

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

**ADRIANA RÉGIA MARQUES DE SOUZA**

**Efeitos da irradiação no aspecto nutricional e químico de carnes**

**PIRACICABA  
2007**

ADRIANA RÉGIA MARQUES DE SOUZA

EFEITOS DA IRRADIAÇÃO NO ASPECTO NUTRICIONAL E QUÍMICO  
DE CARNES

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

Área de Concentração: Energia Nuclear na  
Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Valter Arthur  
Co-orientadora: Profa. Dra. Solange Guidolin  
Canniatti Brazaca

PIRACICABA  
2007

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

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

Souza, Adriana Régia Marques de  
Efeitos da irradiação no aspecto nutricional e químicos de carnes /  
Adriana Régia Marques de Souza; orientador Valter Arthur, co-orientador  
Solange Guidolin Canniatti Brazaca. - - Piracicaba, 2007.  
80 f. : fig.

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

1. Alimentos de origem animal 2. Análise de alimentos 3. Conservação  
de alimentos 4. Irradiação de alimentos I. Título

CDU 664.8.039.5

*O que importa não é **O QUE** você tem na vida, mas **QUEM** você tem.*

À minha mãe Vanda, meu pai Reyres (in memorian) e minha irmã Karla, pessoas especiais

que fizeram de mim o que sou hoje...

Ao meu esposo Adriano (Tereré) e meu filho André Luiz, luzes do meu caminho e

alegria dos meus dias...amo vocês!!!!

De tudo, ficaram três coisas:

A certeza de que estamos sempre começando...

A certeza de que precisamos continuar...

A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...

Portanto devemos:

Fazer da interrupção um caminho novo...

Da queda, um passo de dança...

Do medo, uma escada...

Do sonho, uma ponte...

Da procura, um encontro...

Fernando Pessoa

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma etapa vencida!!!!

Ao Cena, pela oportunidade do curso de doutorado, e a Capes, pela bolsa.

Ao orientador e amigo, Prof. Valter Arthur, pela confiança e estímulo sempre, e a co-orientadora e amiga, Profa. Solange, pelo carinho, amizade e paciência durante todo o curso. Para mim vocês são exemplos de dedicação à pesquisa e ensino.

Aos “assessores” constantes e incansáveis, que sempre me acompanham: minha família.

A laboratorista e amiga Lourdes, por tudo que aprendi dentro e fora do laboratório.

A D.Maria (Maricota para os íntimos), pelas longas horas de conversa, e também pelas boas risadas, durante as quais consegui aprender um pouco mais sobre a vida.

A Débora, laboratorista, que muito me auxiliou nas análises finais.

Ao Fábio, secretário, sempre disposto a ajudar no que fosse preciso.

Ao GEAF, Grupo de Estudos em Alimentos Funcionais, do qual fiz parte, onde descobri que sempre podemos ensinar alguma coisa e aprender várias. A todos os amigos que fiz no grupo, muito obrigado, aprendi muito com vocês.

Aos amigos “*anjos*” Anderson e Taís, pela ajuda constante e preocupação em facilitar muitas coisas para conclusão deste trabalho, sem vocês isso seria bem mais difícil.

Aos colegas de Pós-graduação: Lucimeire, Evelise, Érika, Márcia e Márcio, é sempre bom conviver com pessoas como vocês, que tornam nossos dias mais divertidos e alegres.

A Clarice (Cena) e Carlota (Esalq), pelo auxílio nas análises de cor.

As secretárias do Cena: Neuda, Regina (*in memorian*), Cláudia e Alzira, sempre com sorriso no rosto e dispostas a ajudar.

A estagiária Meylene, pela colaboração na realização das análises de carne de frango e porco.

À família Vieira, família Sugisawa e aos companheiros do Programa de Pós Graduação em Máquinas Agrícolas, vocês são pessoas muito queridas e especiais.

A todos os meus amigos, os de longe e os de perto, os novos e os antigos: compartilhar com vocês esse momento é muito importante...obrigado pela força e por todos os momentos alegres!!!

Enfim, a todos que aqui não foram citados, mas que estão guardados em meu coração, meu muito obrigado!!!

## RESUMO

SOUZA, A.R.M. **Efeitos da irradiação no aspecto nutricional e químico de carnes**. 2007. 80 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2007.

As diferentes técnicas de conservação de alimentos são muito importantes para a extensão da vida de prateleira e oferecimento de produtos alimentícios para a população mundial. Uma dessas técnicas é a irradiação, que além de estender a *shelf life* dos produtos ainda os torna seguros do ponto de vista microbiológico. Com o objetivo de avaliar sua influência na qualidade nutricional e química de carnes, esse trabalho analisou diferentes doses de radiação gama e diferentes cortes cárneos (cordeiro e frango). Estudos sobre o efeito da irradiação e do armazenamento em carnes de frango foram realizados para se conhecer melhor sua influência nos teores de ferro heme, não-heme, cor e pigmentos totais. Foram estudados coxa e filé de peito de frango. Estes foram irradiados a 0, 1 e 2 kGy e armazenados por 14 dias a 4 °C em câmara refrigerada. Os valores de ferro heme e não heme foram influenciados tanto pela irradiação quanto pelo armazenamento, diminuindo e aumentando, respectivamente, seus teores com o passar do tempo. A cor não se mostrou influenciada pelas doses estudadas, somente pela estocagem, e os pigmentos totais foram afetados tanto pela irradiação quanto pelo tempo, diminuindo seus valores com o aumento do tempo de armazenamento. Amostras de carne de cordeiro tratados com diferentes dietas foram irradiadas nas doses 0 (controle), 2 e 4 kGy, e armazenados a 4°C por 15 dias. Os valores de ferro total e ferro heme, colesterol e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram medidos até 15 dias de armazenamento. O armazenamento diminuiu os teores de ferro total e ferro heme. As dietas afetaram os níveis de ferro total e heme da carne, sendo que a dieta com sorgo foi a que apresentou maiores teores. A dose de 2 kGy foi a dose que mais afetou os valores de ferro

independente dos tempos de armazenamento. Foi constatado que os teores de ferro total e heme, variaram em função do tempo de armazenamento, doses de irradiação e das dietas fornecidas aos cordeiros. Os valores de TBARS aumentaram com o armazenamento e com a irradiação, indicando que ambos afetam a oxidação lipídica. As taxas de colesterol diminuíram com o armazenamento, porém aumentaram com a dose de 2 kGy para o segundo tempo de estocagem. A dieta também influenciou nos teores de TBARS e de colesterol da carne de cordeiros. A dieta controle foi a que apresentou valores de TBARS menores, independentemente das doses de radiação e do tempo de armazenamento. O colesterol se mostrou mais influenciável pelo tempo de armazenamento do que pelas doses de radiação e dietas estudadas. De maneira geral a irradiação se mostrou um bom método para manutenção dos valores nutricionais da carne e do colesterol, porém para os valores de TBARS o comportamento encontrado foi semelhante à outras técnicas de conservação.

Palavras-chave: Irradiação. Carnes. Heme. Colesterol. TBARS.

## SUMMARY

SOUZA, A.R.M. **Effects of the irradiation in the nutritional and chemical aspect of meats.** 2007. 80 f. Thesis (Doctoral) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2007.

The different techniques of conservation of foods are very important for the extension of the shelf life and offer of nutritional products for the world population. One of those techniques is the irradiation, that still turns them besides extending the shelf life of the products safe of the point of view microbiologic. With the objective of evaluating influence in the nutritional and chemical quality of meats, that research analyzed different radiation doses and cuts meat (lamb and chicken). Studies on the effect of the irradiation and storage in chicken meats were accomplished to know influence better in the amount of iron heme, no-heme, color and total pigments. They were studied thigh and filet of chicken chest. These were irradiated to 0, 1 and 2 kGy and stored by 14 days to 4 °C in refrigerated. The values of iron heme and no heme were influenced so much by the irradiation as for the storage, decreasing and increasing, respectively, their amount in the several times. The color was not shown influenced by the studied doses, only for the stockpiling, and the total pigments were affected so much for the irradiation as for the time, reducing their values with the increase of the time of storage. Lamb samples treated with different diets were irradiated in the doses 0 (controls), 2 and 4 kGy, and stored to 4°C by 15 days. The values of total iron and iron heme, cholesterol and substances reactivate to the acid tiobarbituric (TBARS) they were measured up to 15 days of storage. The storage reduced the amount of total iron and iron heme. The diets affected the concentration of total and heme iron of the meat, and the diet with sorghum was the one that presented larger concentration. The dose of 2 kGy was the dose that more affected the values of independent iron of the times of storage. It was verified that the amount of total iron and heme, varied in function of the time of storage, irradiation doses and of the diets supplied the

lamb. The values of TBARS increased with the storage and with the irradiation, indicating that both affect the oxidation lipidic. The cholesterol amount decreased with the storage, however they increased with the dose of 2 kGy for the second time of storage. The diet also influenced in the amount of TBARS and of cholesterol of the meat of lambs. The diet control was the one that presented values of smaller TBARS, independently of the radiation doses and of the time of storage. The cholesterol was shown more effect for the time of storage than for the radiation doses and studied diets. In a general way the irradiation a good method was shown for maintenance of the nutritional values of the meat and of the cholesterol, however for the values of TBARS the found behavior was similar to other conservation techniques.

Key words: Irradiation. Meats. Heme. Cholesterol. TBARS.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro heme (mg/100g) de coxa e filé de peito irradiados.....	25
Tabela 2 -	Valores de água adicionados nas análises dos cortes, coxa e filé de peito, irradiados e armazenados.....	25
Tabela 3 -	Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro não-heme de coxa e filé de peito irradiados.....	26
Tabela 4 -	Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de $a^*$ de coxa e filé de peito irradiados.....	29
Tabela 5 -	Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de pigmentos totais de coxa e filé de peito irradiados.....	30
Tabela 6 -	Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro total (mg/100g) da paleta ( <i>Infraspinatus</i> , <i>Triceps brachii</i> , <i>Supraspinatus</i> ) de cordeiros Santa Inês, tratados com diferentes dietas.....	41
Tabela 7 -	Efeito das diferentes dietas nos teores de ferro total (mg/100g) da paleta ( <i>Infraspinatus</i> , <i>Triceps brachii</i> , <i>Supraspinatus</i> ) de cordeiros Santa Inês..	42
Tabela 8 -	Valores de ferro heme (mg/100g) para paleta ( <i>Infraspinatus</i> , <i>Triceps brachii</i> , <i>Supraspinatus</i> ) de cordeiros Santa Inês, tratados com diferentes dietas, doses de irradiação e tempo de armazenagem.....	44
Tabela 9 -	Efeito das diferentes dietas nos teores de ferro heme da paleta ( <i>Infraspinatus</i> , <i>Triceps brachii</i> , <i>Supraspinatus</i> ) de cordeiros Santa Inês..	45
Tabela 10 -	Valores de umidade das paletas irradiadas de cordeiros tratados com diferentes dietas.....	45
Tabela 11 -	Valores de colesterol (mg/100g) encontrados para paleta de cordeiros Santa Inês tratados com diferentes dietas, doses de irradiação e tempo de armazenamento.....	54
Tabela 12 -	Valores de TBARS (mg MDA/kg) encontrados para paleta de cordeiros Santa Inês tratados com diferentes dietas, doses de irradiação e tempo de armazenamento.....	58

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, logo após a irradiação.....	27
Figura 2 - Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, após 7 dias de armazenamento.....	28
Figura 3 - Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, após 14 dias de armazenamento.....	28
Figura 4 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 0 kGy.....	55
Figura 5 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 2 kGy.....	56
Figura 6 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 4 kGy.....	57
Figura 7 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 0 kGy.....	59
Figura 8 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 2 kGy.....	60
Figura 9 - Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 4 kGy.....	60

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Conservação da carne .....	3
2.2 Irradiação de Alimentos .....	4
2.2.1 Irradiação de carnes .....	5
2.2.2 Mudanças na carne relacionadas com a irradiação.....	6
2.2.3 Oxidação Lipídica – TBA.....	6
2.2.4 Capacidade de Retenção de Água - CRA.....	8
2.2.5 Características Nutricionais .....	8
2.2.6 Cor .....	11
2.2.7 Embalagens para irradiação.....	14
<b>3. ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELA IRRADIAÇÃO E ARMAZENAMENTO NOS TEORES DE FERRO HEME EM CARNE DE FRANGO</b> .....	15
<b>3.1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
3.2.1 Análises químicas .....	19
3.2.1.1 Ferro heme e ferro não heme.....	20
3.2.2 Análise Estatística .....	23
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
3.3.1 Ferro heme.....	24
3.3.2 Ferro não-heme.....	26
3.3.3 Cor e pigmentos.....	27
<b>3.4 CONCLUSÃO PARCIAL</b> .....	31

<b>4. EFEITO DA IRRADIAÇÃO E DO ARMAZENAMENTO NA DISPONIBILIDADE DE FERRO EM CARNE DE CORDEIRO TRATADO COM DIFERENTES DIETAS</b>	<b>32</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>34</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
4.2.1. Material	37
4.2.2. Análises de ferro	38
4.2.3. Análise estatística	39
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>40</b>
4.3.1 Ferro total	40
4.3.2 Ferro heme	43
<b>4.4 CONCLUSÃO PARCIAL</b>	<b>46</b>
<b>5. EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA E DO ARMAZENAMENTO NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA E COLESTEROL DE CARNE DE CORDEIROS SANTA INÊS</b>	<b>47</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>49</b>
<b>5.1 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>51</b>
5.2.1 Material	51
5.2.2 Análise colesterol	52
5.2.3 Análise de TBA	52
5.2.4 Análise estatística	53
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>54</b>
5.3.1 Colesterol	54
5.3.2 TBARS	57
<b>5.4 CONCLUSÃO PARCIAL</b>	<b>61</b>
<b>6. CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Vários são os processos existentes para conservação de alimentos. Para conservação das carnes, eram empregadas inicialmente a refrigeração, salga, congelamento e desidratação. Porém, problemas com contaminações microbiológicas não foram totalmente resolvidos por esses processos, necessitando de melhorias nessas tecnologias. A evolução dos métodos de conservação de alimentos foi acelerada pelas guerras, quando novas tecnologias surgiram.

O emprego da irradiação em alimentos se deu nos anos 40, nos Estados Unidos, todavia, esses alimentos não foram comercializados até 1992. No Brasil, até 2000, era permitida a irradiação somente de um pequeno grupo de alimentos, que não incluía a irradiação em carnes. Com a resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, foi aprovado o “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”, legislação essa aplicada a todos os alimentos tratados por irradiação.

O crescimento de microrganismos em carnes, durante o armazenamento refrigerado, ocorre principalmente, no tecido muscular lesado, sendo as contaminações dependentes do tipo de músculo e do pH. Dessa forma, a irradiação de alimentos tem procurado estabelecer doses de radiação que reduzam, significativamente, a carga microbiana sem comprometer a qualidade sensorial e nutricional do produto. Porém, toda a eficiência do processo de irradiação depende da aplicação da dose apropriada a fim de se correlacionar com as análises laboratoriais.

O conhecimento das alterações físico-químicas e nutricionais causadas pela irradiação são muito importantes para a manutenção da qualidade de carnes. Dessa maneira estudos que envolvam esses aspectos são necessários para um maior conhecimento em relação a essas alterações. Tendo em vista a importância da irradiação como método de conservação de

carnes, o objetivo desse trabalho foi determinar a influência deste processo na qualidade físico-química da carne de cordeiros, bem como a disponibilidade de ferro heme e não-heme, e avaliar as alterações de cor em diferentes tipos de carnes (cordeiro e frango).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Conservação da carne**

O processamento da carne começou na antiguidade quando o homem primitivo aprendeu que o sal é um conservante eficiente e que o cozimento prolonga a qualidade da carne fresca. A refrigeração é o método mais empregado na conservação de produtos cárneos, visto que as baixas temperaturas retardam o crescimento microbiano e também as reações químicas que causam deterioração.

A refrigeração e o congelamento são os métodos mais empregados na conservação de produtos cárneos. As baixas temperaturas retardam o crescimento microbiano e também as reações químicas que causam deterioração. Apesar de serem métodos onde as características da carne são mantidas, os processos são bastante custosos e apresentam tempo de ação limitado (SHIMOKOMAKI et al., 2006).

O tratamento térmico, diferentemente da refrigeração, destrói os microrganismos. A pasteurização, utilizando temperaturas de 70 - 100°C, elimina formas vegetativas, e a esterilização, tratamento mais severo, com temperaturas acima de 100°C resulta em produtos comercialmente estéreis. O calor modifica as propriedades organolépticas e nutricionais, modificação esta que é proporcional à intensidade do tratamento térmico.

A desidratação de carne, método usado desde a pré-história, baseia-se na diminuição da atividade de água para níveis que impossibilitam o crescimento dos microrganismos, tornando-a um produto que pode ser conservado à temperatura ambiente.

A irradiação de carne com o intuito de destruir a microbiota e estender a vida útil é reconhecido como técnica de conservação há décadas, apesar de não fazer parte da indústria de alimento. Os números de bactérias deteriorantes, leveduras e bolores são facilmente reduzidos por doses de pasteurização, de maneira que a vida de prateleira deste alimento pode ser aumentada substancialmente. A radiação ionizante penetra no alimento, reduzindo e/ou eliminando o número de microrganismos, sem elevar significativamente a temperatura do produto (FDA, 1999). Portanto, é conhecida como esterilização a frio e pode ser aplicada a uma série de alimentos, incluindo a carne refrigerada ou congelada (SHIMOKOMAKI et al., 2006).

## **2.2 Irradiação de Alimentos**

As necessidades mundiais de alimentos exigem técnicas mais avançadas de processamento e armazenamento, já que são crescentes as perdas advindas da ausência de tecnologias apropriadas. A irradiação de alimentos é capaz de suprir tal demanda, pois preserva os componentes químicos, físicos e sensoriais dos alimentos (SIQUEIRA, 2001).

O uso da radiação ionizante para preservar alimentos foi proposto em 1896 (TAKEGUCHI, 1983). Em 1905, patentes foram registradas nos Estados Unidos e na Grã Bretanha para o uso da irradiação em alimentos. Em 1921 a irradiação foi usada para matar *Trichinae* em carne de suínos (SCHWARTZ, 1921), porém por causa da tecnologia de aceleração de elétrons, o processo foi economicamente impraticável. Os Estados Unidos não consideraram a irradiação de alimentos uma tecnologia viável até a Segunda Guerra Mundial. Em 1980, o Food and Agriculture Organization, a International Atomic Energy Agency e o

World Health Organization (FAO/IAEA/WHO) publicaram “alimentos irradiados com doses até 10 kGy não apresentavam efeitos toxicológicos, nem mudanças nutricionais” (OMS, 1981). O processo de irradiação consiste em submeter os alimentos, já embalados ou a granel, a quantidade controlada dessa radiação, por um tempo prefixado e com objetivos bem determinados. A irradiação pode impedir a multiplicação de microrganismos causadores da deterioração, tais como bactérias e fungos, pela alteração de sua estrutura molecular, e também inibir a maturação de algumas frutas e legumes, através de alterações no processo fisiológico dos tecidos da planta (CENA, 2002).

### **2.2.1 Irradiação de carnes**

A possibilidade de aumento do tempo de armazenamento de carnes pode ocorrer utilizando o processo de irradiação, que pode permitir a centralização do processamento de cortes de carne e promover a substituição da forma tradicional de distribuição de carcaças entre abatedouros e açougues. Estudos de Liu et al. (2003), Du et al. (2000), Nam & Ahn (2002), e Chaijan et al. (2005), têm relatado os efeitos da irradiação na qualidade da carne e também mudanças na coloração relacionadas com a dose, tipo de corte e embalagem. Todavia, alguns destes estudos são bastante discordantes (LIU et al., 2003).

### **2.2.2 Mudanças na carne relacionadas com a irradiação**

O objetivo do emprego do processo de irradiação em carnes é essencialmente a inativação de parasitas e bactérias. Doses de radiação específicas podem ser aplicadas para inativação ou destruição de parasitas, para eliminação de bactérias patogênicas, ou para redução do número de microrganismos para conseguir estender a vida de prateleira do produto (MOLINS, 2001). Porém, a irradiação pode causar alguns efeitos na carne, entre eles: oxidações lipídicas (TBA), alterações na capacidade de retenção de água, na disponibilidade de ferro e alterações na cor.

### **2.2.3 Oxidação Lipídica – TBA**

A oxidação lipídica é uma das principais reações deteriorativas que ocorre durante o processamento, distribuição, armazenamento e preparo final dos alimentos. É responsável pelo desenvolvimento de sabores e odores desagradáveis nos alimentos, tornando-os impróprios para o consumo. Além disso também provoca outras alterações que afetam a qualidade nutricional, a integridade e a segurança dos alimentos, através da formação de compostos potencialmente tóxicos (SOARES, 2002).

Irradiações induzem mudanças químicas oxidativas que são dependentes das doses, e a presença de oxigênio afeta a taxa de oxidação (AHN et al., 1999). Al-Kahtani et al. (1996) entretanto, mostraram que doses de radiação entre 1,5 e 10 kGy, aumentaram os valores de ácido tiobarbitúrico (TBARS).

A irradiação é um método efetivo para controle de microrganismos em carne fresca e isso permite seu uso tanto em carnes de aves quanto em carnes vermelhas. O maior interesse, entretanto, está na qualidade da carne. Irradiações induzem mudanças químicas oxidativas que são dependentes das doses, e a presença de oxigênio afetam a taxa de oxidação (AHN et al., 1999). Al-Kahtani et al. (1996) entretanto, mostraram que doses de radiação entre 1,5 e 10 kGy, aumentaram os valores de ácido tiobarbitúrico (TBARS) e diminuíram os níveis de tocoferol e tiamina em peito de peru e filés de peixes, resultados que indicam que a irradiação acelera a oxidação lipídica em carnes frescas e cozidas.

Hashim et al. (1995) demonstraram que peitos e coxas de frangos crus irradiados produziram um aroma doce característico de sangue que permaneceu nas coxas depois de cozidas, mas não foram detectadas no peito cozido. Sabe-se que os compostos precursores de odores indesejáveis em carnes irradiadas são solúveis em água. Metilmercaptano e dióxido de enxofre formados são controlados por compostos sulfurados (ex. glutatona) contribuindo também para o odor da carne irradiada. Patterson e Stevenson (1995) relataram que dimetiltrisulfeto é o componente mais potente para o odor de “estragado”, e dietas com tocoferol e ácido ascórbico reduziram o desenvolvimento de odores “estragados” em carnes cruas de frangos irradiados. Todavia, Shamsuzzaman et al. (1992) relata que a irradiação não tem nenhum efeito prejudicial no *flavor* de carnes cruas e defumadas embaladas à vácuo, e o tratamento por ionização tem um pequeno efeito no odor e *flavor* de carne pré-cozida (AHN et al., 1999).

Os efeitos da irradiação na carne cozida podem ser bem diferentes da carne crua. Carne cozida é altamente susceptível a oxidação lipídica porque o processo de cozimento desnatura os componentes antioxidantes, causa perdas na estrutura celular, e expõem a membrana lipídica ao ambiente. Porém, a carne crua tem efeitos antioxidantes resistentes, a menos que ocorra desnaturação ou imobilização de seus pró-oxidantes (AHN et al., 1999).

### **2.2.4 Capacidade de Retenção de Água - CRA**

A capacidade de retenção de água (CRA) se define como a capacidade da carne de reter água durante a aplicação de forças, tais como cortes, aquecimento, trituração e prensagem. A retenção de água é importante por diversas razões: importância econômica, a água acumulada na embalagem é pouco atrativa ao consumidor, perdas de peso, palatabilidade e valor nutritivo constituem problemas graves para a indústria, além disso a CRA está ligada a textura da carne (SÁ, 2004).

O decréscimo da CRA de carnes e aves aumenta com o uso do processo de irradiação. A radiação diminui a solubilidade da fração protéica, ou seja, a extratibilidade da proteína diminui linearmente com o aumento da dose de radiação. Significativas reduções na solubilidade das proteínas ocorrem em doses acima de 10 kGy para porco e 50 kGy para carne de boi (MOLINS, 2001).

### **2.2.5 Características Nutricionais**

Diferentemente dos tratamentos térmicos convencionais, que levam a produtos facilmente detectados, a irradiação com doses baixas, considerada como pasteurização a frio, gera poucas mudanças na composição química, sendo essas mudanças, muitas vezes não detectáveis (CRAWFORD; RUFF, 1996).

Estudos feito por Toledo et al. (2001), em frangos irradiados, demonstraram que os teores de gordura, proteínas e minerais não tiveram alterações comparando as amostras

irradiadas com as não irradiadas, porém entre os índices biológicos, a maioria das amostras irradiadas tiveram menor valor que as não irradiadas, tanto frescas como congeladas.

Em termos da composição de aminoácidos, altas doses de radiação como aquelas necessárias para esterilização (25 a 75 kGy) não mudam o conteúdo de cisteína, metionina e triptofano em carnes, apesar desses aminoácidos serem altamente susceptíveis a perdas em outros processos (MOLINS, 2001).

#### **2.2.5.1 Ferro heme e ferro não heme**

O ferro é um elemento essencial para os processos metabólicos como transporte de oxigênio, metabolismo oxidativo e crescimento celular. O ferro está amplamente distribuído em alimentos. Alguns tecidos animais contêm ferro na forma heme, ferritina e hemosiderina (MARTINI, 2002). O ferro pode estar presente nos alimentos de duas formas: a forma heme que é predominantemente encontrada em carnes e vísceras sob a forma de hemoglobina e mioglobina, e a forma não heme que é encontrada em alimentos de origem vegetal (BIANCHI et al., 1992).

Dentre as formas de ferro heme e ferro não heme, sabe-se que parte do ferro presente em carnes (heme) é mais disponível biologicamente, podendo ser assimilado na proporção de aproximadamente 25% do total do ferro presente no alimento (COTRAN et al., 1996), e o não heme a porcentagem de biodisponibilidade vai de 1 a 5% (COOK, 1983).

A mioglobina é uma proteína globular heme localizada nas fibras vermelhas dos músculos. A concentração de mioglobina geralmente depende da espécie, raça, sexo e idade do animal, atividade muscular e tipo de músculo. A mioglobina tem sido conhecida por ser o

maior contribuinte da coloração do músculo e isso depende da sua concentração. A estabilidade da mioglobina afeta a coloração da carne. A hemoglobina é facilmente perdida durante a manipulação e a estocagem, enquanto que a mioglobina é retida pela estruturas intramusculares (CHAIJAN et al., 2005).

O ferro não heme é considerado o mais importante promotor de oxidação de sistemas cárneos e, sabe-se que proporciona formas químicas de ferro de grande importância. O aumento da quantidade de ferro não heme em carnes é considerado um reflexo da diminuição de ferro heme como consequência da quebra da molécula heme durante o cozimento ou estocagem (ESTÉVEZ; CAVA, 2004). As principais fontes de ferro de origem animal são as carnes vermelhas e as vísceras (MARTINEZ et al., 1999).

Como a radiação ionizante pode afetar quimicamente proteínas e alterar a valência de íons metálicos, a mesma pode influenciar a disponibilidade de ferro em alimentos. Isso está relacionado também, com a quantidade de dose a que o alimento foi exposto bem como a presença ou não de oxigênio (BREWER, 2004).

São necessárias pesquisas que esclareçam o efeito de diferentes doses de radiação na disponibilidade de ferro e a associação deste com as alterações na cor. Há relação com a susceptibilidade da mioglobina, pelas alterações químicas envolvidas.

Pesquisas realizadas por Toledo et al. (2003) mostram que tanto para os teores de ferro heme quanto não heme, não ocorreu correlação entre as doses de radiação utilizadas, sendo que houve influência somente entre os tempos de armazenamento.

### 2.2.6 Cor

A cor e o odor são importantes atributos de qualidade que sofrem mudanças com o processo da irradiação. Algumas dessas mudanças são atribuídas à formação de radicais livres e peróxidos, e pela indução de hidrólise das moléculas de água (MOLINS, 2001).

A coloração da carne é atribuída à concentração de pigmentos (mioglobina e hemoglobina), seu estado químico e o brilho da carne (LAWRIE, 2002). A mioglobina é uma metaloproteína composta de globina e ferro contendo o grupo heme. A globina pode estar no estado desnaturado ou não, o átomo de ferro pode estar em vários estados de oxidação, e a porfirina pode estar intacta, oxidada ou polimerizada. A mioglobina tem como função estocar oxigênio necessário para os tecidos. O oxigênio estocado permite ao heme sofrer oxi-redução e reações de transferência de elétrons. Mudanças da coloração da carne fresca irradiada ocorrem pela susceptibilidade inerente à molécula de mioglobina, especialmente o ferro, pelas alterações químicas envolvidas (BREWER, 2004).

O grupo heme das moléculas de mioglobina em estado reduzido (ferroso) ou desoximioglobina (Mb) apresenta a cor púrpura, dentro do músculo e na superfície da carne sob vácuo. Em exposição ao ar, a mioglobina combina com o oxigênio para, ainda em estado reduzido (ferroso), formar a cor vermelho brilhante, oximioglobina (MbO<sub>2</sub>), a qual é indicativa de frescor e um forte atrativo para os consumidores. Com o tempo de contato da mioglobina com o oxigênio, ocorre a formação da sua forma oxidada (férrico) metamioglobina (MetMb), a qual apresenta cor marrom, pouco atrativa (RENERRE, 2000; MIGUEL, 2002).

As mudanças na coloração variam dependendo das espécies e também de alguns fatores intrínsecos e extrínsecos como: pH, animal, sexo e dieta, temperatura, disponibilidade

de oxigênio, tipo de luminosidade, desenvolvimento microbiológico, forma de estocagem ou da combinação entre os fatores (RENERRE, 2000). Carnes de porco e boi irradiadas começam a ficar menos vermelha em função do armazenamento. A vermelhidão em carnes de peru aumenta depois de irradiadas, mas diminuem durante o armazenamento. A cor amarelada em amostras irradiadas, para todas as espécies, aumenta, como resultado da irradiação e estocagem. A avaliação visual da carne de porco e de boi irradiadas, indicam aumento da cor amarronzada (MOLINS, 2001; BREWER, 2004). A aplicação dos tratamentos de irradiação com doses de 5 e 10 kGy aplicados em filés de bacalhau (salgado e seco) não altera os componentes de cor (OLIVEIRA et al., 2004).

Sugere-se que a coloração vermelha produzida pela irradiação na carne crua seja induzida pela formação do pigmento semelhante a oximioglobina. O pigmento vermelho, todavia, não pode ser considerado como pigmento da oximioglobina, porque a coloração vermelha formada pela irradiação tem sido produzida essencialmente em condições anóxicas (NAM; AHN, 2002).

A coloração da carne fresca é determinada pelo estado do ferro heme e pelo sexto ligante da molécula de ferro heme. Algumas condições, podem mudar o estado oxidativo do ferro heme, e a produção de novos compostos gasosos ligantes da carne podem influenciar a coloração. A irradiação de carnes pode diminuir o potencial de oxi-redução e a produção de compostos gasosos que podem atuar no sexto ligante da mioglobina (NAM; AHN, 2002).

Os consumidores utilizam a cor como parâmetro para identificar o frescor e a qualidade dos alimentos e invariavelmente, desejam coloração vermelho-brilhante nos cortes de carne fresca pré-embaladas (VENTURINI, 2003). Normalmente, carnes escuras são associadas, pelo consumidor, a carnes duras, velhas ou oriundas de animais velhos, portanto são rejeitadas. Entretanto, esta relação nem sempre é verdadeira, pois animais abatidos com

pouca reserva de glicogênio não atingem valores de pH suficientemente baixos para produzir colorações normais, independentes de sua idade e maciez (MIGUEL, 2002).

A cor da carne é determinada por dois fatores principais. O primeiro é a concentração e o estado dos pigmentos heme, mioglobina (Mb) e hemoglobina (Hb) e o segundo é a microestrutura do músculo. A diferença de cor entre músculos e muitas das variações entre as espécies são devido aos tipos de fibras musculares presentes. A cor da carne é particularmente dependente do estado químico (estado de oxidação) do ferro dentro do anel porfirínico da mioglobina. O íon ferroso ( $Fe^{+2}$ ) dos heme pigmentos pode aceitar seis elétrons em seu orbital mais externo e formar seis ligações covalentes, quatro com os átomos de nitrogênio dos anéis pirrólicos do grupo heme e uma com a histidina F8, que liga o grupo heme à globina. O sexto elétron está disponível para ligação covalente com o oxigênio molecular responsável pela cor vermelha brilhante da oximioglobina. Essa reação é limitada a uma fina camada superficial que corresponde à profundidade da penetração do oxigênio. Uma vez formada, a oximioglobina é estabilizada por uma estrutura altamente ressonante (LEHNINGER; NELSON; COX, 2002).

Existem vários métodos para medir a cor da carne, entre eles os métodos químicos, que determinam a quantidade de mioglobina por grama de carne; métodos subjetivos nos quais a observação visual é a base, podendo ser feita por um painel sensorial ou através de tabelas de comparação de cor padronizadas; e os métodos instrumentais físicos, feitos com o uso de reflectômetros, espectrocolorímetro e colorímetro.

### **2.2.7 Embalagens para irradiação**

Não existe um regulamento específico informando qual a embalagem deve ser usada ao irradiar produtos alimentícios. Para cada tipo de embalagem existem doses máximas aceitáveis que podem ser empregadas (MOLINS, 2001).

Porém importantes mudanças induzidas pela irradiação podem ocorrer nas carnes e aves devido ao material usado na embalagem. Thayer (1988) estudou o emprego de materiais flexíveis como plásticos de acrílico ou epóxi, celulose e seus derivados, copolímeros de acetato de etileno – vinil, polietileno e poliestireno. Outras embalagens discutidas por alguns autores são vidro e metais. Uma petição tem sido assinada nos Food and Drug Administration (F.D.A.) para extensão da aprovação e do consentimento do uso de material para embalagem de alimentos tratados pela radiação gama pelos similares usados em fontes de radiação (acelerador de elétrons e raios X) (NCFST, 2000).

### **3. ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELA IRRADIAÇÃO E ARMAZENAMENTO NOS TEORES DE FERRO HEME EM CARNE DE FRANGO**

#### **RESUMO**

Estudos sobre o efeito da irradiação e do armazenamento em carnes de frango foram realizados para se conhecer melhor sua influência nos teores de ferro heme, não-heme, cor e pigmentos totais. Foram estudados coxa e filé de peito de frango. Estes foram irradiados a 0 (controle), 1 e 2 kGy e armazenados por 14 dias a 4 °C em câmara refrigerada. A determinação do conteúdo de heme e não-heme de carnes foi realizada através do método colorimétrico, empregando-se o reagente Ferrozine. Os valores de ferro heme foram influenciados tanto pela irradiação quanto pelo armazenamento, diminuindo seus teores com o passar do tempo. O ferro não-heme também foi influenciado tanto pelas doses empregadas quanto pelo tempo de estocagem, porém aumentou seus valores com o passar do tempo, devido à conversão do heme em não-heme. A cor não se mostrou influenciada pelas doses estudadas, somente pela estocagem, e os pigmentos totais foram afetados tanto pela irradiação quanto pelo tempo, diminuindo seus valores com o aumento do tempo de armazenamento. A irradiação mostrou ser um bom método para conservação do ferro, visto que aumentou os teores de acordo com o aumento das doses de radiação.

Palavras-chave: irradiação, ferro heme, frango, armazenamento, pigmentos

## SUMMARY

Studies of irradiation and storage effects in chicken meats were accomplished to know your influence in the iron heme, non heme amount, color and total pigments. They were studied thigh and filet of chickens. These were irradiated to 0 (control), 1 and 2 kGy stored by 14 days to 4°C in refrigerator. The determination of the heme content and not heme of meats was accomplished through the method colorimeter, being used the Ferrozine reagent. The values of iron heme were influenced so much by the irradiation as for the storage, reducing the amount in the course of time. The iron non heme was also influenced so much by the employed doses as for the time of storage, however it increased your values in the course of time, because the conversion of iron heme in non heme . The color, it not show influenced by the studied doses, only for the storage, and the total pigments were so much affected for the irradiation as for the time, reducing your values with the increase of the storage. The irradiation was shown good method for iron conservation that increases the amounts in agreement with the increase of the doses.

Keywords: irradiation; iron heme; chicken; storage; pigments.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A deficiência de ferro é uma das desordens mais comuns que acontece quando a quantidade de ferro ingerida é insuficiente para as necessidades nutricionais do indivíduo. Estima-se que 2,5 bilhões de pessoas em países em desenvolvimento sofrem de algum tipo de deficiência de ferro, e mais da metade delas têm anemia. Evidências mostram que a anemia por deficiência de ferro está ligada à quantidade de ferro potencialmente disponível nos alimentos e também à forma de ferro e composição da dieta que é consumida. O ferro presente nos alimentos se encontra em duas formas, a forma heme e a forma não-heme. O ferro heme é aquele presente na molécula de hemoglobina e o ferro não-heme é o restante presente em outros compostos presentes nos alimentos. Plantas só contêm ferro não-heme, animais contêm ferro na forma heme e não-heme. O ferro heme é considerado o mais importante por ser nutricionalmente mais biodisponível (>15%) que o não-heme (<5%) (KONGKACHUICHAJ et al., 2002).

A mioglobina é uma proteína globular heme localizada nas fibras vermelhas dos músculos. A concentração de mioglobina geralmente depende da espécie, raça, sexo, idade do animal, atividade muscular e tipo de músculo. A mioglobina tem sido conhecida por ser a maior contribuinte da coloração do músculo e isso depende da sua concentração. A estabilidade da mioglobina afeta a coloração da carne. A hemoglobina é facilmente perdida durante a manipulação e a estocagem, enquanto que a mioglobina é retida pelas estruturas intramusculares (CHAIJAN et al., 2005).

A carne de frango é particularmente um produto nacional com grande potencial para emprego da irradiação. O crescimento de microrganismos durante o armazenamento refrigerado ocorre principalmente no tecido muscular lesado, sendo as contaminações

dependentes do tipo de músculo e do pH. Estudos realizados por vários autores mostraram que o uso da irradiação em carnes de frango pode retardar a deterioração bacteriana e reduzir a incidência de microrganismos patogênicos e deteriorantes (PEREIRA, 2004).

A irradiação é um método efetivo para a redução microbiana, mas tem significativa influência na coloração da carne. O processo de irradiação em carnes podem aumentar a tonalidade da cor vermelha, dependendo da espécie, do tipo de músculo e das doses utilizadas (LIU et al., 2003).

Sendo o ferro um componente nutricional de essencial importância em carnes, estudos sobre como a radiação ionizante pode afetar a valência de íons metálicos e influenciar a disponibilidade de ferro em alimentos, têm grande importância, assim como a possível alteração de cor. Devido ao exposto, o objetivo desse trabalho foi determinar a disponibilidade de ferro heme e não-heme, além de avaliar as alterações de cor causadas pela irradiação em cortes de frango.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os cortes de frango estudados, coxa e filé de peito, foram provenientes do comércio local de Piracicaba – SP. As amostras foram embaladas em sacos de polietileno e seladas a vácuo. Foram colocadas 3 coxas ou 3 filés de peito por embalagem. Os cortes foram irradiados nas doses de 0 (controle), 1 e 2 kGy, empregando-se um irradiador tipo GammaCell - 220, com taxa de dose de 0,8 kGy/h, no Centro de Energia Nuclear da Agricultura, CENA/USP. Após a irradiação, as amostras foram armazenadas em câmaras refrigeradas com temperaturas controladas de  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 dias. As análises químicas foram realizadas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP.

### **3.2.1 Análises químicas**

Para cada análise realizada foram utilizadas três embalagens de coxa e de filé de peito por dose. Os cortes foram moídos para realização das análises, sendo desprezada a pele da coxa de frango. Os reagentes utilizados foram da marca Sigma.

### 3.2.1.1 Ferro heme e ferro não heme

A determinação do ferro heme foi realizada utilizando-se o método descrito por Hornsey (1956), com algumas modificações. O método baseia-se na extração por acetona acidificada. As amostras da carne de frango (5 g) foram colocadas em tubos de centrífuga de 50 mL, adicionadas de 20 mL de acetona e de 0,5 mL de HCl. A seguir, adicionou-se água deionizada até que o volume total de água na amostra fosse equivalente a 4,5 g. Para a determinação da quantidade de água a ser adicionada foi determinada a umidade do material segundo Horwitz (2000). As amostras foram então centrifugadas (Centrífuga modelo TDL80-2B, marca Centribio) a 2000 g por 15 minutos e filtradas em papel de filtro qualitativo (Marca Schleicher & Chuell nº 1). A absorbância do filtrado foi medida a 640 nm, e em seguida, foi calculado o conteúdo de ferro heme através da fórmula abaixo:

$$Hematina = Abs_{640nm} * 680 * P_{amostra} \quad (1)$$

$$Ferroheme = \frac{hematina * 88,2}{P_{amostra} * 10000} \quad (2)$$

Onde:

$Ab_{640nm}$  = leitura no espectrofotômetro (absorbância a 640 nm)

$P_{amostra}$  = peso da amostra

Para a determinação do ferro não-heme, amostras de carne de frango (2 g) foram pesadas e adicionadas de 15 mL de solução extratora composta pela mistura de 1:1 de ácido tricloroacético 40% e HCl 6N, segundo Torrence e Bothwell (1968). Foi adicionado nitrito de sódio a 1%, e então as amostras foram colocadas em banho de água quente (50 °C) por 18

horas, resfriadas e centrifugadas (Centrífuga modelo TDL80-2B, marca Centribio) a 2000 g por 10 minutos, sendo o sobrenadante filtrado e utilizado para a determinação do ferro não-heme, pelo método Ferrozine.

No método Ferrozine (HORNSEY, 1956; TORRENCE; BOTHWELL, 1968) os filtrados obtidos receberam agente redutor a 1% (ácido ascórbico) e precipitante de proteínas (ácido tricloroacético 11%) e a seguir foram centrifugados a 1000 g por 10 minutos. Ao sobrenadante foi adicionado 1 mL de acetato de amônio 20%, seguido de 1 mL de reagente Ferrozine 1 mM. O reagente Ferrozine foi preparado da seguinte maneira: 5,14 g do reagente Ferrozine (marca Sigma) mais 100 g de cloridrato de hidroxilamina (marca Sigma) e 500 mL de ácido clorídrico, sendo o volume completado para 1 L com água deionizada. Essa mistura resultou no desenvolvimento de complexo colorido magenta, que foi determinado por absorvância a 562 nm em espectrofotômetro marca Beckman modelo DU640, em cubeta de vidro de 4,5 x 1,0 x 1,0 cm. A quantidade de ferro não-heme nos cortes foi determinada através da fórmula abaixo:

$$F_{\text{ferro não-heme}} = \frac{(A_u - A_b)}{(A_g - A_b)} * 100 \quad (3)$$

em que:

$A_u$  = absorvância lida

$A_b$  = absorvância do branco

$A_g$  = absorvância do padrão

No método Ferrozine é necessária a preparação de um branco (onde não se utiliza a amostra) e de uma solução padrão (preparada com sulfato de ferro e amônia).

### 3.2.1.2 Medida de cor

Para avaliação da coloração das amostras estudadas, foi utilizado colorímetro Minolta CR-200 b com iluminante D65 e 8 mm de diâmetro de olho, previamente calibrado em superfície branca, de acordo com padrões pré-estabelecidos segundo Bibble e Singha (1993) e Mutschler et al. (1992). Foram levados em consideração os valores de  $a^*$ . As leituras foram feitas com os cortes a 4 °C.

### 3.2.1.3 Pigmentos totais

O método empregado para a análise de pigmentos totais foi o mesmo utilizado para determinação de ferro heme, de acordo com Hornsey (1956), no qual as amostras da carne bovina foram colocadas em tubos de centrífuga e adicionadas de 20 mL de acetona mais 0,5 mL de HCl. A seguir, adicionou-se água até que o volume total de água e carne fosse equivalente a 4,5 g. A quantidade de água a ser adicionada foi calculada através de pré-secagem em estufa a 105 °C por 16 horas, segundo Horwitz (2000). As amostras foram então centrifugadas por 15 minutos e filtradas. A absorbância do filtrado foi medida a 640 nm, e em seguida foi calculado o conteúdo de ferro heme.

Os valores de pigmentos totais foram calculados segundo Lee et al. (1999), pela fórmula abaixo, e os valores foram expressos em mg/100 g de amostra:

$$Pig_{total} = Abs_{640} * 680 \quad (4)$$

### 3.2.2 Análise Estatística

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado. Foi realizada análise de variância pelo teste F, e a comparação das médias obtidas nos diferentes tratamentos foi analisada segundo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (PIMENTEL GOMES, 1982), com utilização do programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1998).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Ferro heme

Os valores encontrados para os teores de ferro heme dos cortes de frango estudados, coxa e filé de peito, são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Os valores de ferro heme para os cortes de frango foram diminuindo conforme a estocagem, como constatado para outros tipos de carnes (ESTÉVEZ; CAVA, 2004). No tempo 1 (0 dia), os valores não diferiram estatisticamente em nenhuma das doses estudadas. Para o tempo 2 (7 dias), nas coxas, a dose mais influente foi a de 2 kGy, que apresentou valores superiores aos demais, e para o filé, a dose mais influente foi a de 1 kGy, que apresentou o mesmo comportamento. No tempo 3 (14 dias), a dose que mais influenciou foi a de 2 kGy, que apresentou diferença estatística e os valores mais altos de ferro heme da coxa e os mais baixos para o filé.

Segundo Toledo et al. (2003), há variação nos valores de ferro heme somente para o tempo de estocagem, e não há correlação entre as doses de irradiação, isso difere dos valores encontrados no presente estudo, em que somente no tempo T<sub>1</sub> (0 dia) não houve diferenças estatísticas entre as doses empregadas. Essa variação pode ter ocorrido devido as doses utilizadas por Toledo et al. (2003) serem mais próximas (0 (controle), 0,5, 1,0, 1,5 kGy) do que as empregadas nesse ensaio.

Valores inferiores no teor de ferro heme foram encontrados por Kongkachuichai et al. (2002), 0,3 e 0,1 mg/100g para a coxa e filé de peito, respectivamente. Essa diferença no teor de ferro heme pode ser explicada pela diferença na idade do animal, sexo e raça.

Tabela 1 - Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro heme (mg/100g) de coxa e filé de peito.

<b>Corte</b>	<b>Dose</b>	<b>0 dias (T<sub>1</sub>)</b>	<b>7 dias (T<sub>2</sub>)</b>	<b>14 dias (T<sub>3</sub>)</b>
<b>Coxa</b>	<b>0 kGy</b>	5,03 <sup>1Aa2</sup> ±0,09	1,79 <sup>Bc</sup> ±0,21	0,93 <sup>Cc</sup> ±0,21
	<b>1 kGy</b>	5,27 <sup>Aa</sup> ±0,39	2,55 <sup>Bb</sup> ±0,11	1,60 <sup>Cb</sup> ±0,10
	<b>2 kGy</b>	5,99 <sup>Aa</sup> ±0,59	3,52 <sup>Ba</sup> ±0,07	2,33 <sup>Ba</sup> ±0,21
<b>Filé de peito</b>	<b>0 kGy</b>	3,80 <sup>Aa</sup> ±0,56	2,21 <sup>Bc</sup> ±0,12	1,96 <sup>Ba</sup> ±0,11
	<b>1 kGy</b>	4,66 <sup>Aa</sup> ±0,65	4,33 <sup>Aa</sup> ±0,09	1,95 <sup>Ba</sup> ±0,08
	<b>2 kGy</b>	3,88 <sup>Aa</sup> ±0,23	2,86 <sup>Bb</sup> ±0,23	1,15 <sup>Cb</sup> ±0,44

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença entre tempo com 5% de significância.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes na vertical, dentro de cada corte (coxa e filé de peito), indicam diferença entre doses com 5% de significância.

Tabela 2 - Valores de água adicionados nas análises dos cortes, coxa e filé de peito, irradiados e armazenados.

<b>Cortes</b>	<b>Doses</b>	<b>0 dia (T<sub>1</sub>)</b>	<b>7 dias (T<sub>2</sub>)</b>	<b>14 dias (T<sub>3</sub>)</b>
<b>Coxa</b>	<b>0 kGy</b>	3,28	3,47	3,56
	<b>1 kGy</b>	3,38	3,46	3,56
	<b>2 kGy</b>	3,27	3,48	3,47
<b>Filé de Peito</b>	<b>0 kGy</b>	3,42	3,41	3,39
	<b>1 kGy</b>	3,38	3,45	3,39
	<b>2 kGy</b>	3,37	3,43	3,41

### 3.3.2 Ferro não-heme

Os valores de ferro não-heme aumentaram com a estocagem e foram estatisticamente diferentes entre si, conforme Tabela 3. As doses de irradiação também influenciaram os valores de ferro não-heme presentes nos cortes de frango.

No tempo T<sub>1</sub> (0 dia), a dose 2 kGy foi a mais influente para a coxa, apresentando os maiores valores, e para o filé de peito a dose que apresentou os maiores valores foi a de 1 kGy. No tempo 2 (7 dias), o controle (0 kGy) e a dose de 2 kGy foram as que apresentaram valores superiores para a coxa, enquanto que para o filé, foi o tratamento controle (0 kGy) e o que recebeu a dose de 1 kGy, que apresentaram valores significativos. Para o tempo 3 (14 dias), novamente o tratamento que recebeu dose de 2 kGy apresentou os maiores valores para a coxa, e para o filé todos os tratamentos foram iguais estatisticamente.

Tabela 3 - Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro não-heme (mg/100g) de coxa e filé de peito.

<b>Cortes</b>	<b>Dose</b>	<b>0 dias (T<sub>1</sub>)</b>	<b>7 dias (T<sub>2</sub>)</b>	<b>14 dias (T<sub>3</sub>)</b>
<b>Coxa</b>	<b>0 kGy</b>	1,69 <sup>B1b2</sup> ±0,51	3,95 <sup>Aa</sup> ±0,08	2,18 <sup>Bb</sup> ±0,39
	<b>1 kGy</b>	1,45 <sup>Cb</sup> ±0,04	3,88 <sup>Ab</sup> ±0,06	2,07 <sup>Bb</sup> ±0,13
	<b>2 kGy</b>	2,75 <sup>Ba</sup> ±0,40	4,08 <sup>Aa</sup> ±0,08	3,18 <sup>Ba</sup> ±0,17
<b>Filé de peito</b>	<b>0 kGy</b>	1,12 <sup>Bb</sup> ±1,53	3,89 <sup>Ab</sup> ±0,11	4,43 <sup>Aa</sup> ±0,12
	<b>1 kGy</b>	2,09 <sup>Ba</sup> ±0,22	4,57 <sup>Aa</sup> ±0,05	4,16 <sup>Aa</sup> ±0,29
	<b>2 kGy</b>	1,35 <sup>Cb</sup> ±0,04	2,50 <sup>Bc</sup> ±0,05	3,01 <sup>Aa</sup> ±0,10

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença entre tempo com 5% de significância.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes na vertical, dentro de cada corte (coxa e filé de peito), indicam diferença entre doses com 5% de significância.

Para Kongkachuichai et al. (2002), foram relatados teores de 0,6 e 0,3 mg/100 g de ferro não-heme para os cortes de frango mais consumidos na Tailândia. Esses valores encontram-se abaixo dos encontrados na presente pesquisa.

O aumento da quantidade de ferro não-heme em carnes é considerado um reflexo da diminuição de ferro heme como consequência da quebra da molécula heme durante o cozimento ou estocagem (ESTÉVEZ; CAVA, 2004). Como a radiação ionizante pode afetar quimicamente proteínas e alterar a valência de íons metálicos, a mesma pode influenciar a disponibilidade de ferro em alimentos.

### 3.3.3 Cor e pigmentos

Os valores de  $a^*$  (medida de cor que avalia a coloração entre vermelho e azul) e pigmentos totais para a coxa e filé de peito de frango são apresentados nas Tabelas 4 e 5 e nas Figuras 1 a 3.

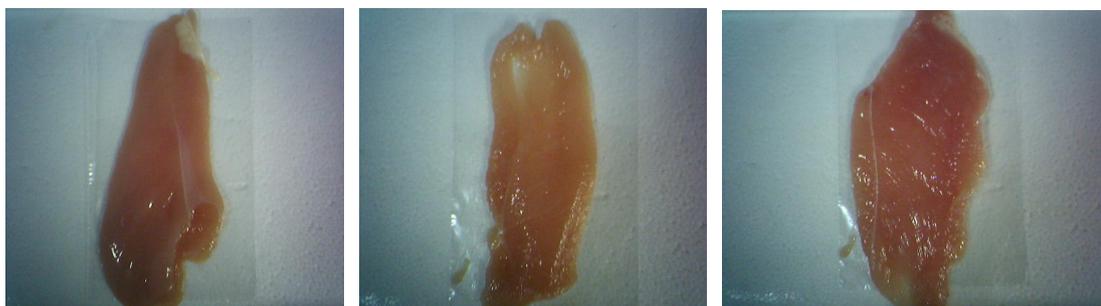


Figura 1. Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, logo após a irradiação.



Figura 2. Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, após 7 dias de armazenamento.



Figura 3. Efeito da irradiação na coloração do filé de peito de frango nas doses 0 kGy (controle), 1 kGy e 2 kGy, após 14 dias de armazenamento.

Para os valores de  $a^*$ , as doses que mais influenciaram foram o controle (0 kGy) no  $T_3$  (14 dias) e a dose de 2 kGy no  $T_2$  (7 dias) de armazenamento para o filé, que apresentaram os valores mais baixos. Para a coxa, houve diferença significativa entre as doses aplicadas somente no  $T_2$  e na dose controle.

Quanto à influência dos tempos de armazenamento para coxa, não houve diferenças significativas, independente das doses. Para o filé de peito, no  $T_2$  (7 dias de armazenamento), a dose controle (0 kGy) e a de 2 kGy foram as que mais influenciaram nos valores de  $a^*$ , enquanto que o tratamento que recebeu dose de 1 kGy se mostrou mais influente aos 14 dias ( $T_3$ ) de armazenamento, apresentando os maiores valores.

Tabela 4 - Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de  $a^*$  de coxa e filé de peito irradiados.

<b>Cortes</b>	<b>Doses</b>	<b>0 dias (T<sub>1</sub>)</b>	<b>7 dias (T<sub>2</sub>)</b>	<b>14 dias (T<sub>3</sub>)</b>
<b>Coxa</b>	<b>0 kGy</b>	3,67 <sup>A1a2</sup> ±2,8	0,60 <sup>Ab</sup> ±0,2	2,12 <sup>Aa</sup> ±0,5
	<b>1 kGy</b>	3,94 <sup>Aa</sup> ±0,8	2,18 <sup>Aa</sup> ±0,9	4,03 <sup>Aa</sup> ±1,3
	<b>2 kGy</b>	4,47 <sup>Aa</sup> ±0,8	3,34 <sup>Aa</sup> ±0,3	6,90 <sup>Aa</sup> ±1,4
<b>Filé de peito</b>	<b>0 kGy</b>	3,04 <sup>Aa</sup> ±0,9	1,28 <sup>Ba</sup> ±0,7	3,45 <sup>Ab</sup> ±0,5
	<b>1 kGy</b>	3,46 <sup>Ba</sup> ±1,4	2,51 <sup>Ba</sup> ±2,3	8,38 <sup>Aa</sup> ±1,3
	<b>2 kGy</b>	5,49 <sup>Aa</sup> ±1,0	0,23 <sup>Bb</sup> ±1,7	8,02 <sup>Aa</sup> ±3,3

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença entre tempo com 5% de significância.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes na vertical, dentro de cada corte (coxa e filé de peito), indicam diferença entre doses com 5% de significância.

Em estudos realizados por Liu et al. (2003), também foi observado maior efeito do armazenamento do que das doses de irradiação empregadas (0 (controle), 2, 0,5, 1, 2, 3 e 4 kGy) nos cortes de frango. Entre as doses não houve diferença estatística, enquanto que entre os armazenamentos foram notadas diferenças.

Os pigmentos totais demonstraram ter o mesmo comportamento que o ferro heme. Isso pode ser em função do efeito da irradiação na mioglobina, na qual pode ocorrer maior degradação da molécula como ocorre no ferro heme. As doses empregadas só afetaram os teores de mioglobina nos T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub> estudados, sendo o armazenamento mais influente que a irradiação.

Tabela 5 - Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de pigmentos totais de coxa e filé de peito irradiados.

<b>Cortes</b>	<b>Doses</b>	<b>0 dias (T<sub>1</sub>)</b>	<b>7 dias (T<sub>2</sub>)</b>	<b>14 dias (T<sub>3</sub>)</b>
<b>Coxa</b>	<b>0 kGy</b>	284,92 <sup>Aa</sup> ±5,13	102 <sup>Bc</sup> ±11,8	52,59 <sup>Cc</sup> ±11,8
	<b>1 kGy</b>	298,86 <sup>Aa</sup> ±22,38	144,50 <sup>Bb</sup> ±6,6	90,57 <sup>Cb</sup> ±5,9
	<b>2 kGy</b>	339,89 <sup>Aa</sup> ±33,4	199,35 <sup>Ba</sup> ±4,4	188,7 <sup>Ba</sup> ±11,9
<b>Filé de peito</b>	<b>0 kGy</b>	215,56 <sup>Aa</sup> ±31,8	125,01 <sup>Bc</sup> ±6,97	110,95 <sup>Ba</sup> ±6,1
	<b>1 kGy</b>	263,95 <sup>Aa</sup> ±37,1	245,71 <sup>Ba</sup> ±5,45	110,73 <sup>Ba</sup> ±4,7
	<b>2 kGy</b>	219,98 <sup>Aa</sup> ±13,0	162,18 <sup>Bb</sup> ±12,8	65,39 <sup>Cb</sup> ±25,1

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes na horizontal indicam diferença entre tempo com 5% de significância.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes na vertical, dentro de cada corte (coxa e filé de peito), indicam diferença entre doses com 5% de significância.

### **3.4 CONCLUSÃO PARCIAL**

Os teores de ferro heme, não-heme e pigmentos totais foram afetados pelas doses de radiação, mas foram mais influenciados pelo armazenamento. A cor também foi mais influenciada pela estocagem do que pelas doses empregadas, indicando ser a irradiação um bom método para conservação e preservação da qualidade visual da carne de frango. A irradiação foi um bom método para a conservação da carne de frango do ponto de vista nutricional, visto que as doses de radiação elevaram os teores de ferro, inclusive o heme, com maior disponibilidade.

#### **4. EFEITO DA IRRADIAÇÃO E DO ARMAZENAMENTO NA DISPONIBILIDADE DE FERRO EM CARNE DE CORDEIRO TRATADO COM DIFERENTES DIETAS**

##### **RESUMO**

A irradiação é um método eficiente para aumentar a segurança microbiológica e preservar os nutrientes contidos nas carnes, entre eles o ferro. A forma de melhor absorção, ferro heme, deve ser preservada havendo melhora na qualidade nutricional da carne armazenada. A dieta também pode influenciar nos teores e formas em que são encontrados os nutrientes na carne. O ferro é fornecido pela dieta, sendo essencial para os processos metabólicos como transporte de oxigênio, metabolismo oxidativo e crescimento celular. Amostras de carne de cordeiro tratados com diferentes dietas (controle, TAC1 (taninos altamente condensados por um dia), TAC2 (taninos altamente condensados por dois dias) e sorgo), foram embaladas à vácuo, e irradiadas nas doses 0 (controle), 2 e 4 kGy, usando Irradiador Multipropósito (fonte  $^{60}\text{Co}$ ) e armazenados a 4°C por 15 dias. Os valores de ferro total e ferro heme foram avaliados até 15 dias de armazenamento. O armazenamento diminuiu os teores de ferro total (18,36 para 14,28 mg/100g) e ferro heme (13,78 para 10,52 mg/100g). As dietas afetaram os níveis de ferro total e heme da carne, sendo que a dieta com sorgo foi a que apresentou maiores teores. A dose de 2 kGy foi a que mais afetou os valores de ferro independente dos tempos de armazenamento. Foi constatado que os teores de ferro total e heme, variaram em função do tempo de armazenamento, doses de radiação e das dietas fornecidas aos cordeiros.

## SUMMARY

Irradiation is an efficient method to increase the microbiological security and to maintain the nutrients in the meat, like iron. The best absorption form, heme iron, should be preserved to have increase at nutritional quality of storage meat. The diet can alter nutrients amount and form in the meat. The iron is provided from the diet and it is an essential element for the metabolic processes like oxygen transport, oxidative metabolism and cellular growth. Meat lamb samples treated with different diets (it controls, TAC1, TAC2 and sorghum), they were wrapped by vacuous, and irradiated in the doses 0, 2 and 4 kGy and stored to 4°C during 15 days. The values of total iron and heme iron were measured to 0 and 15 days of storage. The storage reduced the amount of total iron (18.36 for 14.28 mg/100g) and heme iron (13.78 for 10.52 mg/100g). The diets affected the levels of total and heme iron of the meat, and the sorghum diet was the one that presented the larger amount. The dose of 2 kGy was the one that more affected the iron values independent of the storage time. It was verified that the amounts of total and heme iron, altered by the storage time, irradiation doses and the diets supplied the lambs.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Em regiões mais pobres do Brasil, os ovinos e os caprinos são fonte de proteína de origem animal, desempenhando função social expressiva. Por outro lado, embora a carne de ovinos não esteja entre as espécies de açougue mais consumida no Brasil, a demanda desse produto diferenciado vem aumentando nos grandes centros urbanos da região Sudeste (PRADO, 1999). Se o animal é alimentado com uma determinada dieta, seus tecidos irão responder a composição desta dieta ou a transformação metabólica que ocorre nos componentes da mesma (RUIZ et al., 2004). Aspectos que interferem na qualidade da carne e que estão associados aos fatores intrínsecos, peso ao abate e/ou idade, sexo e grupo genético, e dieta, podem ser manejados de forma a influenciar positivamente na qualidade da carne a ser ofertada ao mercado (SOUZA, 2001).

Uma alternativa para o controle de algumas verminoses em cordeiros é a utilização na alimentação de dietas ricas em taninos condensados. Taninos condensados são compostos fenólicos encontrados em várias forrageiras e árvores. Em baixas concentrações, alguns taninos condensados podem conferir vantagens nutricionais para ruminantes por redução de proteínas degradadoras no rúmen e aumento da circulação de proteína e aminoácidos essenciais no intestino. O sorgo contém altos níveis de tanino, e outros compostos fenólicos. Esses compostos têm grande efeito antioxidante nos músculos do animal, melhorando a estabilidade oxidativa da carne (DU et al., 2002). Esses compostos seqüestram radicais livres, por isso são eficazes para prevenir a oxidação lipídica (SOARES, 2002). Porém, taninos e outros compostos fenólicos podem formar complexo insolúvel com o ferro no trato intestinal e com isso reduzir a biodisponibilidade de ferro solúvel nas carnes dos animais (BRUNE et al., 1989).

A irradiação é um método eficiente para aumentar a segurança para o consumidor, pois é eficaz contra patógenos e parasitas, preserva alimentos, melhora qualidade pela diminuição da carga microbiana controlando as alterações causadas pelas mesmas, aumento da vida útil dos produtos, propiciando a manutenção e a preservação dos nutrientes contidos nos alimentos. Porém pode influenciar significativamente de forma negativa na oxidação da carne e na coloração com o aumento da coloração vermelha-amarronzada. A coloração da carne fresca é determinada pelo estado do ferro heme. Algumas doses de irradiação, em geral doses altas, podem mudar o estado oxidativo do ferro heme e produzir ligantes que vão influenciar na qualidade da carne, levando há formação de uma coloração amarronzada (NAM; AHN, 2002).

O ferro, além de ser responsável pela coloração da carne, também é um elemento essencial para os processos metabólicos como transporte de oxigênio, metabolismo oxidativo e crescimento celular. O ferro está amplamente distribuído em alimentos. Alguns tecidos animais contêm ferro na forma heme, ferritina e hemosiderina (MARTINI, 2002). O ferro pode estar presente nos alimentos de duas formas: a forma heme que é encontrada em carnes e vísceras sob a forma de hemoglobina e mioglobina, e a forma não heme que é encontrada em alimentos de origem vegetal e animal que não seja hemoglobina e mioglobina (BIANCHI et al., 1992).

Dentre as formas de ferro heme e ferro não heme, sabe-se que parte do ferro presente em carnes (heme) é mais disponível biologicamente, podendo ser assimilado na proporção de aproximadamente 25% do total do ferro presente no alimento (COTRAN et al., 1996).

O ferro não heme é considerado o mais importante promotor de oxidação de sistemas cárneos e, sabe-se que proporciona formas químicas de ferro de grande importância. O aumento da quantidade de ferro não heme em carnes é considerado um reflexo da diminuição de ferro heme como consequência da quebra da molécula heme durante o cozimento ou

estocagem (ESTÉVEZ; CAVA, 2004). O ferro heme é biologicamente mais disponível que o não heme pois o não heme sofre influência de outras substâncias presentes na dieta, enquanto que a disponibilidade do ferro heme não é afetada pelas substâncias presentes. As principais fontes de ferro de origem animal são as carnes vermelhas e as vísceras, em especial o fígado (MARTÍNEZ et al., 1999).

Os objetivos do estudo foram avaliar os efeitos da irradiação, do armazenamento e das diferentes dietas fornecidas aos cordeiros, na disponibilidade de ferro total e ferro heme, na carne de cordeiro que receberam diferentes dietas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Material

Para o ensaio experimental foram adquiridos dezesseis cordeiros da raça Santa Inês com dois meses de idade, mantidos à campo e divididos em quatro grupos de quatro animais, sendo um grupo controle (I) que recebeu somente feno, dois grupos (II e III) tratados com TAC (taninos altamente condensados), na dosagem de  $1,6 \text{ g.kg}^{-1}$ , e um grupo (IV) que recebeu sorgo. Os ovinos permaneceram alocados em quatro piquetes experimentais de mesmo tamanho, durante sessenta dias. No final do dia e aos finais de semana os cordeiros permaneceram estabulados e receberam concentrado (dieta total com 13% proteína bruta). Os cordeiros dos grupos II e III receberam dois dias consecutivos de TAC (primeiro e segundo dias experimentais), esse tratamento foi repetido após um mês.

O grupo I (controle) foi tratado com feno e concentrado (50%-50%). A suplementação da dieta para os grupos II e III foi feita com taninos altamente concentrados (TAC), extrato de *Acácia molissima*, sendo fornecido na dose de  $1,6\text{g.kg}^{-1}$  de peso vivo. O grupo II (TAC1) foi suplementado com tanino por um dia, e o grupo III (TAC2) por dois dias. Os cordeiros foram abatidos com quatro meses e após o abate foi separada a paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) a qual foi mantida sob refrigeração por 48 horas. As amostras foram desossadas e separadas em alíquotas ( $\pm 50\text{g}$ ) e embaladas à vácuo, em embalagens de polietileno de baixa densidade, levadas então para armazenamento a  $4^\circ\text{C}$  e irradiadas.

O irradiador utilizado no experimento foi o Multipropósito do IPEN (Instituto de Pesquisa Energéticas Nucleares), com fonte de Cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) e a taxa de dose foi de 6

kGy/h (quiloGray/hora) a taxa de dose foi medida através de dosímetro. As amostras receberam doses de 2 e 4 kGy e foram analisadas no primeiro dia de irradiação (tempo 1) e após 15 dias (tempo 2). As amostras não irradiadas serviram de controle. Todas as amostras foram refrigeradas a 4°C.

## **4.2.2. Análises de ferro**

### **4.2.2.1. Determinação de ferro total**

A determinação do ferro total foi realizada utilizando o método Carpenter e Clark (1995), o qual se baseia na pré-digestão das amostras em frasco do tipo Erlenmeyer com ácido nítrico concentrado por uma noite. Após a digestão os frascos foram colocados sobre placa pré-aquecida até evaporação do líquido. Após a evaporação, adicionou-se alíquotas do reagente peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico, segundo Hatch et al. (1986), em cada amostra até que estas se tornaram claras, geralmente após 3 a 4 adições. Deixou-se então os frascos sobre placa aquecida até que todo peróxido de hidrogênio fosse expelido e que vapores de ácido sulfúrico se tornaram evidentes. Após resfriamento, transferiu-se o líquido dos Erlenmeyers para um balão volumétrico de 10 mL, usando ácido clorídrico 0,01N para enxágüe. As alíquotas foram analisadas pelo método da ferrozine, segundo Carter (1971) e Stookey (1970).

#### **4.2.2.2. Determinação do ferro heme**

A determinação do ferro heme foi realizada utilizando o método descrito por Hornsey (1956), com algumas modificações. O método baseia na extração por acetona acidificada. As amostras da carne de cordeiro (5 g) foram colocadas em tubos de centrífuga de 50 mL e adicionadas de 20 mL de acetona mais 0,5 mL de HCl. A seguir, adicionou-se água deionizada até que o volume total de água na amostra fosse equivalente a 4,5 g. Para a determinação da quantidade de água a ser adicionada foi determinada a umidade do material segundo Horwitz (2000). As amostras foram então centrifugadas (Centrífuga modelo TDL80-2B, marca Centribio®) a 2000 g por 15 minutos e filtradas em papel. A absorbância do filtrado foi medida a 640 nm, e em seguida, foi calculado o conteúdo de ferro heme.

#### **4.2.3. Análise estatística**

O delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado (3 doses de radiação, 2 tempos, 4 dietas), com três repetições por tratamento. Os resultados foram submetidos à análise de variância, com teste de F. O teste de Tukey foi realizado para as amostras que obtiveram significância no teste de F em nível de 5%, para que fosse avaliado os efeitos das diferentes doses nos tratamentos. As análises foram realizadas pelo pacote estatístico SAS (1998).

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Ferro total

Os valores de ferro total encontrados na paleta, (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de acordo com as diferentes dietas, doses de radiação e tempo de armazenamento são mostrados nas Tabelas 6 e 7. Os resultados encontrados indicam decréscimo nos valores de ferro total aos 15 dias de armazenamento e que a dose de irradiação que mais afetou a quantidade de ferro foi a de 2 kGy, apresentando os maiores valores. Esse aumento foi devido a perda de água (Tabela 10) ou devido do processo de exsudação que pode ter ocorrido na carne. De acordo com Carpenter e Clark (1995), os teores de ferro total e ferro heme, da carne de cordeiros são de 16 e 14  $\mu\text{g/g}$ , respectivamente e para Schricker et al. (1982) os valores são de 16,4 e 9,4  $\mu\text{g/g}$ , para ferro total e ferro heme. Ambos os valores estão abaixo dos encontrados no presente trabalho, indicando que a alimentação dos animais influenciou consideravelmente nos nutrientes da carne.

Independente das dietas (Tabela 7), os valores de ferro total diminuíram com o aumento do tempo de estocagem e a dose de irradiação que apresentou maior efeito foi à dose 2 kGy, em ambos os tempos de armazenamento, elevando os valores de ferro.

Tabela 6 - Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro total (mg/100g) da paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de cordeiros Santa Inês, tratados com diferentes dietas.

Dieta	Doses	Dia 0	Dia 15
<b>Controle</b>	0 kGy	14,42 ± 0,6 <sup>1B2a3</sup>	14,28 ± 0,4 <sup>Ba</sup>
	2 kGy	17,03 ± 0,2 <sup>Aa</sup>	16,08 ± 0,1 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	14,95 ± 0,6 <sup>Ba</sup>	14,58 ± 0,5 <sup>Ba</sup>
<b>TAC1*</b>	0 kGy	16,09 ± 0,4 <sup>Ca</sup>	15,55 ± 0,4 <sup>Bb</sup>
	2 kGy	17,21 ± 0,3 <sup>Ba</sup>	16,19 ± 0,4 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	18,08 ± 0,1 <sup>Aa</sup>	16,51 ± 0,5 <sup>Ab</sup>
<b>TAC2*</b>	0 kGy	17,65 ± 0,4 <sup>Ba</sup>	15,39 ± 0,2 <sup>Bb</sup>
	2 kGy	18,36 ± 0,4 <sup>Aa</sup>	16,45 ± 0,4 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	17,71 ± 0,1 <sup>Ba</sup>	15,55 ± 0,2 <sup>Bb</sup>
<b>Sorgo</b>	0 kGy	17,74 ± 0,3 <sup>Ba</sup>	15,68 ± 0,2 <sup>Bb</sup>
	2 kGy	18,11 ± 0,2 <sup>Aa</sup>	16,35 ± 0,1 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	16,09 ± 0,2 <sup>Ca</sup>	15,21 ± 0,2 <sup>Bb</sup>

<sup>1</sup> Média de três repetições ± desvio padrão.

<sup>2</sup> Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as doses dentro de cada dieta ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>3</sup> Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativa nos tempos de armazenamento ( $p \leq 0,05$ ).

\* Dietas suplementadas com taninos altamente concentrados, sendo fornecidas por um dia (TAC1) ou dois dias (TAC2).

Houve diminuição nos valores de ferro total para todas as dietas, independentes das doses de irradiação, com o aumento armazenamento da carne. O cozimento e o armazenamento alteram os teores de ferro heme, não heme e total em carnes, conforme comprova pesquisa realizada por Kongkachuichai et al. (2002).

Antes do armazenamento, as amostras obtidas de animais que receberam as dietas TAC2 e sorgo foram semelhantes quanto ao teor de ferro total quando foram submetidas as doses de 0 e 2 kGy, apresentando os maiores valores. As amostras obtidas das dietas TAC1 e TAC2 diferiram estatisticamente entre si, indicando que a quantidade de taninos fornecida aos

animais teve influência significativa no teor de ferro total, pois os animais que receberam a dieta TAC2 consumiram o dobro de taninos que TAC1.

Tabela 7 - Efeito das diferentes dietas nos teores de ferro total (mg/100g) da paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de cordeiros Santa Inês.

Doses	Dieta	Dia 0	Dia 15
0 kGy	<b>Controle</b>	14,42 <sup>B</sup> ± 0,6	14,28 <sup>B</sup> ± 0,4
	<b>TAC 1*</b>	16,09 <sup>C</sup> ± 0,4	15,55 <sup>A</sup> ± 0,4
	<b>TAC 2*</b>	17,65 <sup>A</sup> ± 0,4	15,39 <sup>A</sup> ± 0,2
	<b>Sorgo</b>	17,74 <sup>A</sup> ± 0,3	15,68 <sup>A</sup> ± 0,2
2 kGy	<b>Controle</b>	17,03 <sup>B</sup> ± 0,2	16,08 <sup>B</sup> ± 0,1
	<b>TAC 1*</b>	17,21 <sup>B</sup> ± 0,3	16,19 <sup>B</sup> ± 0,4
	<b>TAC 2*</b>	18,36 <sup>A</sup> ± 0,4	16,45 <sup>A</sup> ± 0,4
	<b>Sorgo</b>	18,11 <sup>A</sup> ± 0,2	16,35 <sup>A</sup> ± 0,1
4 kGy	<b>Controle</b>	14,95 <sup>D</sup> ± 0,6	14,58 <sup>C</sup> ± 0,5
	<b>TAC 1*</b>	18,08 <sup>A</sup> ± 0,1	16,51 <sup>A</sup> ± 0,5
	<b>TAC 2*</b>	17,71 <sup>B</sup> ± 0,1	15,55 <sup>B</sup> ± 0,2
	<b>Sorgo</b>	16,09 <sup>C</sup> ± 0,2	15,21 <sup>B</sup> ± 0,2

<sup>1</sup> Média de três repetições ± desvio padrão.

<sup>2</sup> Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as doses dentro de cada dieta ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>3</sup> Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativa nos tempos de armazenamento ( $p \leq 0,05$ ).

\*Dietas suplementadas com taninos altamente concentrados, sendo fornecidas por um dia (TAC1) ou dois dias (TAC2).

A dieta que menos influenciou os valores de ferro total, apresentando os valores mais baixos, foi à dieta controle, indicando que não houve efeito inibitório dos taninos na disponibilidade de ferro da carne de cordeiros, quando esses foram tratados com as outras dietas estudadas, sendo então esse tipo de alimentação indicado para o tratamento de ovinos.

### 4.3.2 Ferro heme

Os valores de ferro heme encontrados na paleta, (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de acordo com as diferentes dietas, doses de radiação e tempo de armazenamento (Tabelas 8 e 9), indicam aumento nos valores de ferro heme na dose de 2 kGy independente do tempo de armazenamento. Quanto maior a perda de água no corte (Tabela 10), menos concentrados ficam os teores de ferro, visto que pode haver perda do ferro junto a água de exsudação (CHAIJAN et al., 2005). O aumento na perda de água foi observado, antes da análise de ferro heme, quando a análise de umidade dos cortes foi realizada. Segundo Shimokomaki et al. (2006) a mioglobina e outras proteínas heme são proteínas sarcoplasmáticas, e estas são localizadas dentro das células, as mesmas são solúveis em água. Sendo assim, estas proteínas podem, em parte, ser perdidas com a ocorrência de exsudação, ou seja, durante a perda de umidade ou suco da carne. Quanto a influência do tempo, foi observado decréscimo nos valores de ferro aos 15 dias de armazenamento indicando a degradação do ferro heme com a estocagem, o que está de acordo com Estévez e Cava (2004), que relatam que os valores de ferro heme diminuem com o passar do tempo.

Para todas as doses aplicadas, em ambos os tempos de armazenamento, a dieta que apresentou os maiores valores de ferro heme foi à dieta com sorgo. Isso indica que as dietas fornecidas aos animais estão fortemente ligadas à disponibilidade de ferro heme das carnes, podendo ser explicado pela formação de um complexo insolúvel com o ferro no trato intestinal que reduziu a biodisponibilidade de ferro solúvel, afetando dessa forma os teores de ferro heme (BRUNE et al., 1989).

Tabela 8 - Valores de ferro heme (mg/100g) da paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de cordeiros Santa Inês, tratados com diferentes dietas, doses de radiação e tempo de armazenagem.

<b>Dieta</b>	<b>Doses</b>	<b>Dia 0</b>	<b>Dia 15</b>
<b>Controle</b>	0 kGy	12,30 ± 0,01 <sup>A1a2</sup>	10,53 ± 0,05 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	12,64 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	11,03 ± 0,02 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	12,56 ± 0,02 <sup>Ca</sup>	10,78 ± 0,04 <sup>Cb</sup>
<b>TAC 1*</b>	0 kGy	13,19 ± 0,02 <sup>Aa</sup>	10,67 ± 0,10 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	13,59 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	11,27 ± 0,21 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	13,34 ± 0,02 <sup>Ca</sup>	11,07 ± 0,20 <sup>Bb</sup>
<b>TAC 2*</b>	0 kGy	12,89 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	10,52 ± 0,06 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	13,25 ± 0,04 <sup>Ba</sup>	11,17 ± 0,09 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	13,03 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	10,85 ± 0,01 <sup>Cb</sup>
<b>Sorgo</b>	0 kGy	13,78 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	11,17 ± 0,25 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	13,65 ± 0,04 <sup>Ba</sup>	11,41 ± 0,28 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	13,62 ± 0,07 <sup>Ba</sup>	11,20 ± 0,32 <sup>Ab</sup>

1 Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as doses dentro de cada dieta ( $p \leq 0,05$ ).

2 Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativa nos tempos de armazenamento ( $p \leq 0,05$ ).

\*Dietas suplementadas com taninos altamente concentrados, sendo fornecidas por um dia (TAC1) ou dois dias (TAC2).

Segundo Estevez et al. (2006) compostos fenólicos são inibidores da degradação de proteínas, porém esse fato não foi observado no presente trabalho, onde foi observado maior degradação das moléculas de heme nos tratamentos com dietas suplementadas com taninos condensados foi observado. Purchas et al. (2004), estudando o efeito da armazenagem refrigerada em carne bovina e de cordeiros, relatou que as causas da degradação de heme ainda não estão bem elucidadas, mas que há relação direta com as reações de oxidação.

Tabela 9 - Efeito das diferentes dietas e diferentes doses de radiação nos teores de ferro heme (mg/100g) da paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de cordeiros Santa Inês.

Doses	Dieta	Dia 0	Dia 15
0 kGy	Controle	12,30 <sup>A1</sup> ± 0,01	10,53 <sup>A</sup> ± 0,05
	TAC 1*	13,19 <sup>B</sup> ± 0,02	10,67 <sup>A</sup> ± 0,10
	TAC 2*	12,89 <sup>C</sup> ± 0,01	10,52 <sup>A</sup> ± 0,06
2 kGy	Sorgo	13,78 <sup>D</sup> ± 0,01	11,17 <sup>B</sup> ± 0,25
	Controle	12,64 <sup>A</sup> ± 0,01	11,02 <sup>A</sup> ± 0,02
	TAC 1*	13,59 <sup>B</sup> ± 0,01	11,27 <sup>BC</sup> ± 0,21
4 kGy	TAC 2*	13,25 <sup>C</sup> ± 0,04	11,17 <sup>AB</sup> ± 0,09
	Sorgo	13,65 <sup>B</sup> ± 0,04	11,41 <sup>C</sup> ± 0,28
	Controle	12,56 <sup>A</sup> ± 0,02	10,78 <sup>A</sup> ± 0,04
4 kGy	TAC 1*	13,34 <sup>B</sup> ± 0,02	11,08 <sup>B</sup> ± 0,20
	TAC 2*	13,03 <sup>C</sup> ± 0,01	10,85 <sup>A</sup> ± 0,01
	Sorgo	13,62 <sup>D</sup> ± 0,07	11,20 <sup>B</sup> ± 0,32

1 Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam que há diferença significativa entre as doses ( $p \leq 0,05$ ).

\*Dietas suplementadas com taninos altamente concentrados, sendo fornecidas por um dia (TAC1) ou dois dias (TAC2).

Tabela 10 - Valores de umidade (%) das paletas irradiadas de cordeiros tratados com diferentes dietas.

Dieta	Doses	Dia 0	Dia 15
Controle	0 kGy	76,02 ± 0,01 <sup>A1a2</sup>	77,39 ± 0,05 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	74,28 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	73,71 ± 0,02 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	74,44 ± 0,02 <sup>Ca</sup>	74,28 ± 0,04 <sup>Cb</sup>
TAC 1*	0 kGy	76,14 ± 0,02 <sup>Aa</sup>	76,24 ± 0,10 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	69,19 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	70,65 ± 0,06 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	71,41 ± 0,02 <sup>Ca</sup>	72,51 ± 0,03 <sup>Bb</sup>
TAC 2*	0 kGy	72,56 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	73,51 ± 0,06 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	60,36 ± 0,04 <sup>Ba</sup>	63,93 ± 0,09 <sup>Bb</sup>
	4 kGy	71,15 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	71,61 ± 0,01 <sup>Cb</sup>
Sorgo	0 kGy	74,12 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	74,92 ± 0,06 <sup>Ab</sup>
	2 kGy	72,59 ± 0,02 <sup>Ba</sup>	73,68 ± 0,08 <sup>Ab</sup>
	4 kGy	73,46 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	74,61 ± 0,08 <sup>Ab</sup>

1 Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam que há diferença significativa entre as doses ( $p \leq 0,05$ ).

2 Letras minúsculas diferentes (a-b) nas linhas indicam diferenças significativa nos tempos de armazenamento ( $p \leq 0,05$ ).

#### **4.4 CONCLUSÃO PARCIAL**

No presente estudo, as dietas com diferentes quantidades de taninos afetaram as quantidades de ferro total e heme da carne, porém a dieta que se mostrou mais influente foi a dieta com suplementação de sorgo. O armazenamento refrigerado e a estocagem também afetaram as quantidades de ferro total e heme, diminuindo esses teores e afetando a disponibilidade do ferro, pois o ferro heme é absorvido sem interferência dos componentes da dieta enquanto que o não heme tem interferência dos mesmos. A dose de radiação de 2 kGy, foi a que apresentou maior influência nos valores de ferro da paleta de cordeiro Santa Inês, independente das dietas.

## **5. EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA E DO ARMAZENAMENTO NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA E COLESTEROL DE CARNE DE CORDEIROS SANTA INÊS**

### **RESUMO**

Vários fatores (peso, sexo, dieta e criação) influenciam na composição de ácidos graxos da carne de cordeiros. O presente estudo comparou os efeitos de três doses de radiação (0, 2, 4 kGy) e do armazenamento refrigerado a 4°C por 15 dias, nos valores de colesterol e TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) de carne de cordeiro tratados com diferentes dietas. Os valores de TBARS (0,2722 a 0,5186 mg MDA/kg) aumentaram com o armazenamento e com a irradiação (3,5174 a 5,7202 mg MDA/kg), indicando que ambos afetaram a oxidação lipídica. As taxas de colesterol (56,64 a 79,29 mg/100g) diminuíram com o armazenamento (32,53 a 53,54 mg/100g), porém aumentaram com a dose de 2 kGy para o segundo tempo de estocagem. A dieta também influenciou nos teores de TBARS e de colesterol da carne de cordeiros. A dieta controle foi a que apresentou valores de TBARS mais baixos, independentemente das doses de radiação e do tempo de armazenamento. O colesterol se mostrou mais influenciável pelo tempo de armazenamento do que pelas doses de radiação e dietas estudadas.

## SUMMARY

Several factors (weight, sex, diet and breeding) influence in the composition of fatty acids of the meat of lambs. The present study compared the effects of the irradiation doses (0, 2, 4 kGy) and refrigerated storage (4°C) for 15 days, in the cholesterol values and TBARS (substances reactivate to the acid tiobarbituric) of lamb treated with different diets. The values of TBARS (0.2722 to 0.5186mg MDA/kg) they increased with the storage and with the irradiation (3.5174 to 5.7202 mg MDA/kg), indicating that both affect the lipids oxidation. The cholesterol rates (56.64 to 79.29 mg/100g) they decreased with the storage (32.53 to 53.54 mg/100g), however they increased with the dose of 2 kGy for the second time of storage. The diet also influenced in the levels of TBARS and of cholesterol of the meat of lambs. The diet control was the one that it presented values of independent of the irradiation doses lower TBARS and of the time of storage. The cholesterol was shown more influence for the time of storage than for the irradiation doses and studied diets.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, é crescente a demanda por produtos cárneos cozidos ou minimamente processados. Esses produtos são comercializados congelados, porém esta é uma técnica com custo elevado e instável quanto à segurança microbiológica. Além disso, o congelamento afeta a textura dos produtos e não elimina possíveis patógenos (KANATT et al., 2005). Uma alternativa é estocar estes produtos em estado refrigerado. Porém, a manutenção por refrigeração é válida para poucos dias, e a vida de prateleira dos produtos é um fator limitante da área de consumo. Uma tecnologia viável para estender a vida de prateleira e eliminar os patógenos de produtos refrigerados ou congelados é a irradiação.

A irradiação é o melhor tratamento para controle bacteriano em carnes frescas. Todavia, a radiação ionizante gera radicais livres que podem induzir a oxidação lipídica e outras mudanças químicas (DU et al., 2000). A oxidação lipídica é uma das maiores causas de deterioração da qualidade da carne fresca ou cozida durante o armazenamento refrigerado ou congelado (GOMES et al., 2003).

Os lipídeos têm papel determinante na aceitação da carne, já que a sua concentração e composição influenciam fortemente as propriedades organolépticas (textura, sabor, cor e aroma). Os lipídeos apresentam composição similar em todas as espécies de animais, mesmo sob diferentes condições ambientais e de dieta (PINO, 2005). O fato de teores de lipídeos de origem animal ingeridos na dieta humana se apresentarem relacionados com doenças cardiovasculares, está promovendo a demanda por fontes de proteína animal que apresentem menores teores de lipídeos. Neste sentido, os cordeiros apresentam melhor qualidade de lipídeos intramuscular quando comparados com bovinos, suínos e frangos (SOUZA, 2001).

A oxidação lipídica é o principal processo pelo qual ocorre perda de qualidade da carne e seus produtos, depois da deterioração microbiana. Além da alteração de odor e gosto, ela está relacionada também com a oxidação dos pigmentos da carne, provocando perda de cor. Alguns fatores afetam o processo de oxidação, entre eles, fatores ambientais (umidade, temperatura, luz e oxigênio), presença de metais (cobre, ferro e manganês), enzimas e pigmentos (PINO, 2005).

A oxidação lipídica em carnes pode ser acompanhada por meio do valor de TBARS (substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico) (TARLADGIS et al., 1960), visto que produtos primários de oxidação lipídica constituem-se principalmente de hidroperóxidos, particularmente carbonilas, sendo o malonaldeído o elemento mais importante.

O colesterol é um composto relativamente estável, mas pode ser oxidado em certas condições. A oxidação do colesterol em carnes pode ser influenciada por alguns fatores como temperatura, tempo de estocagem, condições de embalagens e composição lipídica. A irradiação também pode ser um fator crucial para iniciar a oxidação do colesterol devido ao aumento da oxidação de ácidos graxos do sistema. Produtos da oxidação do colesterol (COPs) têm sido conhecidos por causar mais injúrias para as células arteriais que o colesterol puro e estão diretamente relacionados com o desenvolvimento de aterosclerose e doenças coronárias (NAM et al., 2001).

Os objetivos desta pesquisa foram avaliar os efeitos do tempo de estocagem e da irradiação nos valores de colesterol e TBA de carne de cordeiros da raça Santa Inês que receberam diferentes dietas.

## 5.1 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Material

Cordeiros machos da raça Santa Inês foram divididos em três grupos com 4 animais por grupo, sendo o grupo 1 (controle) tratado com feno e concentrado (50%-50%). A suplementação da dieta para os outros dois grupos foi feita com taninos altamente concentrados (TAC) (extrato de *Acácia molissima*), sendo fornecidos na dose de 1,6 g/kg de peso vivo. O grupo 2 (TAC1) foi suplementado com tanino por um dia, e o grupo 3 (TAC2) por dois dias, ambos nove dias antes do abate. Os cordeiros foram abatidos com 4 meses e após o abate foi separada a paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) para realização das análises químicas.

As amostras da paleta de cordeiro da raça Santa Inês foram embaladas a vácuo 48 horas após o abate e armazenadas em geladeira (4°C). Após a embalagem das paletas, estas foram levadas ao irradiador Multipropósito do IPEN (Instituto de Pesquisa Energéticas Nucleares), com fonte de  $^{60}\text{Co}$  e a taxa de dose foi de 6 kGy/h. As amostras receberam doses de 2 e 4 kGy. As amostras não irradiadas serviram de controle. Enquanto as amostras foram irradiadas, as não irradiadas permaneceram em caixa de isopor com gelo, nas mesmas condições. Todas as amostras foram refrigeradas (4°C).

As análises foram realizadas nas amostragem 1 (logo após a irradiação) e amostragem 2 após 15 dias de armazenamento. A pesquisa foi realizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ – USP).

### 5.2.2 Análise colesterol

Foi utilizada a metodologia de Bligh e Dyer (1959) para extração de lipídeos totais. Foram pesados 2 g de amostra, à qual adicionaram-se 10 mL de clorofórmio, 20 mL de metanol e 8 mL de água destilada, sendo agitados por 30 minutos. Foram adicionados, novamente, clorofórmio e sulfato de sódio (1,5%) e agitados novamente. As camadas foram separadas, sendo desprezada a camada superior e filtrada a camada inferior. Para leitura do teor de colesterol, foi usado o método colorimétrico segundo Bohac et al. (1988) foram adicionados 10 mL de KOH (12%) a 3 mL da amostra, sendo esta levada para banho-maria a 80°C por 15 minutos. Foram acrescentados 5 mL de água destilada à solução, que foi resfriada em torneira, e cloreto de ferro, e deixada em repouso por 15 minutos. Realizou-se a leitura da absorbância em 490 nm e os resultados foram expressos em mg/100g.

### 5.2.3 Análise de TBA

As análises de TBA foram realizadas segundo metodologia descrita por Kanatt et al., (2005) foram pesados 4g de amostra, misturados a 16mL de ácido tricloroacético (TCA) 5% e BHT (10µg BHT/g de lipídeo), sendo esta solução foi filtrada em papel de filtro. Foi acrescentado, ao filtrado, 0,02M de TBA e aquecido em banho-maria a 45°C por 30min. Depois de frio a leitura foi feita a 532nm. Os valores de TBARS foram expressos em mg de malonaldeído por kg de carne.

#### **5.2.4 Análise estatística**

O delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento (amostra). Os resultados foram submetidos à análise de variância, com teste de F, e aos que apresentaram significância no nível de 1% foram realizados o teste de Tukey e as interações para estudar o efeito das doses de radiação e do tempo de armazenamento na qualidade da carne. Os parâmetros estatísticos foram calculados pelo programa SAS (Statistical Analysis System) (1998).

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Colesterol

Os valores de colesterol encontrados para a paleta (*Infraspinatus*, *Triceps brachii*, *Supraspinatus*) de cordeiro Santa Inês estão expressos na Tabela 11 e nas Figuras 4 a 6.

Tabela 11 - Valores de colesterol (mg/100g) encontrados para paleta de cordeiros Santa Inês tratados com diferentes dietas, doses de radiação e tempo de armazenamento.

Dieta	Tratamento	Dia 0	Dia 15	Prob > F
Controle	0 kGy	79,29 ± 0,67 <sup>A1a2</sup>	38,53 ± 0,19 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	68,62 ± 0,26 <sup>ABa</sup>	53,54 ± 0,61 <sup>Ba</sup>	0,01
	4 kGy	58,43 ± 1,19 <sup>Ba</sup>	41,12 ± 0,33 <sup>Cb</sup>	0,01
TAC1*	0 kGy	76,21 ± 0,79 <sup>Aa</sup>	32,53 ± 0,22 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	69,17 ± 0,19 <sup>Ba</sup>	49,26 ± 0,71 <sup>Bb</sup>	0,01
	4 kGy	66,59 ± 0,45 <sup>Ca</sup>	45,85 ± 0,90 <sup>Cb</sup>	0,01
TAC2*	0 kGy	75,92 ± 0,39 <sup>Aa</sup>	30,48 ± 0,65 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	67,93 ± 0,34 <sup>Ba</sup>	46,14 ± 0,72 <sup>Bb</sup>	0,01
	4 kGy	62,25 ± 0,69 <sup>Ca</sup>	40,31 ± 0,38 <sup>Cb</sup>	0,01

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes nas colunas para cada dieta indicam diferença significativa (1%) entre as doses.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença significativa (1%) nos tempos de armazenamento.

\*TAC1 e TAC2 - dietas com taninos altamente concentrados

Somente para a dieta controle, no tempo 0, o tratamento que recebeu a dose de radiação de 2 kGy não diferiu ( $p > 0,01$ ) dos que receberam as demais doses. Para o tempo de 15 dias e as demais dietas, todas as doses foram significativamente diferentes, independentes do tempo de estocagem.

O armazenamento diminuiu significativamente as taxas de colesterol da carne de cordeiro independente das doses utilizadas. Isto pode ser explicado pela oxidação do colesterol em outros tipos de gorduras.

Hoke et al. (1999) encontraram valores de colesterol de 62,00 mg/100g para paleta de cordeiros o que está de acordo com valores encontrados (40,41 a 79,29 mg/100g) para as diferentes dietas.

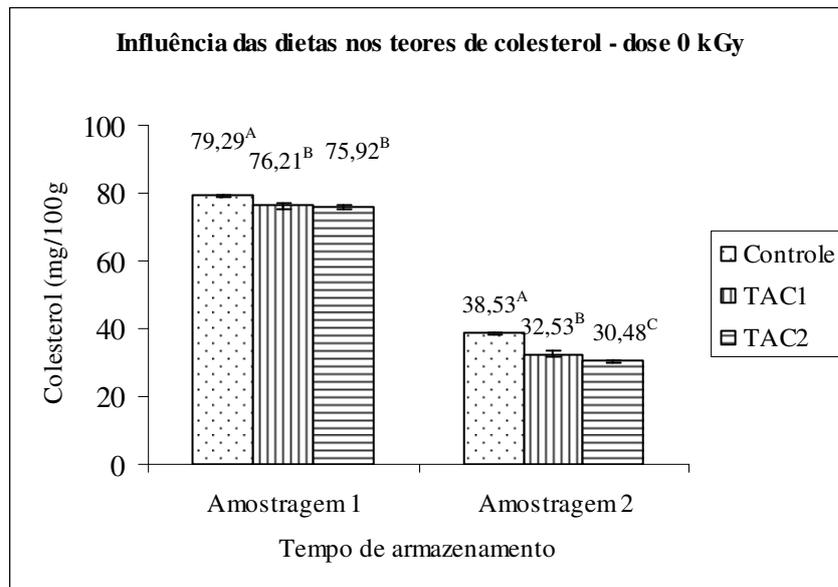


Figura 4. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 0 kGy (controle).

Com a dose 0 kGy (Figura 4) houve tanto influência do tempo de armazenagem quanto das dietas nos valores de colesterol da carne. Para o tempo 0, as dietas suplementadas com taninos (TAC 1 e 2) não apresentaram diferença significativa ( $p>0,01$ ), sendo que a dieta controle foi a que teve mais afetados os níveis de colesterol. Porém, aos 15 dias de armazenagem, todas as dietas influenciaram nos teores de colesterol, sendo os valores mais baixos observados para a dieta TAC2 de 30,48 mg/100g.

Para a dose de 2 kGy, na amostragem 1 de armazenagem não houve diferença significativa entre as dietas, indicando que elas não influenciaram nos teores de colesterol. Na

amostragem 2 (15 dias) de armazenagem, todas as dietas apresentaram diferenças significativas, indicando que, além das dietas, o tempo também contribui para os diferentes valores de colesterol encontrados na pesquisa (Figura 5).

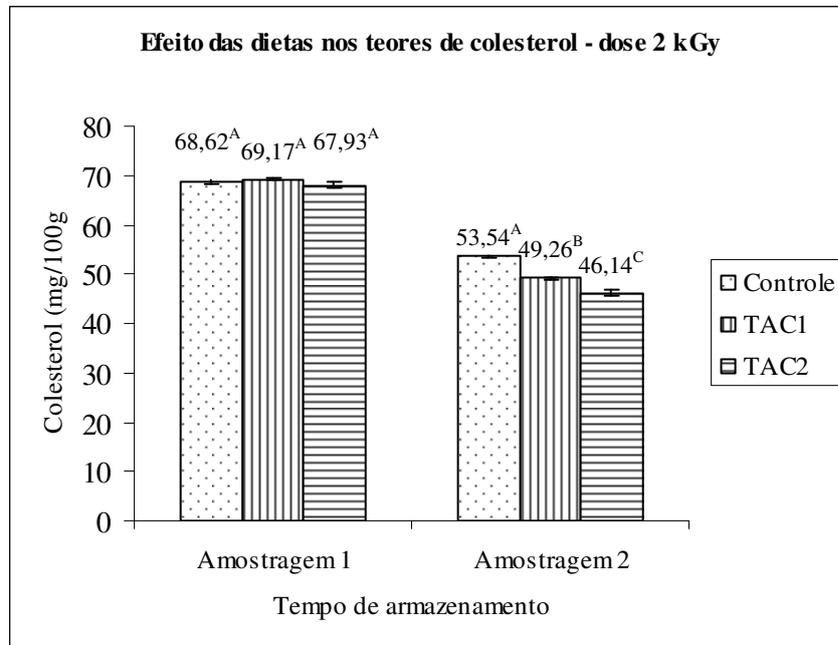


Figura 5. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 2 kGy.

As dietas influenciaram nos teores de colesterol, somente para a primeira amostragem para a dose de 4 kGy (Figura 6), na qual foi observado que todas as dietas foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,01$ ). Para a segunda amostragem, tanto a carne dos cordeiros tratados com a dieta controle quanto a carne dos cordeiros tratados com a dieta TAC2 foram iguais.

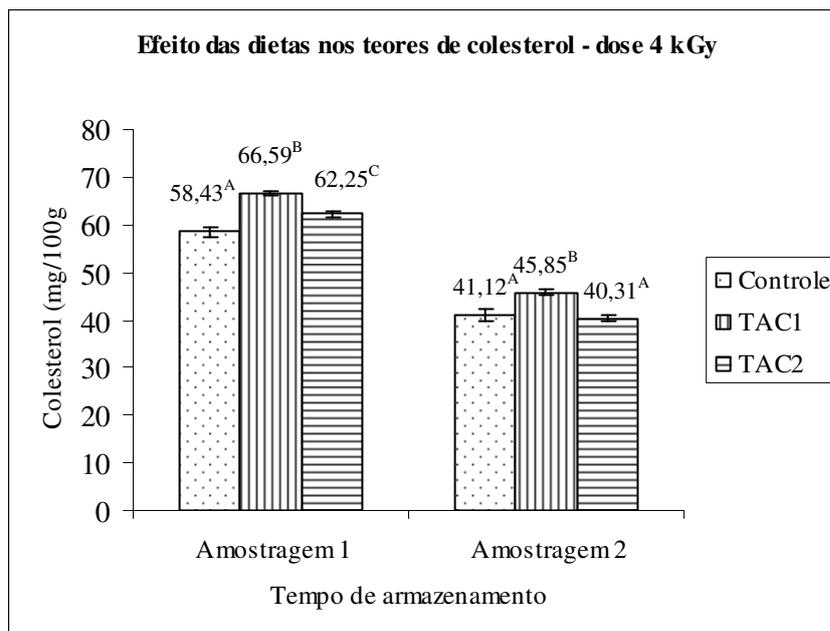


Figura 6. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos teores de colesterol para dose 4 kGy.

### 5.3.2 TBARS

A oxidação lipídica foi medida em termos de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e os resultados são mostrados na Tabela 12 e nas Figuras de 7 a 9.

A irradiação e o tempo de armazenamento influenciaram ( $p \leq 0,01$ ) nos valores de TBARS da carne de cordeiro para todos os tratamentos. Depois de 15 dias de armazenamento, os valores de TBARS aumentaram significativamente ( $p \leq 0,01$ ) para todas as amostras estudadas, irradiadas ou não. Independentemente da dieta dos cordeiros, os valores de TBARS foram afetados tanto pela radiação quanto pelo tempo de armazenamento. Os valores médios de TBARS das paletas variaram de 0,27 a 0,51, no início do experimento, e de 3,51 a 5,72 mg de malonaldeído/kg, ao final dos 15 dias de armazenamento (Tabela 12), sendo o período de estocagem um fator preponderante para esta diferença. Este salto nos valores de TBARS

provavelmente foi devido a um acúmulo generalizado de produtos secundários de ranço. Esse fato ocorreu para todos os tratamentos, visto que a dieta não influenciou os diferentes valores de TBARS.

Para as dietas TAC1 e TAC2, somente houve diferença significativa ( $p \leq 0,01$ ) quanto ao efeito das doses no tempo 0, nas amostras não irradiadas. Já para o tempo 15, todos os tratamentos demonstraram ser diferentes estatisticamente em cada dose.

No dia inicial, a dieta controle apresentou valores mais baixos, a dieta TAC1, valores intermediários, e a TAC2, os valores mais altos.

As dietas tiveram grande influência nos valores de TBARS encontrados para a amostragem 1 de armazenamento na dose de 0 kGy (Figura 7). Todas elas foram significativamente diferentes, mostrando que a dieta teve grande impacto na qualidade da carne de cordeiros. Mas o tempo também teve alta influência na qualidade da carne, como é visto na amostragem 2 de armazenamento, na qual, apesar do aumento nos valores de TBARS, as dietas foram estatisticamente iguais.

Tabela 12 - Valores de TBARS (mg MDA/kg) encontrados para paleta de cordeiros Santa Inês tratados com diferentes dietas, doses de radiação e tempo de armazenamento.

Dieta	Tratamento	Dia 0	Dia 15	Prob > F
Controle	0 kGy	0,2722 ± 0,01 <sup>A1a2</sup>	3,5174 ± 0,01 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	0,3054 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	4,5074 ± 0,02 <sup>Bb</sup>	0,01
	4 kGy	0,3740 ± 0,01 <sup>Ca</sup>	5,5505 ± 0,02 <sup>Cb</sup>	0,01
TAC1*	0 kGy	0,3445 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	3,5395 ± 0,02 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	0,4065 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	4,6933 ± 0,02 <sup>Bb</sup>	0,01
	4 kGy	0,4109 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	5,7047 ± 0,01 <sup>Cb</sup>	0,01
TAC2*	0 kGy	0,4094 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	3,5572 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	0,01
	2 kGy	0,4125 ± 0,01 <sup>Aa</sup>	4,7066 ± 0,01 <sup>Bb</sup>	0,01
	4 kGy	0,5186 ± 0,01 <sup>Ba</sup>	5,7202 ± 0,02 <sup>Cb</sup>	0,01

<sup>1</sup>Letras maiúsculas diferentes nas colunas para cada dieta indicam que há diferença significativa entre as doses.

<sup>2</sup>Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas nos tempos de armazenamento.

\*TAC1 e TAC2 – dietas com taninos altamente concentrados

Na dose de 2 kGy (Figura 8) as dietas TAC1 e TAC2 foram iguais em ambos os tempos de estocagem (amostragem 1 e 2). Mostrando que a dieta que mais influenciou nos valores de TBARS foi a dieta controle, na qual foram encontrados os menores valores.

Para dose de 4 kGy, todas as dietas apresentaram diferenças significativas na amostragem 1. Já na amostragem 2, somente a dieta controle se mostrou diferente das demais dietas (Figura 9).

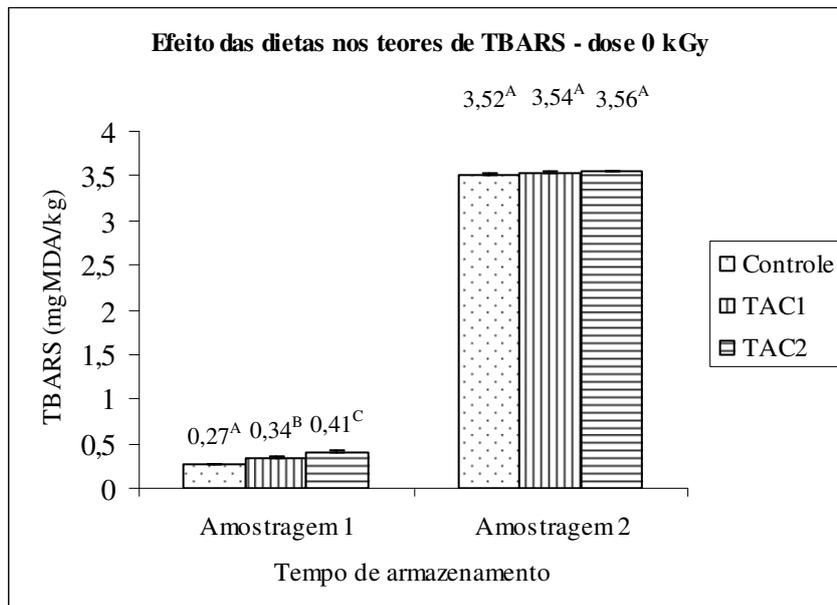


Figura 7. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 0 kGy (controle).

Nos valores de TBARS a dieta que teve maior alteração foi a controle, que apresentou valores menores, independentemente do tempo de estocagem e das doses de radiação utilizadas.

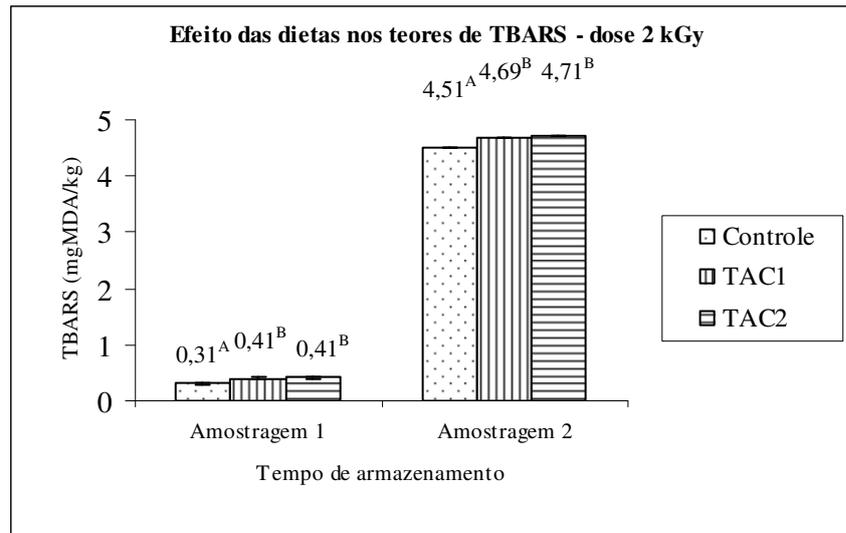


Figura 8. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 2 kGy.

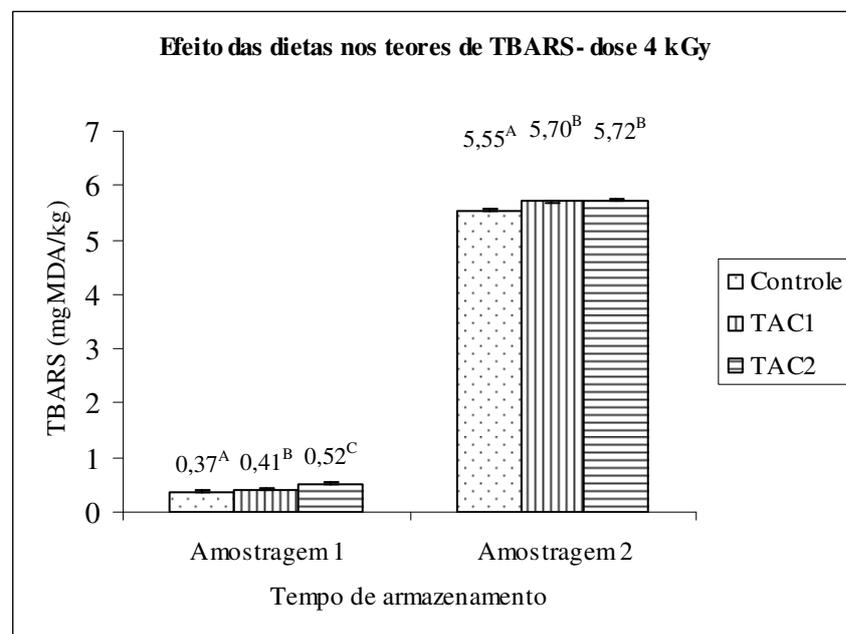


Figura 9. Influência das dietas e dos diferentes tempos de armazenamento nos valores de TBARS para dose 4 kGy.

#### **5.4 CONCLUSÃO PARCIAL**

Foram observadas diminuições nos teores de colesterol e aumento nos valores de TBARS, nas carnes de cordeiros da raça Santa Inês, em função das doses aplicadas e dos tempos de armazenamentos estudados. A dieta controle foi a que o menor valor de TBARS.

## 6. CONCLUSÃO GERAL

O aumento nos teores de ferro heme observados para as doses de radiação utilizadas pode ser explicado pelo fato da radiação ionizante afetar quimicamente proteínas e alterar a valência de íons metálicos. Esses efeitos estão diretamente relacionados com a dose de radiação e com a presença de oxigênio.

Para os valores de ferro não heme, o aumento dos valores com a estocagem, provavelmente pode ser devido a diminuição de ferro heme como consequência da quebra da molécula heme durante a estocagem.

De uma maneira geral o processo de irradiação é uma tecnologia que sem sombra de dúvida deve ser empregada na cadeia produtiva da carne, visto que aumentou os teores de ferro encontrados nos cortes, o que elevou o valor nutricional e manteve a qualidade química dos mesmos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, D. U. et al. Volatiles production and lipid oxidation in irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 2, p. 226-229, 1999.

AL-KAHTANI, H. A. et al. Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in tilapia and Spanish mackerel. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 61, p. 729-733, 1996.

BIANCHI, M. L. P.; SILVA, H. C.; OLIVEIRA, J. E. D. Considerações sobre a biodisponibilidade de ferro dos alimentos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 42, n. 2, p. 94-100, 1992.

BIBBLE, B. B.; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **HortScience**, St. Joseph, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.

BLIGH, E. G., DYER, W. J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemical and Physiology**, Ottawa, v. 37, p. 911-917, 1959.

BOHAC, C. E. et al. Assessment of methodologies for colorimetric cholesterol assay of meats. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 6, p. 1642-1644, 1988.

BREWER, S. Irradiation effects on meat color – a review. **Meat Science**, Barking, v. 68, n. 1, p. 1-17, 2004.

CENA. **Divulgação sobre a tecnologia de irradiação de alimentos e outros materiais**. Piracicaba: USP/PCLQ, 2002. Disponível em: <http://www.cena.usp.br/irradiacao/index.asp>. Acesso em: 17 set. 2004.

CHAIJAN, M. et al. Changes of pigments and color in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage. **Food Chemistry**, Barking, v. 93, p. 607-617, 2005.

COOK, J. D. Determinants of nonheme iron absorption in man. **Food Technology**, Chicago, v. 37, n. 10, p. 124-126, 1983.

COTRAN, R. S.; KUMAR, V.; ROBBINS, S. L. **Patologia estrutural e funcional**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1996. 1277 p.

CRAWFORD, L. M.; RUFF, E. H. A review of the safety of cold pasteurization through irradiation. **Food Control**, Guildford, v. 7, n. 2, p. 87-89, 1996.

DU, M. et al. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, Barking, v. 56, p. 387-395, 2000.

ESTÉVEZ, M.; CAVA, R. Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté. **Meat Science**, Barking, v. 68, p. 551-558, 2004.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Department of Agriculture. Food Safety and Inspection Service. **Federation Register**, Washington, 9CFR Parts 317, 318 and 381, 1999. Disponível em: <http://www.isis.usda.gov>.

GOMES, H. A. et al. Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, p. 433-437, 2003.

HOKE, I. M. et al. Nutrient and related food composition of exported Australian lambs cuts. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 12, p. 97-109, 1999.

HORNSEY, H. C. The color of cooked cured pork. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 7, n. 8, p. 534-540, 1956.

HORWITZ, W. (Ed.). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000. Method 950.46: Moisture in meat.

KANATT, S. R.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products. **Meat Science**, Barking, v. 69, n. 2, p. 269-275, 2005.

KONGKACHUICHA, R.; NAPATTHALUNG, P.; CHAROENSIRI, R. Heme and nonheme iron content of animal products commonly consumed in Thailand. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 15, n. 4, p. 389-398, 2002.

LAWRIE, R. A. The eating quality of meat. **Meat Science**, Barking, v. 5, p. 173-176, 184-188, 2002.

LEE, B. J.; HENDRICKS, D. G.; CORNFORTH, D. P. A comparison of carnosine and ascorbic on color and lipid stability in a ground beef patties model system. **Meat Science**, Barking, v. 51, n. 3, p. 245-253, 1999.

LIU, Y. et al. Changes in structure and color characteristics of irradiated chicken breasts as a function of dosage and storage time. **Meat Science**, Barking, v. 63, n. 3, p. 301-307, 2003.

MARTÍNEZ, C. et al. Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 49, n. 2, p. 106-113, 1999.

MARTINI, F. C. C. **Comparação entre a disponibilidade de ferro na presença de vitamina A e beta-caroteno em alimentos e medicamentos**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MIGUEL, G. Z. **Caracterização da carcaça e da carne de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris* L. 1766) em idade adulta**. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

MOLINS, R. **Food irradiation: Principles and applications**. New York: John Willey, 2001. 469 p.

MUTSCHLER, M. A. et al. Toamyo fruit quality and shelf life in hybrids heterozigous for the alc ripening mutant. **HortScience**, St. Joseph, v. 27, n. 4, p. 352-355, 1992.

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

NCFST files petition seeking FDA approval for irradiation of food packaging. **Food Chemical News**, Kent, v. 42, n. 5, p. 22-24, 2000.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002. 975 p.

NAM, K. C. et al. Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time. **Meat Science**, Barking, v. 58, p. 431-435, 2001.

OLIVEIRA, N. M. S. et al. Comportamento da cor e pH do bacalhau (*Gadus morhua*) tratado por irradiação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE

ALIMENTOS, 9., 2004, Recife. **Ciência e tecnologia de alimentos: estratégia para o desenvolvimento; resumos.** Recife, 2004. 1 CD-ROM.

OMS. Division of Environmental Health Food Safety. **Wholesomeness of irradiated foods: report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee.** Geneva: WHO, 1981. (Technical Report Series, 659).

PEREIRA, A. S. C. Irradiação em alimentos. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, n. 324, fev. 2004. Disponível em: <http://www.dipemar.com.br/CARNE/324/index.htm>. Acesso em: 17 set. 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 10. ed. São Paulo: Nobel, 1982.

PINO, L. M. **Estabilidade oxidativa da carne de frangos alimentados com diferentes fontes lipídicas, armazenadas sob congelamento.** 2005. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RENERRE, M. Biochemical basis of fresh meat colour. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE TECHNOLOGY, 45., 2000, Yokohama. p. 344-353.

SÁ, E. M. F. A influência da água nas propriedades da carne. Parte 2. **Revista da Carne.** Disponível em: [http://www.suino.com.br/carne/noticia.asp?pf\\_id=16248&dept\\_id=2](http://www.suino.com.br/carne/noticia.asp?pf_id=16248&dept_id=2). Acesso em: 06 maio 2004.

SAS Institute. **SAS user's guide: statistic.** Version 6. 12 ed. Cary: SAS Institute, 1998. 846 p.

SCHWARTZ, B. Effect of X-rays on trichinae. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 845-849, 1921.

SHAMSUZZAMAN, K. et al. Microbial and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous-vide treatments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 6, p. 528-533, 1992.

SHIMOKOMAKI, M. et al. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes.** 1. ed. São Paulo: Varela, 2006. 236 p.

SIQUEIRA, A. A. Z. C. **Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da Tilápia (*Oreochromis niloticus*).** 2001. 137 f. Dissertação (Mestrado em

Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOUZA, X. R. **Efeitos de grupo genético, sexo e peso ao bate na qualidade de carne de cordeiros em crescimento**. 2001. 119 p. Dissertação (Mestre em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

TAHYER, D. W. Chemical changes in food packaging resulting from ionizing irradiation. In: HOTCHKISS, J. H. **Food and packaging interactions**. Washington: American Chemical Society, 1988. p. 181-194. (ACS Symposium Series, 365).

TAKEGUCHI, C. A. Irradiation. **Food Technology**, Champaign, v. 52, p. 56-62, 1983.

TARLADGIS, B. G.; WATTS, B. M.; YOUNATHAN, M. T. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, Chicago, v. 37, n. 1, p. 44-48, 1960.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZZACA, S. G.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nos teores de ferro heme e não heme em carne de frango. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 11., 2003, Piracicaba. **Resumos...** São Paulo: USP, 2003. 1 CD-ROM.

TOLEDO, T. C. F. et al. Avaliação nutricional de carne de frango irradiada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 9., 2001, Piracicaba. **Resumos...** São Paulo: USP, 2001. 1 CD-ROM.

TORRENCE, J. D.; BOTHWELL, T. H. A simple technique for measuring storage iron concentrations in formalinised liver samples. **South African Journal of Medical Sciences**, Johannesburg, v. 33, n. 1, p. 9-11, 1968.

VENTURINI, A. C. **Embalagens de transporte (masterpack) com atmosfera modificada e absorvedores de oxigênio para aumento da vida útil de carne bovina**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.