

# Alterações provocadas pela irradiação e armazenamento nos teores de ferro heme em carne de frango

## *Alteration by irradiation and storage at amount of heme iron in poultry meat*

Adriana Régia Marques de SOUZA<sup>1</sup>, Valter ARTHUR<sup>1</sup>, Solange Guidolin CANNIATTI-BRAZACA<sup>2\*</sup>

### 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, 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 se mostrou um bom método para conservação do ferro, visto que aumentou os teores de acordo com o aumento das doses.

**Palavras-chave:** irradiação; ferro heme; frango; armazenamento; pigmentos.

### Abstract

Studies of irradiation and storage effects in chicken were carried out to discover the influence in iron heme, non-heme amount, color and total pigments. Chicken thighs and chicken breast were studied. These were irradiated to 0, 1 and 2 kGy stored by 14 days to 4 °C in refrigerator. Determining the heme content and non-heme of meat was done using the colorimeter method and the Ferrozine reagent. The values of iron heme were influenced both by the irradiation and the storage, reducing the amount throughout the course of time. The iron non-heme was also influenced by the doses and the storage time, however the values increased throughout the course of time, because of the conversion of iron heme in non-heme. The color did not show that it was influenced by the studied doses, except for the storage, and the total number of pigments was affected by the irradiation and the time, reducing the values with the increase of storage. Irradiation was shown to be a good method to conserve iron.

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

## 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. Embora plantas só contenham 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%)<sup>7</sup>.

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<sup>4</sup>.

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<sup>11</sup>.

A irradiação é um método efetivo para a redução microbiana, mas tem significativa influência na coloração da carne. Os processos de irradiação em carnes podem aumentar a tonalidade da cor vermelha, dependendo da espécie, do tipo de músculo e das doses utilizadas<sup>8</sup>.

Sendo o ferro um componente nutricional de essencial importância em carnes, estudos sobre como a irradiação ionizante pode afetar a valência de íons metálicos e influenciar a disponibilidade de ferro em alimentos, têm grande importância,

Recebido para publicação em 19/6/2006

Aceito para publicação em 23/4/2007 (001764)

<sup>1</sup> Laboratório Irradiação de Alimentos e Radioentomologia, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba - SP, Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba - SP, Brasil, E-mail: sgcbraza@esalq.usp.br

\*A quem a correspondência deve ser enviada

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.

## 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, 1 e 2 kGy, empregando-se um irradiador tipo Gamma Cell, com taxa de dose de 0,8 kGy/hora, no Centro de Energia Nuclear da Agricultura, CENA/USP. Após a irradiação, as amostras foram armazenadas em câmaras refrigeradas com temperaturas controladas de  $4 \pm 2$  °C por 15 dias. As análises químicas foram realizadas na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP).

### 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.

#### Ferro heme e ferro não-heme

A determinação do ferro heme foi realizada utilizando-se o método descrito por HORNSEY<sup>7</sup>, 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 AOAC<sup>1</sup>. 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 absorvância do filtrado foi medida a 640 nm, e em seguida, foi calculado o conteúdo de ferro heme através da fórmula abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Hematina} &= Abs_{640nm} * 680 * P_{amostra} \\ \text{Ferroheme} &= \frac{\text{hematina} * 88,2}{P_{amostra} * 10000} \end{aligned} \quad (1)$$

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 BOWTHWELL<sup>19</sup>. Foi adicionado nitrato 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<sup>5,18</sup> os filtrados obtidos acima 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:

$$\text{Fe não-heme} = \frac{(A_u - A_b)}{(A_g - A_b)} * 100 \quad (2)$$

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).

#### 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<sup>1</sup> e MUTSCHLER et al.<sup>10</sup>. Foram levados em consideração os valores de  $a^*$ . As leituras foram feitas com os cortes a 4 °C.

#### Pigmentos totais

O método empregado para a análise de pigmentos totais foi o mesmo utilizado para determinação de ferro heme, de acordo com HORNSEY<sup>7</sup>, 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 AOAC<sup>1</sup>. As amostras foram então centrifugadas por 15 minutos e filtradas. A absorvância 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)<sup>9</sup>, pela fórmula abaixo, e os valores foram expressos em mg.100 g<sup>-1</sup> de amostra.

$$\text{Pig}_{total} = \text{Leitura}_{640} * 680 \quad (3)$$

### 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 ( $p < 0,05$ )<sup>12</sup>, com utilização do programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1998)<sup>13</sup>, através da ferramenta ANOVA.

### 3 Resultados e discussão

#### 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 na Tabela 1. Na Tabela 2 é apresentado o valor da água adicionada em cada amostra para completar 4,5 g na análise de ferro heme.

**Tabela 1.** Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro heme ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) de coxa e filé de peito irradiados.

Corte	Dose (kGy)	0 dias ( $T_1$ )	7 dias ( $T_2$ )	14 dias ( $T_3$ )
Coxa	0	5,03 <sup>A1a2</sup> ± 0,09	1,79 <sup>Bc</sup> ± 0,21	0,93 <sup>Cc</sup> ± 0,21
	1	5,27 <sup>Aa</sup> ± 0,39	2,55 <sup>Bb</sup> ± 0,11	1,60 <sup>Cb</sup> ± 0,10
	2	5,99 <sup>Aa</sup> ± 0,59	3,52 <sup>Ba</sup> ± 0,07	2,33 <sup>Ba</sup> ± 0,21
Filé de peito	0	3,80 <sup>Aa</sup> ± 0,56	2,21 <sup>Bc</sup> ± 0,12	1,96 <sup>Ba</sup> ± 0,11
	1	4,66 <sup>Aa</sup> ± 0,65	4,33 <sup>Aa</sup> ± 0,09	1,95 <sup>Ba</sup> ± 0,08
	2	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; e <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 (g) adicionados nas análises dos cortes, coxa e filé de peito, irradiados e armazenados.

Cortes	Doses (kGy)	0 dia ( $T_1$ )	7 dias ( $T_2$ )	14 dias ( $T_3$ )
Coxa	0	3,28	3,47	3,56
	1	3,38	3,46	3,56
	2	3,27	3,48	3,47
Filé de Peito	0	3,42	3,41	3,39
	1	3,38	3,45	3,39
	2	3,37	3,43	3,41

Os valores de ferro heme para os cortes de frango foram diminuindo conforme a estocagem, como constatado para outros tipos de carnes<sup>5</sup>. 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.<sup>16</sup>, 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  $T_1$  (0 dia) não houve diferenças estatísticas entre as doses empregadas. Essa variação pode ter ocorrido devido as doses utilizadas por TOLEDO<sup>6</sup> serem mais próximas (0, 0,5, 1,0, 1,5) do que as empregadas nesse ensaio.

Valores inferiores no teor de ferro heme foram encontrados por KONGKACHUICHAI et al.<sup>7</sup>, 0,3 e 0,1  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  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.

#### 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.

**Tabela 3.** Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de ferro não-heme ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) de coxa e filé de peito irradiados.

Cortes	Dose (kGy)	0 dias ( $T_1$ )	7 dias ( $T_2$ )	14 dias ( $T_3$ )
Coxa	0	1,69 <sup>B1b2</sup> ± 0,51	3,95 <sup>Aa</sup> ± 0,08	2,18 <sup>Bb</sup> ± 0,39
	1	1,45 <sup>Cb</sup> ± 0,04	3,88 <sup>Ab</sup> ± 0,06	2,07 <sup>Bb</sup> ± 0,13
	2	2,75 <sup>Ba</sup> ± 0,40	4,08 <sup>Aa</sup> ± 0,08	3,18 <sup>Ba</sup> ± 0,17
Filé de peito	0	1,12 <sup>Bb</sup> ± 1,53	3,89 <sup>Ab</sup> ± 0,11	4,43 <sup>Aa</sup> ± 0,12
	1	2,09 <sup>Ba</sup> ± 0,22	4,57 <sup>Aa</sup> ± 0,05	4,16 <sup>Aa</sup> ± 0,29
	2	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.

No tempo  $T_1$  (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.

Para KONGKACHUICHAI et al.<sup>7</sup>, foram relatados teores de 0,6 e 0,3  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  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<sup>5</sup>. 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 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.

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

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

Cortes	Doses (kGy)	0 dias (T <sub>1</sub> )	7 dias (T <sub>2</sub> )	14 dias (T <sub>3</sub> )
Coxa	0	3,67 <sup>A1a2</sup> ± 2,8	0,60 <sup>Ab</sup> ± 0,2	2,12 <sup>Aa</sup> ± 0,5
	1	3,94 <sup>Aa</sup> ± 0,8	2,18 <sup>Aa</sup> ± 0,9	4,03 <sup>Aa</sup> ± 1,3
	2	4,47 <sup>Aa</sup> ± 0,8	3,34 <sup>Aa</sup> ± 0,3	6,90 <sup>Aa</sup> ± 1,4
Filé de peito	0	3,04 <sup>Aa</sup> ± 0,9	1,28 <sup>Ba</sup> ± 0,7	3,45 <sup>Ab</sup> ± 0,5
	1	3,46 <sup>Ba</sup> ± 1,4	2,51 <sup>Ba</sup> ± 2,3	8,38 <sup>Aa</sup> ± 1,3
	2	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; e <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 5.** Efeito da irradiação e do armazenamento nos valores de pigmentos totais (mg.100 g<sup>-1</sup>) de coxa e filé de peito irradiados.

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

doses. Para o filé de peito, no T<sub>2</sub> (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<sub>3</sub>) de armazenamento, apresentando os maiores valores.

Em estudos realizados por LIU et al.<sup>8</sup>, também foi observado maior efeito do armazenamento do que das doses de irradiação empregadas (0, 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 uma 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.

#### 4 Conclusão

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

#### Referências bibliográficas

- BIBBLE; SINGHA, S. Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. **Hort Science**, v. 28, n. 10, p. 992-993, 1993.
- CARPENTER, C. E.; CLARK, E. Evaluation of methods used in meat iron analysis and iron content of raw and cooked meats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, San Diego, v. 43, n. 7, p. 1824-1827, 1995.
- CARTER, P. Spectrophotometric determination of serum iron at the submicrogram level with a new reagent (Ferrozine). **Analytical Biochemistry**, v. 40, n. 2, p. 450-458, 1971.
- CHAIJAN, M. et al. Changes of pigments and color in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage. **Food Chemistry**, v. 93, n. 4, p. 607-617, 2005.
- 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**, v. 68, n. 4, p. 551-558, 2004.
- HORNSEY, H. C. The color of cooked cured pork. **Journal of Science and Food Agricultural**, v. 7, n. 8, p. 534-540, 1956.
- KONGKACHUICHAIL, R.; NAPATTHALUNG, P.; CHAROENSIRI, R. Heme and nonheme iron content of animal products commonly consumed in Thailand. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15, n. 4, p. 389-398, 2002.
- 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.
- 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**, v. 51, n. 3, p. 245-253, 1999.
- MUTSCHLER, M. A. et al. Toamyo fruit quality and shelf life in hybrids heterozigous for the alc ripening mutant. **HortScience**, v. 27, n. 4, p. 352-355, 1992.
- 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.
- SAS Institute. SAS user's guide: statistic. Version 6. 12. ed. Cary, SAS Institute, 1998, 846 p.
- SCHRICKER, B. R.; MILLER, D. D.; STOUFFER, J. R. Measurement and content of noheme and total iron in muscle. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 7, p. 740-743, 1982.
- STOOKEY, L.L. A new spectrophotometric reagent for iron. **Analytical Chemistry**, v. 42, n. 7, p. 779-781, 1970.
- 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.
- TORRENCE, J. D.; BOTHWELL, T. H. A simple technique for measuring storage iron concentrations in formalinised liver samples. **South African Journal Medicine Science**, v. 33, n. 1, p. 9-11, 1968.