaram maior oxidação logo após a irradiação em carne e produtos cárneos: Gomes & Silva (2002) em CMS, Du *et al.* (2002) em frango, Jo & Du (2000) em salsicha de porco, Ahn & Jo, (2004) em carne de porco e Nam & Ahn, (2003b) em carne de porco moída. Os radicais livres gerados pela radiação podem iniciar e alimentar o processo de autooxidação acelerando a oxidação lipídica. Contrariamente, Murano *et al.* (1998), Matisson *et al.* (1986), Lepebe *et al.* (1990) citados por Rodríguez *et al.* (1993) e Hampson *et al.* (1996) não verificaram aumento

da oxidação lipídica com a radiação em carne bovina moída, em lombos de porco e em carne bovina, suína, ovina, de frango e de peru, respectivamente.

Na dose de 3.5kGy, observa-se um aumento na oxidação lipídica em comparação com amostras irradiadas a 1.5 e 2.5kGy, somente nos dias 13 e 20, não havendo diferença significativa entre as doses nos demais períodos avaliados. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Jo & Ahn (2000), em salsichas de porco e por Ahn & Jo (2004) em carne de porco, após 8 e 7 dias de armazenamento respectivamente. Também Ahn & Nam (2004) não verificaram diferença significativa nos valores de TBARs em carne bovina moída irradiada a 1.5 e 3.0kGy, logo após a irradiação. Por outro lado, os resultados obtidos neste experimento são contrários aos obtidos por Ouattara *et al.* (2002b) e Lambert *et al.* (1992), que em carne bovina moída e em carne suína observaram aumento da oxidação lipídica com a dose de irradiação. No entanto, Kusmider *et al.* (2002) não verificaram diferença significativa entre o nível de oxidação de carne bovina moída irradiada a 2 e 4.5kGy quando embaladas a vácuo, mas verificaram diferença significativa quando aerobicamente embaladas. Porém, Fu *et al.* (1995) não encontraram aumentos significativos de TBARs com o incremento da dose de radiação em carne bovina moída aerobicamente embalada. Acelera-se a oxidação lipídica com o aumento da dose de radiação, devido à maior quantidade de radicais livres gerada, principalmente na presença de oxigênio. Entretanto, os demais componentes do alimento (proteínas, carboidratos, água, etc) competem pelos radicais livres, podendo fazer com que o efeito da radiação gama sobre a oxidação lipídica não seja dose-dependente, particularmente quando há pouca diferença entre as doses empregadas.

Tabela 8 - Valores de TBARs em carne bovina moída refrigerada em função do tempo de armazenamento sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

D*	E**	Malonaldeído ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
		Tempo (dias)			
		6	13	20	27
0	Ar	1,13 \pm 0,39 a	2,84 \pm 0,68 ab	6,88 \pm 0,98 bc	8,87 \pm 2,20 c
0	V	2,35 \pm 0,03 a	1,65 \pm 0,16 b	3,93 \pm 0,05 c	3,11 \pm 0,06 d
1.5	Ar	5,80 \pm 0,77 a	6,53 \pm 1,21 ac	10,38 \pm 0,52b	11,33 \pm 0,27 bc
1.5	V	2,02 \pm 0,67 a	4,13 \pm 0,60 ab	7,02 \pm 1,23 bc	8,28 \pm 0,56 c
2.5	Ar	5,64 \pm 2,65 a	7,14 \pm 0,40 ab	9,15 \pm 0,21 ab	11,18 \pm 1,91b
2.5	V	3,21 \pm 0,12 a	5,21 \pm 1,22 ac	8,12 \pm 1,55 b	7,58 \pm 0,88 bc
3.5	Ar	4,40 \pm 0,30 a	10,48 \pm 0,27 b	12,57 \pm 1,08 b	11,63 \pm 0,83b
3.5	V	2,49 \pm 0,09 a	9,70 \pm 0,66 b	11,17 \pm 2,80 c	6,60 \pm 0,85 d

* Dose de radiação (kGy); ** embalagem: vácuo e aeróbica. Médias com minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

Tabela 9 - Médias dos valores de TBARs em carne bovina moída em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Variável	Malonaldeído ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	Dia 6	Dia 13	Dia 20	Dia 27
<i>Dose (kGy)</i>				
0	1,74 \pm 0,39	2,24 \pm 0,45 A	5,41 \pm 0,94 A	5,99 \pm 1,89 A
1.5	3,91 \pm 1,17	5,33 \pm 0,89 B	8,70 \pm 1,11 B	9,15 \pm 0,70 B
2.5	4,43 \pm 1,29	6,17 \pm 0,76 B	8,63 \pm 0,71 B	9,96 \pm 1,45 B
3.5	3,45 \pm 0,57	10,09 \pm 0,37C	11,87 \pm 1,29 C	8,84 \pm 1,88 B
<i>Embalagem</i>				
Aeróbica	4,24 \pm 0,88 A	6,75 \pm 1,06 A	9,75 \pm 0,83 A	10,71 \pm 0,72 A
Vácuo	2,52 \pm 0,21 B	5,17 \pm 1,14 B	7,56 \pm 1,17 B	6,06 \pm 0,80 B

* Médias na mesma coluna com letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

O uso da embalagem a vácuo provocou uma redução da oxidação lipídica tanto nas amostras irradiadas como não irradiadas. A maior estabilidade oxidativa da carne embalada a vácuo, durante o armazenamento refrigerado, independente da dose de radiação, também foi observada por outros autores (FU *et al.*, 1995; LUCHSINGER *et al.*, 1996; MURANO *et al.*, 1998; DU *et al.*, 2000; DU *et al.*, 2002; KUSMIDER *et al.*, 2002; NAM & AHN, 2003a; NAM & AHN, 2003b). A irradiação na presença de oxigênio acelera a oxidação de lipídeos por uma das três reações possíveis: (i) formação de radicais livres, os quais se combinam com o oxigênio para formar hidroperóxidos; (ii) quebra de hidroperóxidos; ou (iii) destruição de antioxidantes (NAWAR *et al.* (1985) citados por LUCHSINGER *et al.* (1996); URBAIN, 1986; OUATTARA *et al.*, 2002b; KUSMIDER *et al.*, 2002). A exclusão de oxigênio da embalagem diminui a formação de hidroperóxidos, reduzindo a oxidação lipídica, entretanto grandes quantidades de radicais hidroxila e hidretos ainda são formados.

Durante o armazenamento, observa-se que as amostras embaladas a vácuo apresentaram um aumento no valor de TBARs até o 20º dia, quando foi atingido o nível máximo de oxidação, enquanto que nas amostras embaladas sob condições aeróbicas a oxidação evoluiu durante todo armazenamento (Figuras 8 e 9). Vários autores relataram o aumento do nível de TBARS no armazenamento de carne bovina moída (OUATTARA *et al.*, 2002b; KUSMIDER *et al.*, 2002; AHN & NAM, 2004) e em carnes de outras espécies irradiadas (MATTISON *et al.*, 1986; KANATT *et al.*, 1998; AHN & JO, 1999; JO & AHN, 2000; DU *et al.*, 2001; BUYN *et al.*, 2002; OUATTARA *et al.*, 2002b; TORRES *et al.*, 2002; NAM & AHN, 2003a; NAM & AHN, 2003b). As amostras não irradiadas embaladas a vácuo, no entanto, apresentaram somente um pequeno aumento nos valores de TBARs, quando comparadas com as amostras irradiadas.

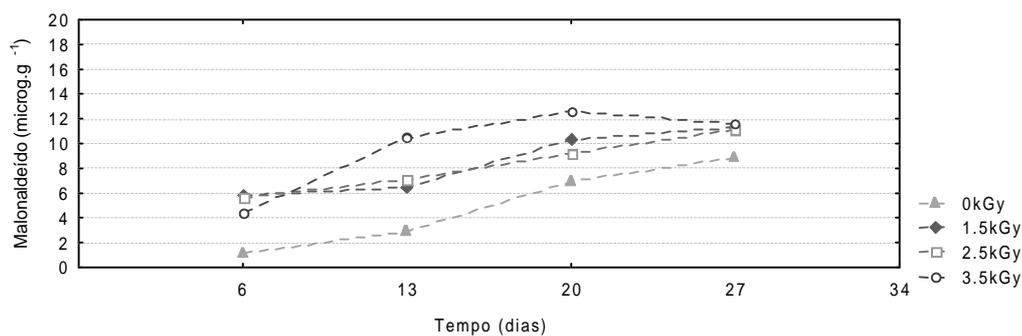


Figura 8 - Níveis de TBARS em função do tempo de armazenamento em carne bovina moída embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação gama.

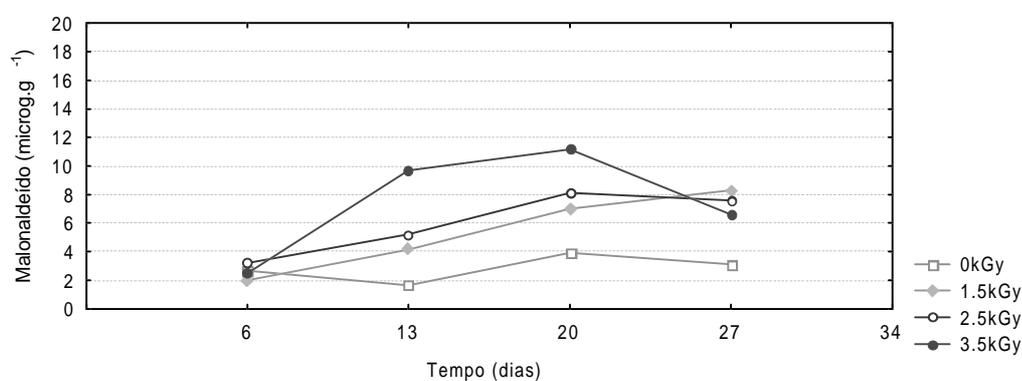


Figura 9 - Níveis de TBARS em função do tempo de armazenamento em carne bovina moída embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação gama.

A degradação da estrutura muscular e a incorporação de oxigênio durante o processo de moagem da carne aliados ao efeito da irradiação potencializam a oxidação lipídica da carne bovina moída (DU *et al.*, 2002). O emprego de vácuo pode reduzir significativamente a oxidação lipídica em carne bovina moída, embora os níveis de oxidação atingidos nas amostras irradiadas tenham sido elevados mesmo a uma dose de 1.5kGy. A adição de antioxidantes a carne bovina moída, como tocoferol e sesamol sugeridos por Ahn & Nam (2004), poderia aumentar sua estabilidade oxidativa, permitindo o uso de doses de cerca de 3.5kGy sem detrimento da qualidade oxidativa.

5.4 Efeito na Cor

5.4.1 Valor a^*

A partir da análise de variância (Tabela 10), verificou-se que tanto a dose de radiação como a embalagem influenciaram os valores de a^* da carne bovina moída nos diferentes períodos de armazenamento. A embalagem isoladamente foi importante em todos os períodos analisados, enquanto que a dose somente nos dias 20 e 27. A interação dose X embalagem só não foi importante no 20º dia de armazenamento.

Tabela 10 - Síntese da análise de variância dos valores de a^* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	GL	p	GL	p	GL	p	GL	p
Dose	3	0,360	3	0,110	3	0,000*	3	0,000*
Embalagem	1	0,000*	1	0,000*	1	0,000*	1	0,000*
Dose x Embalagem	3	0,005*	3	0,007*	3	0,415	3	0,003*

*: efeitos significativos ao nível de 5%.

Constatou-se que o emprego de vácuo levou a uma maior retenção da coloração vermelha, visto que as amostras embaladas a vácuo apresentaram maiores valores de a^* do que as embaladas sob condições aeróbicas, independentemente de haverem sido irradiadas, durante todo armazenamento (Tabela 11). Resultado similar foi encontrado por Nam & Ahn (2002) em carne de peru irradiada. No entanto, contraria os resultados encontrados por Kusmider *et al.* (2002), para os quais não houve efeito da embalagem em carne bovina moída refrigerada armazenada por 28 dias.

Nas amostras aerobicamente embaladas, o valor de a^* das amostras irradiadas só diferiram significativamente das não irradiadas a partir do 20^o dia de armazenamento, quando foram menores nas irradiadas. Similarmente, Fu et al. (1995) não encontraram diferença significativa entre bifés de carne bovina não irradiados e irradiados a 1.5kGy em 10 dias de armazenamento. A descoloração de a^* em carne bovina moída e em carne bovina embalada aerobicamente foi observada por vários autores (GIROUX et al., 2001; KUSMIDER et al., 2002; MONTGOMERY et al., 2003; AHN & NAM, 2004; WIEGAND et al., 2001; NANKE et al. 1998; RICHARDS & MORRISON (1971) citados por KUSMIDER et al.,2002; MILLAR et al., 2000b).

Nas amostras embaladas a vácuo as amostras irradiadas apresentaram maior descoloração em todos os períodos analisados, quando comparadas com o controle. Esse resultado está de acordo com os de Kusmider et al. (2002) em carne bovina moída e Nanke et al. (1998) em carne bovina. Nanke et al. (1998) verificaram através de espectro de refletância que a radiação induziu a formação de oximioglobina e metamioglobina em carne bovina embalada a vácuo. A maior formação de metamioglobina pode ser responsável pela redução no valor de a^* .

O valor de a^* das amostras diminuiu com o armazenamento, em ambas condições de embalagem, tanto nas amostras irradiadas como não irradiadas, sendo a redução menor nestas últimas (Figuras 10 e 11, Tabela 11). Esse resultado está de acordo com o encontrado por Ahn & Nam (2004) e Giroux et al. (2001) durante 7 dias de armazenamento de carne bovina moída aerobicamente embalada, mas discorda dos de Millar et al. (2000b) que não observaram alteração no valor de a^* em carne bovina durante 7 dias de armazenamento. O armazenamento de carne vermelha resulta na oxidação da oximioglobina ou outro pigmento similar formado na irradiação, em metamioglobina, provocando uma diminuição no valor de a^* (MILLAR et al., 2000a). A carne bovina moída em especial, por apresentar uma maior área superficial, bem como maior quantidade de oxigênio aprisionado na massa, é mais susceptível à oxidação da mioglobina que outras formas de comercialização da

carne, sendo esperado que apresente menor estabilidade da coloração vermelha durante o armazenamento.

Tabela 11 - Valores de a^* em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

		a^*			
		<u>Tempo (dias)</u>			
D*	E**	6	13	20	27
0	Ar	12,83 ± 1,11Aa	10,78 ± 0,09 Ab	12,71 ± 0,50 Cda	10,51 ± 0,17 Bb
0	V	17,48 ± 0,43 Ba	16,35 ± 0,49 Ba	16,15 ± 0,26 Ea	14,66 ± 0,57Db
1.5	Ar	13,56 ± 0,36 Aa	10,36 ± 0,23 Ab	10,68 ± 0,62 Bb	10,38 ± 0,53 Bb
1.5	V	15,03 ± 0,39 Cab	15,52 ± 0,49 Ba	14,18 ± 0,52 Db	12,00 ± 0,14Cc
2.5	Ar	13,76 ± 0,24 Aa	10,87 ± 0,30 Ab	9,87 ± 0,23 Abc	8,82 ± 0,28 Ad
2.5	V	15,10 ± ,48 Ca	15,27 ± 0,24 Ba	12,77 ± 0,55 Cb	10,54 ± 0,25 Bc
3.5	Ar	14,46 ± 0,32 Aa	11,17 ± 0,49 Ab	8,75 ± 0,16 A c	8,42 ± 0,11 Ac
3.5	V	15,25 ± 0,37 Ca	14,17 ± 0,23 Cb	12,48 ± 0,15 Cc	11,32 ± 0,32 BCd

* Dose de radiação (kGy); ** embalagem: vácuo ou aeróbica. Médias com minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

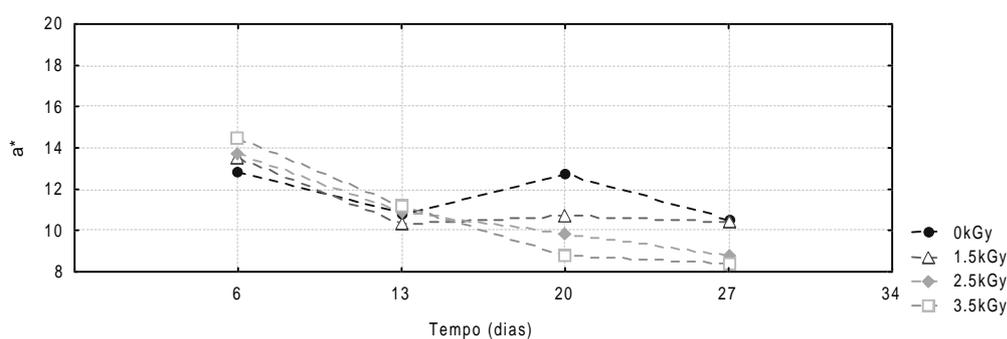


Figura 10 - Valores de a^* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação.

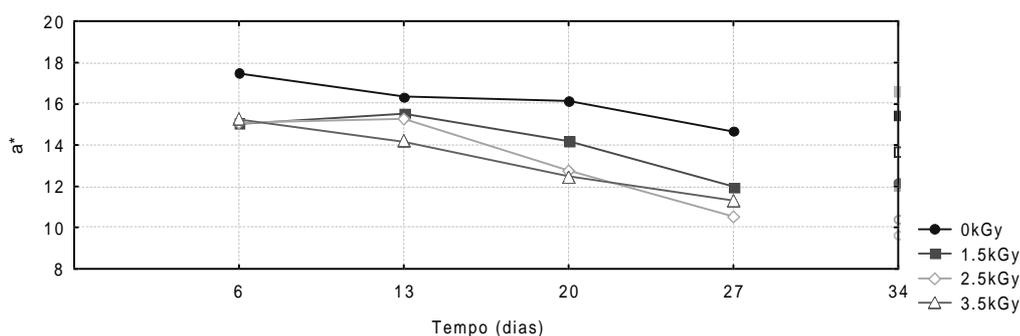


Figura 11 - Valores de a^* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação .

Dentre as amostras embaladas a vácuo, a dose 3.5kGy provocou diminuição significativa de a^* em relação ao controle em todos os períodos analisados, sendo que as irradiadas a 2.5 e 3.5kGy diferiram entre si de forma significativa somente no 13º dia de armazenamento (Tabela 11). Entretanto, Nanke *et al.* (1998) relataram que redução de a^* foi dose dependente em carne bovina irradiada embalada a vácuo, verificando-se uma diminuição nos valores de a^* com aumento da dose de radiação. Nas amostras embaladas aerobicamente (Tabela 11), os valores de a^* sofreram influência significativa da radiação somente a partir do 20º dia de armazenamento, não se verificando, entretanto, diferença significativa entre os valores de a^* das amostras irradiadas a 2.5 e 3.5kGy. Kusmider *et al.* (2002) também não observaram diferença significativa nos valores de a^* das amostras irradiadas a 2 e 4.5kGy, independentemente de terem sido embaladas sob vácuo ou aerobicamente. Entretanto, Lefebvre *et al.* (1994) notaram diferenças discerníveis de cor em carne bovina moída exposta a várias doses de radiação gama (1.0, 2.5 e 5.0kGy).

A irradiação a 1.5kGy provoca menor efeito redutor nos valores de a^* que doses de 2.5 e 3.5kGy, mas não se observa diferença significativa entre a redução de a^* provocada por essas duas doses.

5.4.2 Valor b^*

Verificou-se que a embalagem foi o fator que apresentou maior influência no valor de b^* , sendo seu efeito significativo durante todo armazenamento (Tabela 12). A radiação influenciou significativamente o valor de b^* somente no sexto dia de armazenamento, enquanto que seu efeito combinado com a embalagem foi importante no sexto e vigésimo sétimo dia de armazenamento. Os resultados para valor b^* durante o armazenamento estão na Tabela 13.

Tabela 12 - Síntese da análise de variância dos valores de b^* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	GL	p	GL	p	GL	p	GL	p
Dose	3	0,023*	3	0,122	3	0,637	3	0,085
Embalagem	1	0,000*	1	0,000*	1	0,000*	1	0,000*
Dose x Embalagem	3	0,046*	3	0,311	3	0,604	3	0,016*

*: efeitos significativos ao nível de 5%.

Os valores de b^* foram mais altos na presença de oxigênio, tanto nas amostras irradiadas como não irradiadas, durante todo armazenamento. Esse resultado é confirmado pelo encontrado por Bagorogoza *et al.* (2001) em peito de peru. No entanto, Kusmider *et al.* (2002) observaram que a carne bovina moída não irradiada aerobicamente embalada apresentou valores de b^* mais altos, comparada com a embalada sob vácuo, apenas até o 7º dia de armazenamento, quando passaram a não diferir significativamente até o 28º dia armazenamento.

Não houve diferença significativa entre os valores de b^* das amostras irradiadas a 3.5kGy e não irradiadas, durante o armazenamento. Esse resultado confirma o encontrado por Bagorogoza *et al.* (2001) em peito de peru e por Millar *et*

al. (2000a) em carne de ganso. Contrariamente, os resultados encontrados, Montgomery *et al.* (2000), Wiegand *et al.* (2001), Kusmider *et al.* (2002) e Giroux *et al.* (2001) apontam uma diminuição do valor de b^* em função da radiação.

Tabela 13 - Valores de b^* em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

		b^*			
		<u>Tempo (dias)</u>			
D*	E**	6	13	20	27
0	Ar	4,68 ± 0,61 CDa	6,03 ± 0,26 BCab	5,59 ± 0,23 Aa	7,17 ± 0,58 Db
0	V	0,49 ± 0,17 Ba	1,98 ± 0,28 Ab	3,50 ± 0,17 Bc	3,00 ± 0,27 ABc
1.5	Ar	4,20 ± 0,26 C a	6,61 ± 0,24 Cb	6,02 ± 0,46 Ab	5,61 ± 0,42Cb
1.5	V	-0,87 ± 0,25 Aa	2,75 ± 0,20 Ab	3,81 ± 0,45 Bc	2,75 ± 0,25 Ab
2.5	Ar	5,60 ± 0,60 D a	6,06 ± 0,25 BCa	6,33 ± 0,43 Aa	5,71 ± 0,16 Ca
2.5	V	-0,94 ± 0,33 A a	2,35 ± 0,40 Ab	3,34 ± 0,22 Bbc	4,06 ± 0,35 Bc
3.5	Ar	5,46 ± 0,35 Da	5,69 ± 0,22 Ba	5,82 ± 0,55 Aa	6,31 ± 0,14 CDa
3.5	V	0,41 ± 0,32 B a	2,66 ± 0,34 Ab	3,25 ± 0,11 Bb	3,45 ± 0,43 ABb

* Dose de radiação; ** embalagem: vácuo e aeróbica. Médias com minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

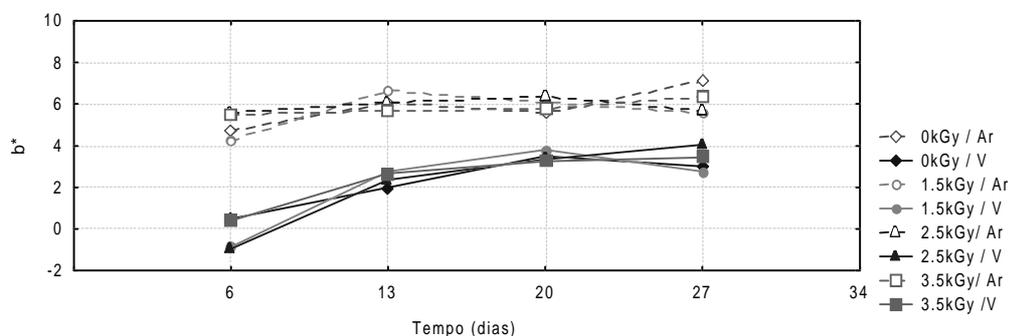


Figura 12 - Valores de b^* em função do tempo de armazenamento refrigerado em carne bovina moída embalada aerobicamente e a vácuo sob diferentes doses de radiação.

Os valores de b^* aumentaram durante o armazenamento, tanto no vácuo como sob condições aeróbicas (Figura 12). O aumento de b^* durante o armazenamento também foi verificado por Kusmider *et al.* (2002) em carne bovina moída, Nanke *et al.* (1998) em carne bovina, e Bagorogoza *et al.* (2001) em peito de peru. O aumento no valor de b^* no armazenamento pode ser atribuído em parte ao aumento da oxidação, e em parte ao crescimento bacteriano (BAGOROGOZA *et al.*, 2001), justificando os maiores valores de b^* nas amostras embaladas aerobicamente.

5.4.3 Valor L^*

A partir da análise de variância (Tabela 14) dos resultados para valor de L^* na carne bovina moída (Tabela 15), verificou-se que embalagem, dose de radiação, ou sua combinação não influenciaram de forma significativa o valor de L^* no armazenamento de carne bovina moída. Apenas no 27º dia de armazenamento, observou-se efeito significativo da embalagem no valor de L^* , com menores valores nas amostras embaladas a vácuo. No entanto, Kusmider *et al.* (2002) encontraram menores valores de L^* em carne bovina moída embalada a vácuo durante 28 dias de armazenamento.

Outros autores também verificaram que a radiação apresentou influência significativa nos valores de L^* em vários tipos de carne: Millar *et al.* (2000b), em carne bovina; Millar *et al.* (2000a) e Du *et al.* (2002), em coxa e peito de frango, Millar *et al.* (2000a) em peito de peru e em carne suína durante 7 dias de armazenamento. Kusmider *et al.* (2002), no entanto, não observaram efeito da radiação em carne bovina moída sob vácuo, mas somente sob condições aeróbicas, durante 7 dias de armazenamento, como também foi constatado por Montgomery *et al.* (2000).

Tabela 14 - Síntese da análise de variância dos valores de L* em carne bovina moída refrigerada em função do armazenamento refrigerado sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

Efeito	Dia 6		Dia 13		Dia 20		Dia 27	
	GL	p	GL	p	GL	p	GL	p
Dose	3	0,111	3	0,474	3	0,562	3	0,602
Embalagem	1	0,110	1	0,137	1	0,916	1	0,003*
Dose x Embalagem	3	0,161	3	0,183	3	0,696	3	0,894

*: efeitos significativos ao nível de 5%.

Embora não se tenha verificado diferença significativa entre os valores de L* nas duas embalagens, observou-se uma tendência de aumento dessa variável nas amostras embaladas sob condições aeróbicas após o 20º dia. Nas amostras embaladas a vácuo os valores de L* mantiveram-se constantes durante todo armazenamento, com exceção da amostra não irradiada que apresentou uma tendência a diminuir com o período de armazenamento (Figuras 13 e 14). A redução de L* em carne bovina moída não irradiada durante o armazenamento também foi observada por Giroux *et al.* (2001). A tendência ao aumento do valor de L* foi encontrada por Kusmider *et al.* (2002) durante 28 dias de armazenamento, tanto na embalagem a vácuo como aeróbica.

Tabela 15 - Valores de L em carne bovina moída em função do tempo de armazenamento refrigerado, sob diferentes doses de radiação e condições de embalagem.

D*	E**	L*			
		Tempo (dias)			
		6	13	20	27
0	Ar	42,01 ± 0,66 ab	42,54 ± 0,42 a	40,67 ± 0,31b	43,73 ± 0,70 ABa
0	V	43,56 ± 0,39 a	42,85 ± 0,47 a	40,56 ± 0,32 ab	42,18 ± 0,84 ABb
1.5	Ar	39,93 ± 0,84 a	41,42 ± 0,81 ab	41,34 ± 0,96 ab	43,48 ± 1,18 ABb
1.5	V	42,01 ± 0,21 a	42,89 ± 0,43 a	41,53 ± 0,91 a	41,65 ± 0,25 Aa
2.5	Ar	42,75 ± 1,17 ab	40,83 ± 0,39 a	41,21 ± 0,77 a	44,44 ± 0,92 Bb
2.5	V	41,41 ± 1,16 a	42,65 ± 0,83 a	41,92 ± 1,14 a	42,90 ± 1,18 ABa
3.5	Ar	40,45 ± 0,73 a	42,30 ± 0,81 a	41,90 ± 0,22 a	44,46 ± 0,60 Bb
3.5	V	41,90 ± 0,69 a	41,48 ± 0,75 a	40,89 ± 0,59 a	41,81 ± 0,26 ABa

* Dose de radiação; ** embalagem: vácuo ou aeróbica; Médias com minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

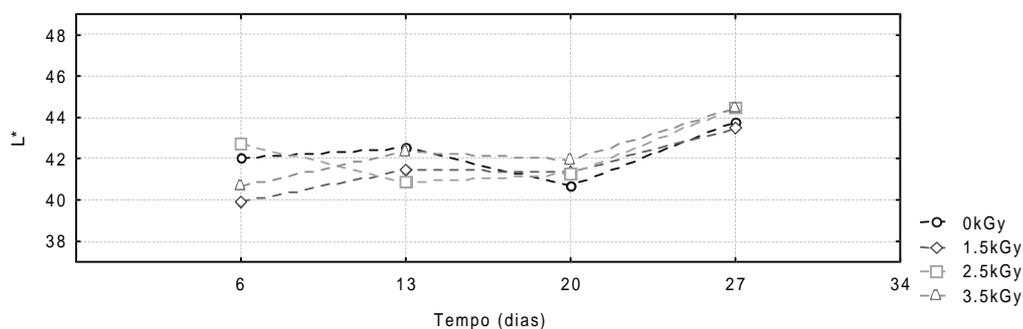


Figura 13 - Valor L* em carne bovina moída, embalada aerobicamente sob diferentes doses de radiação em função do tempo armazenamento.

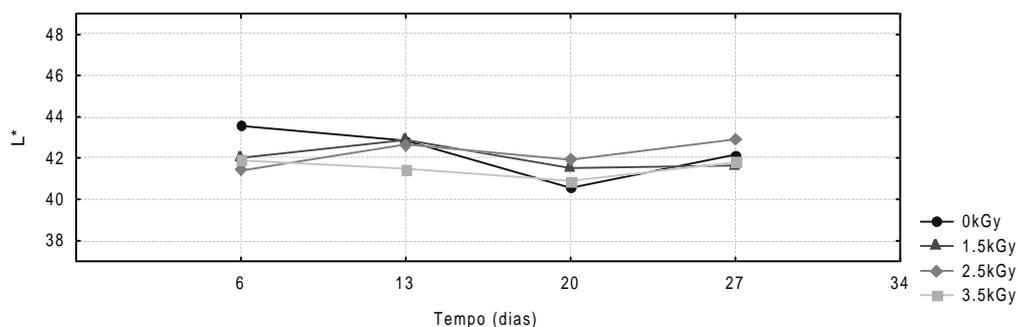


Figura 14 - Valor L* em carne bovina moída, embalada a vácuo sob diferentes doses de radiação em função do tempo armazenamento.

6 CONCLUSÕES

A radiação provoca uma redução dose-dependente na contagem de *Salmonella* Typhimurium em carne bovina moída, independentemente da presença de oxigênio.

Há uma interação da radiação e do armazenamento refrigerado na redução da contagem de *Salmonella* Typhimurium em carne bovina moída.

A radiação provoca uma redução dose-dependente da microbiota, obtendo-se uma maior redução de seu crescimento sob vácuo.

Aumentos da dose de radiação e do tempo de armazenamento provocam maior oxidação lipídica na carne bovina moída, principalmente na presença de oxigênio.

A radiação, a presença de oxigênio e o armazenamento refrigerado provocam a redução da cor vermelha da carne bovina moída.

Há maior retenção de coloração vermelha com o emprego de vácuo em carne bovina moída irradiada.

7 REFERÊNCIAS

ABU-TARBOUSH, H.M., AL KAHTANI, H.A.; ATIA, M.; ABOU-ARAB, A.; BAJABER, A.D.; EL-MOJADDIDI, M.A. Sensory and microbial quality of chicken as affected by irradiation and postirradiation storage at 4.0°C, **J. Food. Prot.**, v.60, n.7, p.761-770, 1997.

AHN, D.U. Meat irradiation and meat safety: Prevention of quality changes in irradiated meat and meat products. **Braz. J. Food. Tech.- Special Issue: 49th International Congress of Meat Science and Technology**, p. 81-90, 2003.

AHN, D.U.; JO, C. Lipid oxidation, volatiles, and off-odor production of aerobic-packaged pork patties irradiated and stored in refrigerated or frozen conditions disponível em: <www.extension.iastate.edu/ipic/reports/99swinereports/asl-1710.pdf> acessado em: 15 de fev de 2004.

AHN, D.U.; JO, C.; DU, M.; OLSON, D.G.; NAM, K. C. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions. **Meat Sci.**, v.56, n.2, 203-209, 2000.

AHN, D.U. & NAM, K.C. Effects of ascorbic acid and antioxidants on color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. **Iowa State University Animal Industry Report 2004**, disponível em <<http://www.iowabeefcenter.org/pdfs/BRR/R1857.pdf>> acessado em 17 de fev de 2004.

AHN, D.U.; NAM, K. C.; DU, M.; JO, C. Effect of irradiation and packaging conditions after cooking on the formation of cholesterol and lipid oxidation of cholesterol and lipid products in meats during storage. **Meat Sci.**, v.57, 413-418, 2001.

AHN, D.U.; KAWAMOTO, C.; WOLFE, F.H.; SIM, J.S. Dietary alpha-linolenic acid and mixed tocopherols, and packaging influence lipid stability in broiler chicken breast and leg muscle tissue. **J. Food Sci.**, v.60, p.1013-1018, 1995.

ANDREWS, L.S.; GRODNER, R.M. Radiosensitivity of *Listeria monocytogenes* using split dose application of gamma irradiation, **J. Food Prot.**, v.60, n,3, p.262-266, 1997.

ANVISA. Regulamento técnico para a irradiação de alimentos, - RDC Nº21, 26 de Janeiro de 2001, **Diário Oficial**, 29/01/2001.

ARNOLD, R.N.; SCHELLER, K.K.; ARP, S.C.; WILLIAMS, S.N.; BUEGE, D.R.; SCHAEFER, D.M. Effect of long- or short-term feeding of alfa-tocopheryl acetate to holstein and crossbred steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability, **J. Anim. Sci.**, v.70, p.3055-30-65, 1992.

BAGOROGOZA, K.; BOWERS, J.; OKOT-KOTBER, M. The effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the quality of intact chill-stored turkey breast. **J. Food. Sci.**, v.66, n. 2, p.367-372, 2001.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; POTHAKAMURY, U.R.; PALOU, E.; SWANSON, B.G. **Conservación no térmica de alimentos**. Zaragoza(Espanha): Editora Acribia, 1999.

BHIDE, M.R.; PATURKAR, A.M.; SHERIKAR, A.T.; WASKAR, V.S. Presensitization of microorganisms by acid treatments to low dose gamma irradiation with special reference to *Bacillus cereus*. **Meat Sci.**, v.58, p.253-258, 2001.

BRITO, M.S.; VILLAVICENCIO, A.L.C.H.; MANCINI-FILHO, J. Effects of irradiation on *trans* fatty acids formation in ground beef. **Radiat. Phy. Chem.**, v. 63, p. 337-240, 2002.

BROMBERG, R.; YAMADA, E.A.; MIYAGUSKU, L. Occurrence of *Salmonella* in meat and meat products in Brazil, **46th International Congress of Meat Science and Technology**, Buenos Aires. p. 516-517, 2000.

BYUN, M-W.; LEE, J-W.; YOON, H-S.; LEE, K-H; KIM, H-Y. Improvement of shelf stability and processing properties of meat products by gamma irradiation, **Rad. Phys Chem.**, v.63, p.361-364, 2002.

CHIRINOS, R.R.O.; VIZEU, D.M.; DESTRO, M.T.; FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburger by gamma irradiation, **Braz. J. Microbiol.**, v. 33, p. 53-56, 2002.

CHUNG, M-S.; KO, Y-T.; KIM, W-S. Survival of *Pseudomonas fluorescens* after Electrom Beam and Gamma Irradiation of Reprigerated Beef. **J. Food Prot.**, v.63, n.2, p. 162-166, 2000.

CLAVERO, M.R.; MONK, J.D.; BEUCHAT, L.R.; DOYLE, M.P.; BRACKETT, R.E.. Inactivation of *Escherichia coli* O157:O7, *Salmonella* and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma-irradiation. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.60, n.6, p.2069-2075, 1994.

CRAWFORD, L.M.; RUFF, E.H. A review of the safety of the cold pasteurization through irradiation. **Food Control**, v.7, n.2, p.87-97, 1996.

DELAZARI, I. Emergent pathogens in meat and poultry: Brazil and the world. **46th International Congress of Meat Science and Technology**, Buenos Aires. p. 640, 2000.

DELINCÉE, H. Rapid detection of irradiated frozen hamburger, **Radiat. Phys. Chem.**, v.63, p.443-446, 2002.

DU, M.; NAM, K.C.; HUR, S.J.; ISMAIL, H.; AHN, D.U. Effect of dietary conjugated linoleic acid, irradiation, and packaging conditions on the quality characteristics of raw broiler breast fillets, **Meat Sci.**, v.60, p.9-15, 2002a.

DU, M.; HUR, S.J.; AHN, D.U. Raw meat packaging and storage affect the color and odor of irradiated broiler breast fillets ater cooking, **Meat Sci.**, v.61, p.49-54, 2002b.

DU, M.; HUR, S.J.; NAM, K.C.; ISAIL, H.; AHN, D.U. Volatiles, color, and lipid oxidation of broiler breast fillets irradiated before and after cooking. **Poult. Sci.**, v.80, p.1748-1753, 2001a.

DU, M.; NAM, K.C.; AHN, D.U. Cholesterol and lipid oxidation products in cooked meat as affected by raw-meat packaging and irradiation and by cooked-meat packaging and storage time. **J. Food. Sci.**, v.66, n.9, p.1396-1401, 2001b.

DU, M.; AHN, D.U.; NAM, K.C.; SELL, J.L. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatiles profile, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Sci.**, v.56, p.387-395, 2000

DURANTE, R.W. Food processors requirements met by irradiation processing. **Radiat. Phys. Chem.**, v.63; p.289-294, 2002

FARKAS, J. Irradiation as a method for decontaminating food. **Intern. J. Food. Microbiol.**, v.44, p.189-204, 1998.

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. Ed. Acribia, Zaragoza, Espanha. 1993.

FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, J.A. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food. Chem.**, v.59, n.3, p.345-353, 1997.

FU, A.H.; SEBRANEK, J.G.; MURANO, E.A.. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. **J. Food. Sci.**, v. 60, p. 972-977, 1995.

GILL, C.O.; BADONI, M. Microbiological and organoleptic qualities of vacuum packaged ground beef prepared from pasteurized manufacturing beef. **Int. J. Food. Microbiol.**, v.74, p.111-118, 2002.

GIROUX, M.; OUATTARA, B.; YEFSAH, R.; SMORAGIEWICZ, L.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Combined effect of ascorbic acid and gamma irradiation on microbial and sensorial characteristics of beef patties during refrigerated and storage, **J. Agric. Food Chem.**, v.49, p.919-925, 2001.

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

GOMES, H.A.; SILVA, E.N. Efeito da radiação gama sobre a carne mecanicamente separada de frango refrigerada, determinada pela qualidade microbiológica e oxidação lipídica, **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 18., Porto Alegre: Anais SBCTA, 1 CD-ROM, 2002.

HAMPSON, J.W.; FOX, J.B.; LAKRITZ, L.; THAYER, D.W. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats, **Meat Sci.**, v.42, n.3, p.271-276, 1996.

HANIS, T.; JELEN, P.; KLÍR, P.; MNUKOVÁ, J.; PÉREZ, B.; PESEK, M. Poultry meat irradiation – Effect of temperature on chemical changes and inactivation of microorganisms. **J. Food. Prot.**, v.52, n.1, p.26-29, 1989.

HANSON, W.P.; AHN, D.U.; OLSON, D.G. Effect of tocopherol addition on secondary lipid oxidation products in irradiated ground beef. **46th International Congress of Meat Science and Technology**, Buenos Aires. p. 534-535, 2000.

JAY, J. M. **Microbiología moderna de los alimentos**. 4 ed. Zaragoza: Editorial Acribia S. A., 1992.

JENKINS, R.K.; THAYER, D.W.; HANSEN, T.J. Effect of low-dose gamma-irradiation and post-irradiation cooking and storage on the thiamin content of fresh pork. **J. Food. Sci.**, vol 54, n.6., p.1461-1465, 1989.

JO, C. e AHN, D.U., Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content, **J. Food Sci.**, v.65, n.2, p.270-275, 2000.

KANATT, S.R.; PAUL, P.; D'SOUZA, S.F.; THOMAS, P. Lipid peroxidation in chicken meat during chilled storage as affected by antioxidants combined with low dose gamma irradiation, **J. Food Sci.**, v.63, n.2, p. 198-200, 1998.

KATTA, S.R.; RAO, D.R.; SUNKI, G.R.; CHAWAN, C.B. Effect of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids, v.56, n.2, p.371-372, 1991.

KIM, A. Y.; THAYER, D.W. Mechanism by which gamma irradiation increases the sensitivity of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 to heat. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 62, n.5, p.1759-1763, 1996.

KOSUGI, H. & KIKUGAWA, K. Thiobarbituric acid-reactive substances in chicken fat and unsaturated fatty acids, **J. Food Sci.**, v.50, p.1181-1182, 1985.

KUSMIDER, E.A.; SEBRANEK, J.G.; LONERGAN, S.M.; HONEYMAN, M.S. Effects of carbon monoxide packaging on color and lipid stability of irradiated ground beef. **J. Food. Sci.**, v.67, n.9, p.3463-3468, 2002.

LACROIX, M.; B.; OUATTARA, B., Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products – a review, **Food Research International**, v 33, p. 719-724, 2000.

LACROIX, M.; SMORAGIEWIEZ, W.; JOBIN, M.; LATREILLE, B.; KRZYSTYNIAK, K. The effect of irradiation of fresh pork loins on the protein quality and microbiological changes in aerobically –or vacuum packaged. **Radiat. Phys. Chem.**, v.63, p.317-322, 2002.

LACROIX, M.; SMORAGIEWIEZ, W.; JOBIN, M.; LATREILLE, B.; KRZYSTYNIAK, K. Protein quality and microbiological changes in aerobically –or vacuum packaged, irradiated fresh pork loins. **Meat Sci.**, v.56, p.31-39, 2000.

LAMBERT, A.D.; SMITH, J.P.; DOODS, K.L. Physical, Chemical and sensory changes in fresh pork packaged in modified atmosphere. **J. Food. Sci.**, v.57, p.1294-1299, 1992.

LAMUKA, P.O.; SUNKI, G.B.; CHAWAN, C.B.; RAO, D.R.; SHAKCELFORD, L.A. Bacteriological quality of freshly processed broiler chickens as affected by carcass pretreatment and gamma irradiation. **J. Food Sci.**, v.57, n.2, p.330-332, 1992.

LEFEBVRE, N.; THIBAUT, C.; CHARBONNEAU, R.; PIETTE, J.P.G. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation: chemical analysis and sensory evaluation., **Meat Sci.**, v.36, v.371-380, 1994.

LIU, Y.; FAN, X.; CHEN, Y-R; THAYER, D.W. Changes in structure and color characteristics of irradiated chicken breasts as a function of dosage and storage time. **Meat Sci.**, v.63, p.301-307, 2003.

LOAHARANU, P. Irradiation as a cold pasteurization process of food. **Vet. Parasitol.**, v.64, p. 71-82, 1996.

LUCHSINGER, S.E.; KROPF, D.H.; GARCÍA-ZEPEDA, C.M.; HUNT, M.C.; MARDESEN, J.L.; RUBIO CAÑAS, C.L.; KASTNER, C.L.; KUECKER, W.G.; MATA, T. Color and oxidative rancidity of gamma and electron beam-irradiated boneless pork chops. **J. Food Sci.**, v.61, n.5, p.1000-1004, 1996.

LUTCH, L.; BLAMK, G.; BORSA, J. Recovery of foodborne microorganisms from potentially lethal radiation damage, **J. Food Prot.**, v.61, n.5, p.586-590, 1998.

MAHROUR, A.; LACROIX, M.; NKETSA-TAIBIRI, J.; ALDERON, N.; GAGNON, M. Antimicrobial properties of natural substances in irradiated fresh poultry., **Radiat. Phys. Chem.**, v52, n.1-6, p.81-84, 1998.

MARTINEZ, Y.B.; FERRER, K.; SALAS, E.M. Combined effect of lactic acid and nisin solution in reducing levels of microbiological contamination in red meat carcasses, **J. Food Prot.**, v.65, n.11, p. 1780-1783, 2002.

MATTISON, M.L.; KRAFT, A.A.; OLSON, D.G.; WLAKER, H.W.; RUST, R.E.; JAMES, D.B. Effect of low dose irradiation of pork loins on the microflora, sensory characteristics and fat stability. **J. Food Sci.**, v.51, n.2, p.284-287, 1986

MILLAR, S.J.; MOSS, B.W.; STEVENSON, M.H. The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat, **Meat Sci.**, v.55, p. 361-370, 2000a.

MILLAR, S.J.; MOSS, B.W.; STEVENSON, M.H. The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb, **Meat Sci.**, v.55, p. 349-360, 2000b.

MOLLINS, R.A.; MOTARJEMI, Y.; KÄFERSTEIN, F.K. Irradiation: a critical control point ensuring the microbiological safety of raw foods. **Food Control**, v.12, p.347-356, 2001.

MONK, J.D., BEUCHAT, L.R., DOYLE, M.P. Irradiation inactivation of foodborne microorganisms, **J. Food Prot.**, 1995.

MONTGOMERY, J.L.; PARRISH Jr., F.C.; OLSON, D.G.; DICKSON, J.S., NIEBUHR, S..Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef, v.64, n.4, p.357-363, 2003.

MONTGOMERY, J.L.; PARRISH Jr., F.C.; OLSON, D.G.; .Irradiation and storage effects on aroma and color of raw beef patties in anaerobic or aerobic packaging, **J. Muscle Foods.**, v.11, p.19-33, 2000.

MORANDINI, L.M.B.; DANIEL, A.P.; STAHL, J.A.; TERRA, N.N.; FRIES, L.L.M. Qualidade higiênico-sanitária de carne bovina moída, **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 18., Porto Alegre:Anais SBCTA, 1 CD-ROM, 2002.

MOTTA, M.R.A. & BELMONTE, M.A. Avaliação microbiológica de amostras de carne bovina moída comercializada em supermercados da região oeste de São Paulo. **Higiene Alimentar**, v.11, n.78-79, p 59-62, 2002.

MURANO, P.S.; MURANO, E.A.; OLSON, D.G. Irradiated ground beef: sensory and quality changes during storage under various packaging conditions. **J. Food. Sci.**, v.65, p.548-551, 1998

NAM, K.C.; AHN, D.U. Combination of aerobic and vacuum packaging to control lipid oxidation and off-odor volatile of irradiated raw turkey breast. **Meat Sci.**, v.63, p.389-395, 2003a .

NAM, K.C.; AHN, D.U. Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties. **Meat Sci.**, v.63, p.1-8, 2003b.

NAM, K.C.; AHN, D.U. Carbon monoxide-heme pigment is responsible for the pink color in irradiated raw turkey breast meat., **Meat Sci.**, v.60, p. 25-33, 2002.

NANKE, K.E.; SEBRANEK, J.G.; OLSON, D.G. Color characteristics of irradiated vacuum packed pork, beef and turkey. **J. Food. Sci.**, v.63, p.1001-1006, 1998.

OUATTARA, B.; SABATO, S.F.; LACROIX, M. Use of gamma-irradiation technology in combination with edible coating to produce shelf-stable foods. **Radiat. Phys. Chem.**, v.63, p.305-310, 2002a.

OUATTARA, B.; GIROUX, M.; SMORAGIEWICZ, W.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Combined effect of gamma irradiation, ascorbic acid, and edible coating on the improvement of microbial and biochemical characteristics of ground beef. **J. Food Prot.**, v. 65, n.6, p. 981-987, 2002b.

PATTERSON, M. Sensitivity of bacteria to irradiation on poultry meat under various atmospheres. **Lett. Appl. Microbiol.**, v.7, p.55-58, 1988.

POHLMAN, F.W.; STIVARIUS, M.R.; McELYEA, K.S.; WALDROUP, A.L. Reduction of *E. Coli*, *Salmonella typhimurium*, coliforms, aerobic bacteria, and improvement of ground beef color using trisodium phosphate or cetylpyridinium chloride before grinding. **Meat Sci.**, v. 60, p.349-356, 2002.

RADOMYSKI, T.; MURANO, E. A.; OLSON, D.G.; MURANO, P.S. Elimination of pathogens of significance in food by low-dose gamma radiation: a review. **J. Food Prot.**, v.57, n.1, p.73-86, 1994.

RODRIGUEZ, H.R.; MEICHTRI, L.H.; MARGARÍA, C.A.; PENSEL, N.A., RIVI, A.; MASANA, M.O. Shelf life evaluation of refrigerated vacuum packaged beef kept for extended storage. **46th International Congress of Meat Science and Technology**, Buenos Aires. p. 668-669, 2000.

RODRÍGUEZ, H.R.; LASTA, J.A.; MALLO, R.A.; MARCHEVSKY, N. Low dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf life of aerobically packed fresh beef round, **J. Food. Prot.**, v.56, n.6, p. 505-509, 1993.

ROSMINI, M.R.; PERLO, F.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; PAGÁN-MORENO, M.J., GAGO-GAGO, A., LÓPEZ-SANTOVEÑA, F.; ARANDA-CATALÁ, V. TBA test by an extractive method applied to 'Paté'. **Meat Sci.**, vol 42, n.1, p.103-110, 1996.

SALIH, A.M.; SMITH, D.M.; PRICE, J.F.; DAWSON, L.EE.; Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. **Poult. Ce.**, v.66, p. 1483-1488, 1987.

SANTOS, A.F. Determinação da dose de radiação gama para a destruição de *Salmonella* spp. em carne de frango. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SATIN, M. Use of irradiation for microbial decontamination of meat: situation and perspectives. **Meat Sci.**,v.62, p.277-283, 2002.

SOMMERS, C.H.; FAN, X.; HANDEL, A.P.; SOKORAI, K.B. Effect of citric acid on the radiation resistance of *Listeria monocytogenes* and frankfurter quality factors, **Meat Sci.**, v.63, p. 407-415, 2003.

SPOTO, M.H.F.; GALLO, C.R.;ALCARDE, A.R.; GURGEL, M,S,A,.; BLUMER, L.;WALDER, J.M.M.; DOMARCO, R.E. Gamma irradiation in the control of pathogenic bacteria in refrigerated ground chicken meat. **Sci. Agricola**, v. 57, n.3; p.389-394, 2000.

SPOTO, M.H.F.; GALLO, C.R.; DOMARCO, R.E; ALCARDE, A.R.; WALDER, J.M.M.; BLUMER, L.. Radiação gama na redução da carga microbiana de filés de frango. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**,Campinas, v.19, n.3; p.397-400, 1999.

TAN, W.; SHELEF, L.A. Effects of sodium chloride and lactates on chemical and microbiological changes in refrigerated and frozen fresh ground pork. **Meat Sci.**, v. 62, p. 27-32, 2002.

THAYER D.W. Extending shelf life of poultry and red meat by irradiation processing. **J. Food Prot.**, v.56, n.10, p.831-833, 1993

THAYER, D.W.; BOYD, G. Reduction of normal flora by irradiation and its effect on the ability of *Listeria monocytogenes* to multiply on ground turkey meat stored at 7°C when packaged under a modified atmosphere. **J. Food. Prot.**, v.63, n.12, p.1702-1706, 2000.

THAYER, D.W.; BOYD, G. Irradiation and modified atmosphere packaging for the control of *Listeria monocytogenes* on turkey meat. **J. Food. Prot.**, v.62, n.10, p.1136-1142, 1999.

THAYER, D.W.; BOYD, G.; Comparative studies of the effect of the suspending meat and irradiation temperature on the radiation sensitivity of foodborne. **Radiat. Phys. Chem.** , v.48, n.3, p.369-370, 1996.

THAYER, D. W.; BOYD, G. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.59, n,4, p.1030-1034, 1993.

THAYER, D. W.; BOYD, G. Gamma ray processing to destroy *Staphilococcus aureus* in deboned chicken meat. **J. Food Sci.**, v.57, p.848-851, 1992.

THAYER, D.W.; BOYD, G. Survival of *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 on the surface of chicken legs or in mechanically deboned chicken meat gamma irradiated in air or vacuum at temperatures of -20 a 20°C. **Poultry. Sci.**, v.70, p. 1026-1033, 1991a.

THAYER, D.W.; BOYD, G. Effect of ionizing radiation dose, temprature, and atmosphere on the survival of *Salmonella* Typhimurium in sterile, mechanically deboned chicken meat. **Poultry. Sci.**, v.70, p. 381-388, 1991b.

THAYER, D.W.; BOYD, G.; FOX JR., J.B.; LAKRITZ, L.; HAMPSON, J.W. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associatd with suspending meat. **J. Food Sci.**, v.60, n.1, p.63-67, 1995.

THAYER, D. W.; BOYD, G.; JENKINS, R.K. Low-dose gamma-irradiation and refrigerated storage *in vacuo* affect microbial flora of fresh pork. **J. Food. Sci.**, v.58, n.4, p.717-719, 1993.

THAYER, D.W.; BOYD, G.; MULLER, W.S.;LIPSON, C.A.; HAYNE, W.C.; BAER, S. Radiation resistance of *Salmoenlla*. **J. Ind. Microbiol.**, v.5, p. 373-380, 1990.

THAYER, D. W.; SONGPHRASERCHAI, S. ; BOYD, G. Effects of heat and ionizing radiation on *Salmonella* Typhimurium in mechanically deboned chicken meat. **J. Food Prot.**, v.54, p.718-724, 1991.

TORRES, E. A. F. S.; PINTO E SILVA, M. E. M., ROCCO, S. C.; FERRARI, C.K.B. ; SIQUEIRA, J. O. Antioxidant type, heating method and sausage lipid quality and preference, **Série de working papers – DA -FEAC -USP**, nº 02/15, 2002, obtido em www.ead.fea.usp.br/wpapers, acessado em 15 de fev de 2004.

TROUT, G.R. Biochemistry of lipid and myoglobin oxidation in postmortem muscle and processed meat products – effects on rancidity. **Braz. J. Food. Tech.- Special Issue: 49th International Congress of Meat Science and Technology**, p. 81-90, 2003.

URBAIN, W.M. **Food Irradiation**. Orlando, Fla.Academic Press, 1986. 389 p.

WHEATLEY, R.A. Some recent trends in the analytical chemistry of lipid peroxidation, **Trends in Analytical Chem.**, v.19, n.10, p. 617-628, 2000.

WIEGAND, B.R.; GASSMAN, K.; SWAN, J.B.; PARRISH, F.C.; TRENKLE, A.H.; LARSEN, S.T., Conjugated Linoleic Acid (CLA) in diets of beef steers results in higher red colors scores and lower lipid oxidation of irradiated ground beef patties, **Iowa State University Beef Research Report 2001** , disponível em: <<http://www.extension.iastate.edu/Pages/ansci/beefreports/asl1764.pdf>>, acessado: em 17 de fev de 2004.