

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS, ALIMENTOS E NUTRIÇÃO
ENGENHARIA DE ALIMENTOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANA GABRIELA CAIRES DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO IONIZANTE NA QUALIDADE DE CORTES DE
FRANGO EM DIFERENTES SISTEMAS DE EMBALAGENS: uma revisão de literatura**

CAMPO GRANDE

2024

ANA GABRIELA CAIRES DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO IONIZANTE NA QUALIDADE DE CORTES DE
FRANGO EM DIFERENTES SISTEMAS DE EMBALAGENS: uma revisão de literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador (a): Dr^a. Luciana Miyagusku.

CAMPO GRANDE

2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha imensa gratidão à minha família, que foi meu alicerce em todos os momentos desta jornada. A minha mãe, pelo amor incondicional, pelos conselhos e pelo apoio constante, e aos meus irmãos, que sempre acreditaram no meu potencial e torceram pelo meu sucesso. Ao meu parceiro que esteve ao meu lado em cada momento incentivando nos momentos difíceis e celebrando cada passo dessa caminhada. Sem vocês, essa conquista não teria sido possível.

Aos amigos que estiveram ao meu lado nos momentos de aprendizado e descontração, minha eterna gratidão por compartilharem alegrias, desafios e conquistas. Aos colegas de sala e de estágio, agradeço pela troca de experiências, pelo trabalho em equipe e por me ajudarem a crescer profissionalmente e pessoalmente. Aos professores da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, meu sincero reconhecimento pela dedicação e pelas lições transmitidas, que foram essenciais para minha formação.

Por fim, agradeço à Engenharia de Alimentos por me proporcionar uma visão ampla e apaixonante da área. Cada aula, estágio, vivência acadêmica e profissional me preparou para os desafios da carreira e me trouxe aprendizados inestimáveis. Que essa conquista seja apenas o início de uma jornada repleta de crescimento e realizações.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias obtidas para os valores de TBARS na carne de peito de frango embalada sob atmosferas modificada e armazenada congelada por diferentes períodos.....	18
Tabela 2 - Médias da composição centesimal: umidade (UM), proteína (PB), extrato etéreo (EE) e resíduo mineral fixo (RM), em carne de peito de frango embalada sob atmosfera modificada e mantida sob congelamento por diferentes períodos.....	19
Tabela 3– Médias obtidas para pH, L (luminosidade), a (vermelho), b* (amarelo) na carne de peito de frangos submetidos à irradiação (0 e 3 kGy), armazenado sob refrigeração (4 °C) por diferentes períodos.....	22
Tabela 4 – Médias obtidas para os valores de TBARS na carne de peito de frango submetida à irradiação (0 e 3 kGy) e armazenada sob refrigeração por diferentes períodos.....	28
Tabela 5 – Médias obtidas para composição centesimal: umidade (UM), proteína (PB), extrato etéreo (EE) e resíduo mineral fixo (RM) na carne de peito de frango submetida à irradiação (0 e 3 kGy) armazenada sob refrigeração.....	29
Tabela 6– Médias obtidas dos valores morfométricos das fibras musculares na carne de peitos de frango, submetida à irradiação (0 e 3 kGy), mantida sob refrigeração por diferentes períodos.....	29
Tabela 7 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após um dia de armazenamento.....	31
Tabela 8 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após sete dias de armazenamento.....	32
Tabela 9 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após 14 dias de armazenamento.....	33

RESUMO

A crescente demanda por alimentos seguros e com maior vida útil tem impulsionado a utilização de tecnologias como a radiação ionizante na conservação de alimentos. Este método é eficaz para eliminar ou reduzir microrganismos patogênicos, prolongar a vida útil e manter a qualidade de produtos alimentícios. Em carnes de frango, a radiação pode afetar características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais, dependendo da dose aplicada e do tipo de embalagem utilizada. Este estudo tem como objetivo avaliar a influência da radiação ionizante nas características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais de cortes de peito de frango embalados sob diferentes sistemas, buscando identificar as condições ideais de dose e tipo de embalagem que garantam a segurança microbiológica e a qualidade do produto durante o armazenamento. Foi realizada uma revisão da literatura científica. Os critérios de inclusão envolveram estudos publicados nos últimos 20 anos, abordando o uso de radiação ionizante em cortes de frango embalados. Foram analisadas as doses aplicadas, tipos de embalagem utilizados e seus impactos na qualidade microbiológica, físico-química e sensorial. A revisão evidencia que a radiação ionizante, quando utilizada com doses controladas e sistemas de embalagem adequados, é uma tecnologia promissora para a conservação de cortes de frango. No entanto, mais estudos são necessários para padronizar protocolos que equilibrem segurança microbiológica e manutenção de atributos sensoriais.

Palavras-chave: Radiação ionizante; Conservação de alimentos; Frango.

ABSTRACT

The growing demand for safe foods with extended shelf life has driven the use of technologies such as ionizing radiation for food preservation. This method is effective in eliminating or reducing pathogenic microorganisms, extending shelf life, and maintaining the quality of food products. In chicken meat, radiation can affect microbiological, physicochemical, and sensory characteristics, depending on the dose applied and the type of packaging used. This study aims to evaluate the influence of ionizing radiation on the microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of chicken breast cuts packaged under different systems, seeking to identify the ideal conditions of dose and packaging type that ensure microbiological safety and product quality during storage. A literature review was conducted using scientific articles. The inclusion criteria involved studies published in the last 20 years addressing the use of ionizing radiation in packaged chicken cuts. The applied doses, types of packaging used, and their impacts on microbiological, physicochemical, and sensory quality were analyzed. The review highlights that ionizing radiation, when used with controlled doses and suitable packaging systems, is a promising technology for preserving chicken cuts. However, further studies are needed to standardize protocols that balance microbiological safety and the maintenance of sensory attributes.

Keywords: Ionizing radiation; Food preservation; Chicken.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	8
3. METODOLOGIA	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 4.1 EFICÁCIA E LIMITAÇÕES DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO DE	10
ALIMENTOS	10
4.2 EFEITOS DA IRRADIAÇÃO IONIZANTE NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E SENSORIAL EM CARNES	13
4.3 CARNES ARMAZENADAS SOB REFRIGERAÇÃO	15
4.4 CARNES ARMAZENADAS SOB CONGELAMENTO	17
4.5 EFEITO SOBRE PARÂMETROS DE QUALIDADES DE CARNE DE PEITO DE FRANGO EMBALADA COM ATMOSFERA MODIFICADA EM DIFERENTES PERÍODOS DE ARMAZENAMENTO	22
CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1.INTRODUÇÃO

A busca por métodos eficientes de conservação de alimentos tem sido um desafio constante na indústria alimentícia, principalmente em relação à carne de frango, um dos produtos mais consumidos mundialmente. A radiação ionizante tem se destacado como uma tecnologia promissora para aumentar a segurança microbiológica e prolongar a vida útil dos alimentos perecíveis. Trata-se de um processo no qual os alimentos são submetidos a radiações ionizantes, como raios gama (geralmente emitidos por isótopos de Cobalto-60 e Césio-137), feixe de elétrons ou raios-X, visando a inativação de micro-organismos, parasitas e outros agentes que possam comprometer a qualidade e a segurança do alimento (Pelicia et al., 2015).

A carne de frango, por suas características intrínsecas, como alto teor de água e pH favorável ao crescimento de micro-organismos, é especialmente suscetível à deterioração microbiológica e ao desenvolvimento de patógenos, como *Salmonella* spp. e *Escherichia coli* (Miyagusku *et al.*, 2003). Estudos têm demonstrado que doses de radiação ionizante variando entre 1,5 e 7,0 kGy podem eliminar coliformes fecais e totais, além de patógenos relevantes, sem comprometer as propriedades sensoriais da carne, como textura, sabor e cor (Abu-Tarboush, 1997).

Além disso, a combinação da radiação com diferentes sistemas de embalagens, como atmosfera modificada e embalagens a vácuo, tem se mostrado eficaz para reduzir perdas por exsudação, preservar a capacidade de retenção de água (CRA) e minimizar a oxidação lipídica, como indicado por Leonel (2008). Tais avanços tecnológicos têm o potencial de atender à crescente demanda por alimentos mais seguros e com maior vida útil, além de contribuir para a redução de desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos.

Dados recentes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) estimam que mais de 50 milhões de toneladas de carne de frango são consumidas anualmente em todo o mundo, com projeções de crescimento nos próximos anos. No Brasil, o segundo maior produtor global de carne de frango, a produção anual ultrapassa 14 milhões de toneladas, com exportações destinadas a mais de 150 países (FAO, 2023). Nesse contexto, a adoção de tecnologias como a radiação ionizante apresenta-se como uma ferramenta essencial para manter a competitividade no mercado internacional e assegurar padrões de qualidade elevados.

Diante disso, como a radiação ionizante pode influenciar a qualidade microbiológica, físico-química e sensorial de cortes de frango embalados sob diferentes sistemas, promovendo maior segurança do alimento e o prolongamento da vida útil do produto.

Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a influência da radiação ionizante nas características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais de cortes de peito de frango embalados sob diferentes sistemas, buscando identificar as condições ideais de dose e tipo de embalagem que garantam a segurança microbiológica e a qualidade do produto durante o armazenamento.

A escolha do tema "Influência da radiação ionizante na qualidade de cortes de frango em diferentes sistemas de embalagens" justifica-se pela crescente demanda por alimentos seguros, com maior vida útil e que atendam aos padrões rigorosos de qualidade exigidos pelo mercado global. A carne de frango, uma das mais consumidas no mundo, é particularmente suscetível à deterioração microbiológica devido às suas características intrínsecas, como alto teor de umidade e pH favorável ao crescimento de micro-organismos. Nesse contexto, a radiação ionizante destaca-se como uma tecnologia eficaz para eliminar patógenos, reduzir a deterioração e preservar a qualidade sensorial do produto, especialmente quando combinada com sistemas de embalagens como atmosfera modificada e a vácuo. Além disso, evidenciam que doses adequadas de radiação, podem prolongar significativamente a vida útil da carne de frango sem comprometer suas características sensoriais, contribuindo para a redução de desperdícios e maior competitividade no mercado internacional.

Assim, investigar o impacto da radiação ionizante sob diferentes condições de embalagem não apenas amplia o conhecimento científico, mas também oferece soluções práticas para desafios reais enfrentados pela indústria alimentícia.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão de literatura, com o objetivo de analisar estudos relevantes do passado sobre a influência da radiação ionizante na qualidade de cortes de frango em diferentes sistemas de embalagens. Esse método permitiu identificar a evolução científica e tecnológica na área, compreendendo como os sistemas de radiação e embalagens foram desenvolvidos e aprimorados ao longo do tempo. Segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa analisou registros e documentos para interpretar os fenômenos em seu contexto de desenvolvimento.

A abordagem foi qualitativa e descritiva, possibilitando identificar os principais avanços, limitações e perspectivas relatadas nos estudos selecionados. De acordo com Gil (2008), a pesquisa qualitativa interpretou os dados no contexto social, histórico e técnico em que foram produzidos, fornecendo uma visão abrangente sobre o tema.

A coleta de dados foi realizada em bases científicas confiáveis, como *SciELO* e *Google Scholar*, utilizando descritores previamente definidos. Os descritores empregados foram: radiação ionizante, qualidade de cortes de frango, sistemas de embalagens alimentícias e conservação de alimentos irradiados

As buscas abrangeram estudos publicados desde o início das aplicações comerciais da radiação ionizante em alimentos, com foco em trabalhos de relevância científica. Os critérios de inclusão consideraram artigos que abordassem diretamente a interação entre radiação e qualidade de cortes de frango, bem como os sistemas de embalagem utilizados.

Foram incluídos na revisão artigos publicados em revistas científicas indexadas, livros e documentos técnicos que apresentavam dados sobre o impacto da radiação ionizante em cortes de frango, com destaque para os sistemas de embalagens aplicados. Foram excluídos estudos que não especificaram os métodos de radiação utilizados ou que abordaram outros tipos de alimentos sem referência direta ao tema principal.

Os dados foram analisados de forma descritiva, considerando o contexto temporal e os avanços tecnológicos registrados em cada período. A interpretação foi realizada com base nos critérios qualitativos, seguindo as orientações de Bardin (2011) para análise de conteúdo, o que permitiu identificar padrões, tendências e lacunas nos estudos analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFICÁCIA E LIMITAÇÕES DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

O estudo de Passos e Mendes (2017) avaliou a eficiência da radiação gama como método de conservação de carnes, destacando sua capacidade de reduzir microrganismos patogênicos e prolongar a vida útil do alimento. Os autores concluíram que o processo é seguro, não gera resíduos e preserva as características físico-químicas e sensoriais, como textura, sabor e cor, desde que aplicada em doses controladas. Assim, a técnica mostrou-se eficaz na garantia da segurança do alimento, ampliando o tempo de conservação sem comprometer a qualidade do produto. Contudo,

o estudo enfatizou que a irradiação não resolve todos os problemas de deterioração sozinha. Para evitar recontaminação, os alimentos irradiados devem ser mantidos em condições assépticas. Além disso, os autores ressaltaram a importância de conscientizar a população brasileira sobre os benefícios e a segurança do método, considerando o baixo conhecimento geral sobre o tema. Apesar desses desafios, a técnica foi apontada como uma solução promissora e sustentável para atender as crescentes demandas por alimentos mais seguros e com maior durabilidade.

Os achados de Badr (2012) no contexto da aplicação da radiação gama em alimentos apontam a eficácia desse método como ferramenta para controle microbiológico e preservação da qualidade dos produtos, particularmente em peixes defumados a frio, como o salmão. O estudo demonstrou que doses de 3 kGy foram capazes de inativar significativamente microrganismos patogênicos, como *Listeria monocytogenes* e *Vibrio parahaemolyticus*, além de reduzir as populações microbianas de bactérias mesofílicas, psicrófilas, anaeróbias, lácticas e fungos. Essa redução microbiana também diminuiu a formação de aminas biogênicas, indicando uma melhoria substancial na segurança do alimento. Apesar disso, o tratamento não alterou parâmetros como umidade, salinidade e pH, preservando características físico-químicas importantes. Contudo, observou-se uma redução de compostos fenólicos e um aumento nos níveis de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, evidenciando alguns impactos químicos limitados. Importante destacar que o processo não comprometeu a aceitabilidade sensorial do produto, validando a aplicação do método em doses até 3 kGy para o salmão defumado.

A discussão dos resultados ressalta a versatilidade da radiação gama como ferramenta eficaz e segura para a conservação de alimentos, oferecendo um equilíbrio entre a redução de microrganismos patogênicos e a manutenção da qualidade sensorial. Entretanto, os achados de Badr (2012) alerta para a necessidade de monitorar alterações químicas secundárias, como a degradação de compostos fenólicos e o aumento de substâncias oxidativas, que podem impactar a qualidade a longo prazo. Esses resultados reforçam a aplicabilidade da irradiação no controle de riscos microbiológicos em alimentos, destacando sua viabilidade como alternativa para melhorar a segurança do alimento, desde que acompanhada de boas práticas de manuseio e armazenamento.

O estudo de Oliveira et al. (2009) demonstrou a eficácia da radiação gama na redução de microrganismos em peitos de frango embalados convencionalmente e a vácuo, submetidos a doses de 1,5 e 3,0 kGy e armazenados sob refrigeração por 30 dias. A dose de 3,0 kGy destacou-se no controle de microrganismos como *Salmonella spp.*, mesófilos aeróbios e coliformes, ampliando a

vida útil do produto em até 10 dias sem comprometer a segurança do alimento. Apesar da resistência de bolores e leveduras à radiação, os resultados apontaram a irradiação como uma alternativa viável para garantir a qualidade e a segurança microbiológica do frango refrigerado, especialmente quando combinada com o uso de embalagens a vácuo.

Comparando com os estudos de Passos e Mendes (2017) e Badr (2012), algumas similaridades e diferenças são notáveis. Assim como Oliveira *et al.* (2009), Passos e Mendes (2017) observaram a eficácia da irradiação no controle de patógenos, mas enfatizaram a necessidade de boas práticas pós-processamento para evitar recontaminação. Bardin, por sua vez, ampliou a discussão ao abordar impactos químicos secundários, como a degradação de compostos fenólicos, não explorados no estudo de Oliveira *et al.* (2009). Embora as abordagens variem, os estudos convergem na validação da radiação gama como uma solução segura e eficaz para prolongar a vida útil e assegurar a qualidade microbiológica de alimentos perecíveis. Esses achados destacam a importância de estratégias integradas que combinem irradiação, armazenamento adequado e boas práticas para maximizar seus benefícios.

Lacroix e Ouattara (2000) destacaram a irradiação como uma alternativa promissora para garantir a segurança do alimento e preservar produtos alimentícios, abordando seu potencial para atender exigências de quarentena e mitigar perdas severas durante o transporte e comercialização. Os autores enfatizaram que a irradiação é eficaz no controle de parasitas, insetos, ácaros e microrganismos, contribuindo significativamente para a redução de contaminações e prolongando a vida útil dos alimentos. Além disso, o estudo explorou aplicações práticas dessa tecnologia em diferentes categorias de alimentos, demonstrando sua viabilidade como uma solução sustentável para melhorar a qualidade e a segurança dos produtos destinados ao consumo humano.

O estudo de Ham *et al.* (2017) investigou o impacto de diferentes fontes de radiação (raios gama, feixe de elétrons e raios X) e níveis de dose (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 kGy) nas propriedades físico-químicas, organolépticas e microbiológicas de hambúrgueres de carne bovina cozidos e linguiças de porco durante 10 dias de armazenamento a 30 ± 1 °C. O pH dos produtos permaneceu inalterado independentemente da fonte ou dose de radiação. A coloração vermelha dos hambúrgueres diminuiu linearmente com o aumento da dose, especialmente sob feixe de elétrons, enquanto nas linguiças foi aumentada por raios gama e reduzida por feixe de elétrons. A aceitabilidade geral das linguiças não foi significativamente afetada ($P > 0,05$), mas os hambúrgueres irradiados com raios gama apresentaram uma aceitabilidade reduzida em função da

dose ($P < 0,05$). A oxidação lipídica foi acelerada pela radiação, variando conforme a fonte e o nível de dose. Microbiologicamente, o feixe de elétrons foi mais eficaz na redução de bactérias aeróbias totais em hambúrgueres, enquanto os raios gama mostraram maior eficácia na redução de microrganismos em linguças. Esses resultados indicam que a fonte de radiação tem impacto significativo na qualidade, especialmente na cor, oxidação lipídica e propriedades microbiológicas dos produtos cárneos (Ham *et al.*, 2017).

Henry (2009) destacou que a irradiação de alimentos, realizada com raios gama, elétrons de alta energia ou raios X, pode induzir a formação de compostos de carbonil nas frações lipídicas e proteicas da carne, cujo aumento é dose-dependente, mas reduzido pelo cozimento. Compostos voláteis como 1-hepteno, 1-noneno e aldeídos (propanal, pentanal e hexanal) são afetados pela dose de radiação e pelo tipo de embalagem (aeróbica ou a vácuo), enquanto compostos sulfurosos contribuem para o odor do alimento irradiado. A diminuição da temperatura durante a irradiação reduz a formação de radicais livres e os efeitos indesejáveis de odor/sabor. Métodos como embalagens a vácuo, gases inertes (azoto) e antioxidantes são eficazes para mitigar os efeitos prejudiciais, preservando a qualidade sensorial do alimento.

4.2 EFEITOS DA IRRADIAÇÃO IONIZANTE NA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E SENSORIAL EM CARNES

Xavier (2011) avaliou os efeitos da irradiação gama (4,5 kGy) e da adição de antioxidantes (eritorbato de sódio) na qualidade de carne moída bovina refrigerada a 2 °C durante 42 dias. O estudo demonstrou que a combinação de irradiação e antioxidante manteve a estabilidade da composição centesimal da carne e níveis aceitáveis de pH ao longo do armazenamento. A oxidação lipídica, medida pelo teste de TBARS, foi maior nas amostras irradiadas, especialmente nos dias 16 e 42, mas foi significativamente reduzida pela adição de antioxidantes, que se mostrou eficaz em controlar a degradação lipídica. Esses resultados indicam que a associação da irradiação gama com antioxidantes é uma estratégia eficiente para preservar a qualidade da carne durante o armazenamento refrigerado.

Esses resultados estão alinhados com os achados de Mistura e Colli (2001), que também não identificou diferenças significativas nos níveis de lipídeos, proteínas, umidade e resíduo mineral fixo em carne bovina submetida ou não à irradiação gama. De forma semelhante, Bueno (2008) não observou alterações na composição centesimal em amostras de peito de frango irradiado

em comparação às não irradiadas, corroborando a estabilidade nutricional dos alimentos processados por essa técnica.

Machado (2009) conduziu uma avaliação com carne bovina moída, em forma de bifês e porções de 1,5 kg, congeladas e armazenadas por diferentes períodos (30, 60, 90 e 120 dias). O estudo concluiu que não houve diferenças significativas entre as formas de preparo e os tempos de estocagem, indicando que o congelamento é eficaz em manter as características da carne, independentemente do formato ou da duração do armazenamento.

Esses dados contrastam com os achados de Ahn e Nam (2004), que investigaram os efeitos da adição de ácido ascórbico e antioxidantes na cor, oxidação lipídica e compostos voláteis de carne moída bovina irradiada. O estudo revelou mudanças significativas na coloração da carne, incluindo a redução da vermelhidão e alterações perceptíveis na cor visual, atribuídas ao processo de irradiação. Essas modificações sugerem que a irradiação pode impactar as propriedades visuais da carne, mesmo com o uso de antioxidantes.

Brewer (2009) atribuiu as alterações de cor causadas pela irradiação em carnes à susceptibilidade da molécula de mioglobina, destacando diversos fatores que podem influenciar essa susceptibilidade. Entre os fatores mencionados estão as condições iniciais da mioglobina, mudanças no potencial de oxidação-redução do tecido, formação de compostos ligantes com substâncias orgânicas endógenas e água, além de parâmetros como temperatura, pH e concentração de mioglobina no sistema. O autor também sugeriu estratégias para preservar a coloração ideal da carne durante a irradiação, como a inclusão de antioxidantes na dieta dos animais antes do abate, a adição de antioxidantes diretamente na carne, o uso de embalagens adequadas para armazenamento e o rigoroso controle da temperatura durante a estocagem. Essas medidas visam mitigar os efeitos da irradiação na coloração e preservar a qualidade visual do produto.

Lim *et al.* (2008) investigaram os efeitos de diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons nas propriedades microbiológicas de linguiças fermentadas, bem como o impacto combinado da irradiação e de diferentes antioxidantes na estabilidade oxidativa e nas características sensoriais durante o armazenamento refrigerado. Os resultados indicaram que a dose de 2 kGy foi a mais eficaz para o processamento das linguiças fermentadas. Além disso, a adição de extrato de alecrim demonstrou ser eficiente no controle da formação de sabores indesejados e na redução da oxidação lipídica ao longo do armazenamento refrigerado, contribuindo para a preservação da qualidade sensorial do produto.

4.3 CARNES ARMAZENADAS SOB REFRIGERAÇÃO

O estudo de Canizares (2008) avaliou o impacto da irradiação (0 e 3 kGy) e do período de armazenamento sob refrigeração (4 °C) e congelamento (-18 °C) em peitos de frango desossados e sem pele. Foram observadas alterações em parâmetros de qualidade, como pH, perda por cozimento, força de cisalhamento e retenção de água, sem comprometimento das características nutricionais da carne. Sob congelamento, as alterações estruturais nas fibras musculares foram mais evidentes devido à irradiação. Apesar disso, as características sensoriais da carne cozida permaneceram inalteradas, embora tenha sido detectada a presença de aroma estranho na carne crua, tanto armazenada sob refrigeração quanto congelada. Esses achados destacam a influência do armazenamento e da irradiação na qualidade da carne de frango, preservando, contudo, sua aceitabilidade sensorial.

Não foram identificadas diferenças significativas nos valores de pH da carne do peito de frango submetida ao resfriamento, tanto entre os tratamentos quanto ao longo do período de armazenamento. Esses resultados indicam que os músculos já haviam passado pela resolução do rigor mortis, uma vez que o pH permaneceu estável independentemente dos tratamentos aplicados. Conforme descrito por Lawrie (1991), o pH muscular reflete o processo de glicólise post mortem, no qual o glicogênio é convertido em ácido lático, resultando no acúmulo desse composto como produto no tecido muscular. Isso reforça que o equilíbrio metabólico foi alcançado antes da análise, garantindo a uniformidade do parâmetro entre os grupos estudados.

Os resultados de luminosidade (L^*) da carne de peito de frango mantida sob refrigeração mostraram uma interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento. Aos 21 dias de armazenamento, observou-se que as amostras não irradiadas apresentaram valores menores de luminosidade em comparação com as irradiadas. Essa diferença pode ser atribuída ao aumento da carga microbiana em períodos prolongados de armazenamento refrigerado, conforme relatado por Cardoso (2008) em condições experimentais semelhantes. Estudos realizados por Azevedo *et al.* (2003), Lewis *et al.* (2002) e Millar, Moss e Stevenson (2000) indicaram que a irradiação não influenciou a luminosidade em carne de frango. Resultados semelhantes foram obtidos por Nam e Ahn (2003) e Yan *et al.* (2006) em avaliações realizadas com carnes de peru.

Em relação ao tempo de armazenamento, verificou-se que, nas amostras não irradiadas, os valores de luminosidade variaram ao longo do período avaliado. Por outro lado, as amostras irradiadas apresentaram estabilidade nos valores de luminosidade durante todo o armazenamento.

Esses resultados são consistentes com os estudos de Zhu et al. (2004), realizados com lombo suíno, e de Nam, Mendonça e Ahn (2003), que avaliaram carnes de peru, e não encontraram efeitos significativos da irradiação ou do tempo de armazenamento sobre a luminosidade. Esses achados reforçam que a irradiação pode contribuir para a manutenção das propriedades visuais da carne ao longo do armazenamento refrigerado.

Nos valores de intensidade de vermelho (a^*) na carne de peito de frango resfriada, foi observada uma diferença estatisticamente significativa. A irradiação aumentou os valores de a^* , tornando a carne visivelmente mais avermelhada após o tratamento, e essa alteração permaneceu consistente durante os períodos de armazenamento avaliados. Esses resultados indicam que a irradiação influencia diretamente a tonalidade da carne, promovendo uma coloração mais intensa que se mantém ao longo do tempo, mesmo sob refrigeração. Achados semelhantes foram relatados em estudos prévios. Millar et al. (2000), Lewis *et al.* (2002), Azevedo *et al.* (2003), e Souza, Arthur e Canniatti (2007) também observaram o aumento da intensidade de vermelho em carnes de frango submetidas à irradiação. Além disso, pesquisas realizadas por Millar *et al.* (2000), Nam e Ahn (2003) e Yan *et al.* (2006) com carne de peru confirmaram resultados similares, evidenciando a consistência do efeito da irradiação sobre a coloração em diferentes tipos de aves. Esses dados reforçam que a irradiação pode ser um fator determinante para a melhoria ou preservação das características visuais da carne durante o armazenamento.

De acordo com Urbain (2018), a irradiação de carne com doses de esterilização (menores que 10 kGy) pode causar alterações na coloração, conferindo um tom rosado à carne de frango e tons marrons ou cinza às carnes vermelhas. Nan e Ahn (2002 a, b) atribuíram o aumento da intensidade de vermelho em carnes de peru irradiadas à formação do complexo monóxido de carbono-mioglobina (CO-Mb). Essas alterações resultam da redução do íon ferro da mioglobina, provocada pela excitação de elétrons gerada pelo processo de irradiação, em combinação com oxigênio ou água presente na embalagem. Esse fenômeno transforma a mioglobina em oximioglobina, responsável pela coloração avermelhada observada.

Quanto aos valores de intensidade de amarelo (b^*), a irradiação não apresentou efeitos significativos nessa variável. Esses resultados são consistentes com os achados de Gomes et al. (2003), Yan et al. (2006), e Nam e Ahn (2003), que não observaram alterações para doses de irradiação entre 1,8 e 4,0 kGy. No entanto, esses dados divergem de Lewis *et al.* (2002) e Millar *et al.* (2000), que relataram alterações nos valores de b^* com doses de 1,8 e 5,0 kGy, respectivamente. Alterações nos valores de b^* também foram associadas ao período de armazenamento, com maiores

valores observados aos 21 dias, possivelmente devido às condições microbiológicas. Segundo Azevedo *et al.* (2003), amostras refrigeradas submetidas a doses de 3 kGy mantiveram padrões microbianos aceitáveis para carne de frango fresca por até 10 dias. Esses resultados reforçam a influência da irradiação e das condições de armazenamento na preservação e nas características visuais da carne.

Souza *et al.* (2007) avaliaram os teores de ferro heme, não heme e pigmentos totais em carnes submetidas à irradiação, constatando que esses parâmetros foram impactados pelo processo, com maior influência atribuída ao tempo de armazenamento. Observou-se que a irradiação, com doses de até 2 kGy, teve impacto menos significativo na coloração da carne em comparação com o efeito causado pelo período de armazenamento. Isso sugere que alterações na cor estão mais relacionadas a processos oxidativos e microbiológicos ao longo do tempo do que diretamente à dose de irradiação aplicada.

Além disso, a irradiação mostrou potencial para influenciar o aspecto nutricional da carne, promovendo a concentração de teores de ferro, o que pode ser benéfico do ponto de vista alimentar. O aumento da concentração de ferro heme pode estar relacionado à interação da radiação com a mioglobina, alterando sua estrutura e favorecendo a estabilidade ou disponibilidade desse elemento. Esses achados destacam a relevância de combinar estratégias de armazenamento e controle de doses de irradiação para preservar tanto a qualidade visual quanto os valores nutricionais da carne ao longo do seu ciclo de vida (Souza *et al.*, 2007).

4.4 CARNES ARMAZENADAS SOB CONGELAMENTO

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes aos valores de TBARS (indicativos de oxidação lipídica), pH e cor dos peitos de frango submetidos a diferentes condições de armazenamento sob congelamento. Os dados foram obtidos em amostras não irradiadas e irradiadas, avaliadas nos períodos de 1, 45 e 90 dias de armazenamento.

Tabela 1 - Médias obtidas para os valores de TBARS na carne de peito de frango embalada sob atmosferas modificada e armazenada congelada por diferentes períodos

Tempo de Armazenamento (T) dias	ATM1	ATM2	VÁCUO	MÉDIA	NS
---------------------------------	------	------	-------	-------	----

01	0,34 A	0,36 Axy	0,22 By	0,30	0,0026
45	0,27	0,25 y	0,32 xy	0,28	0,2318
90	0,35	0,39 x	0,33 x	0,36	0,4566
Média	0,32	0,33	0,29		0,2380
A × T					0,0125
NS	0,0677	0,0045	0,0123	0,0052	

Médias com letras distintas, Maiúscula (A-C) nas linhas e minúsculas (x-z) nas colunas, diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer. NS= Nível de significância.

Fonte: Canizares, 2008.

Os resultados indicam que o pH das amostras permaneceu estável ao longo dos períodos avaliados, independentemente das condições de armazenamento e do tipo de embalagem utilizada (atmosfera modificada ou vácuo). Em relação à cor, observou-se que os tratamentos com atmosfera modificada (ATM1 e ATM2) e vácuo apresentaram variações significativas dependendo do tempo de armazenamento, especialmente nos períodos mais prolongados, como 90 dias. As amostras sob atmosfera modificada apresentaram maior intensidade de oxidação lipídica (medida em TBARS) nos tempos mais longos de armazenamento, enquanto o vácuo demonstrou maior estabilidade, com valores inferiores de TBARS e menor influência na qualidade visual e sensorial do produto (Canizares, 2008).

Esses resultados destacam a importância do tipo de embalagem e das condições de armazenamento na preservação da qualidade físico-química e sensorial da carne de frango congelada ao longo do tempo. A escolha da embalagem apropriada pode minimizar os efeitos da oxidação lipídica e manter os padrões de cor e pH da carne, garantindo maior estabilidade do produto durante o armazenamento prolongado (Canizares, 2008).

Os valores de pH não foram significativamente alterados pela irradiação, indicando que os músculos das amostras já haviam passado pela resolução do rigor mortis, uma vez que o pH não apresentou diferenças entre os tratamentos empregados. De acordo com Lawrie (1991), o pH muscular reflete o processo de glicólise pós-morte, no qual o glicogênio é convertido em ácido láctico, resultando no acúmulo desse composto como produto nos tecidos musculares. Estudos anteriores, como os de Leonel (2008), que avaliaram frangos, e Costa (2006), que analisou perus armazenados sob congelamento, também não relataram efeitos da irradiação sobre os valores de pH, corroborando esses resultados. No entanto, foi observado que o período de armazenamento influenciou o pH ao longo do tempo. Costa (2006) relatou um aumento nos valores de pH em carnes de perus armazenadas por 18 meses, indicando uma possível relação com a degradação metabólica prolongada durante o congelamento. Por outro lado, Leonel (2008), ao avaliar carnes de frango

armazenadas por seis meses, não identificou alterações significativas nos valores de pH em função do tempo de armazenamento. Esses resultados sugerem que a influência do tempo de armazenamento sobre o pH pode variar entre diferentes tipos de carne e condições de estocagem.

A avaliação da luminosidade (L^*) na carne de peito de frango congelado revelou que a irradiação e o período de armazenamento não exerceram influência significativa sobre essa variável. Em relação à intensidade de vermelho (a^*), verificou-se que a irradiação promoveu um aumento, tornando a carne irradiada mais avermelhada em comparação às amostras não irradiadas. Esses achados estão alinhados com os resultados reportados por Leonel (2008), que também observaram elevação na intensidade de vermelho em carnes irradiadas. Por outro lado, a análise da intensidade de amarelo (b^*) demonstrou que as amostras irradiadas apresentaram menores valores de b^* em comparação às não irradiadas, indicando que a irradiação altera a tonalidade amarelada da carne durante o congelamento. Esses resultados corroboram os dados de Leonel (2008), reforçando que a irradiação pode impactar aspectos cromáticos da carne congelada, particularmente nas variáveis relacionadas à intensidade de vermelho e amarelo.

As comparações entre os peitos de frango congelados não irradiados e irradiados para os valores de b^* indicaram que as amostras irradiadas apresentaram menores níveis de intensidade de amarelo. Isso demonstra que a irradiação, sob condições de congelamento, influencia a tonalidade amarelada da carne. Esses resultados estão em concordância com os achados de Leonel (2008), que também observaram alterações na intensidade de amarelo em carnes irradiadas. Os dados referentes aos diferentes períodos de armazenamento para as variáveis de capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC), perda de exsudado (PE), capacidade de absorção de água (CAA) e desnaturação proteica (DP) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias da composição centesimal: umidade (UM), proteína (PB), extrato etéreo (EE) e resíduo mineral fixo (RM), em carne de peito de frango embalada sob atmosfera modificada e mantida sob congelamento por diferentes períodos.

Variáveis	Tempo (A) dias	ATM1	ATM2	VÁCUO	Média	NS
UM (%)	1	75,25 A	75,45 A	74,75 A	75,23	0,2061
	45	75,82 A	75,42 A	75,00 A	75,42	0,4758
	90	74,88 A	74,80 A	75,00 A	74,89	0,1606
	Média	75,32	75,22	74,92	75,15	0,5668
	A × T	0,4700	0,1948	0,8450	0,4859	0,4422
PB (%)	1	23,80 A	23,52 A	23,45 A	23,59	0,2863

		23,58	23,42	23,25	23,42	0,3872
			0,0340	0,0101	0,0284	0,1254
	45	23,58 A	23,45 A	23,23 A	23,42	0,1646
	90	23,35 A	23,30 A	23,17 A	23,27	0,2273
	Média					
	A × T	NS				
EE (%)	1	0,52 A	0,51 A	0,50 A	0,51	0,0891
	45	0,59 A	0,59 A	0,56 A	0,58	0,0918
	90	0,53 A	0,51 A	0,49 A	0,51	0,1862
	Média	0,55	0,54	0,52	0,54	0,0618
	A × T	0,0156	0,3035	0,0814	0,1076	0,2990
RM (%)	1	1,18 A	1,17 A	1,16 A	1,17	0,2001
	Média	1,14	1,14	1,13	1,13	0,4127
	A × T	0,3464		0,0394		
<u>Médias com letras distintas, Maiúscula (A-C) nas linhas e minúsculas (x-z) nas colunas, diferem entre si (p≤ 0,05) pelo</u>						
	45	1,14 A	1,14 A	1,12 A	1,13	0,2947
	90	1,11 A	1,12 A	1,12 A	1,11	0,4101
			0,1504		0,0401	0,2412

teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer. NS= Nível de significância. Fonte: Canizares, 2008.

A capacidade de retenção de água (CRA) foi significativamente afetada pela irradiação, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores. Nos períodos de 1 e 45 dias de armazenamento, as amostras irradiadas apresentaram menores valores de CRA em comparação às amostras não irradiadas; entretanto, aos 90 dias, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos. Quanto ao efeito isolado do tempo de armazenamento, foi observada uma redução progressiva da CRA nas amostras não irradiadas ao longo do período de congelamento. Em contrapartida, nas amostras submetidas à irradiação, a CRA permaneceu constante, independentemente da duração do armazenamento. Esses achados sugerem que a irradiação pode contribuir para maior estabilidade na retenção de água da carne, especialmente em condições de armazenamento prolongado, preservando assim sua qualidade funcional (Canizares, 2008).

Ao avaliar doses de irradiação de até 3 kGy, Leonel (2008) não identificou efeitos da radiação sobre a capacidade de retenção de água (CRA). No entanto, o tempo de armazenamento influenciou essa variável, com uma redução observada nos primeiros quatro meses de congelamento, seguida por um aumento nos valores de CRA aos seis meses de armazenamento. As perdas de peso por cocção apresentaram diferenças significativas em função da irradiação, do período de armazenamento e da interação entre ambos. Essas perdas foram maiores nas amostras irradiadas após um dia de armazenamento, mas, nos demais períodos avaliados, não houve diferenças significativas entre as carnes irradiadas e não irradiadas. Em relação ao efeito do tempo, tanto as amostras não irradiadas quanto as irradiadas apresentaram as maiores perdas por cocção no início do armazenamento. Esses resultados estão de acordo com os achados de Leonel (2008).

Para a variável força de cisalhamento, foi observada uma maior resistência nas carnes submetidas à irradiação, corroborando os resultados relatados por Leonel (2008). Apesar do aumento significativo na força necessária para cisalhamento, essas alterações não foram perceptíveis na análise sensorial. Quanto ao tempo de armazenamento, este não teve impacto significativo sobre a força de cisalhamento. Leonel (2008), entretanto, observou uma redução nessa variável ao longo de dois meses de armazenamento, com valores retornando a níveis semelhantes ao início do período após quatro meses. Esses dados reforçam que, embora a irradiação possa impactar algumas propriedades físico-químicas da carne, os efeitos nem sempre são percebidos sensorialmente pelos consumidores.

As diferenças no percentual de perdas por exsudação foram significativamente influenciadas pela irradiação, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre ambos. No período inicial de armazenamento, os tratamentos submetidos à irradiação apresentaram maiores perdas de exsudado, enquanto, nos demais períodos, não foram observadas diferenças significativas entre as carnes irradiadas e não irradiadas. Em relação ao tempo de armazenamento, as maiores perdas foram registradas aos 90 dias nas carnes não irradiadas, enquanto, nas irradiadas, ocorreram tanto no início quanto no final do período avaliado. Leonel (2008) relatou perdas mais elevadas por exsudação aos dois meses de armazenamento nas amostras irradiadas, com uma redução gradativa dessas perdas ao longo de seis meses de armazenamento.

Ao analisar a capacidade de absorção de água, verificou-se uma interação significativa entre irradiação e tempo de armazenamento (probabilidade de 0,0899). Essa interação resultou na redução da capacidade de absorção de água nas carnes não irradiadas, enquanto nas irradiadas esse efeito não foi observado, indicando maior estabilidade no tratamento irradiado. Os valores de

desnaturação proteica também foram influenciados pela irradiação, mas apenas no período inicial de avaliação, quando as carnes irradiadas apresentaram maior desnaturação. Em relação ao tempo de armazenamento, tanto nos tratamentos irradiados quanto nos não irradiados, houve uma redução progressiva dos valores de desnaturação proteica ao longo do armazenamento (Canizares, 2008). Esses resultados sugerem que a irradiação exerce impacto inicial significativo sobre a estrutura proteica e a estabilidade das carnes, mas esses efeitos tendem a se equilibrar com o passar do tempo.

Du, Hur e Ahn (2002) observaram que a irradiação com dose de 3 kGy alterou o odor da carne de frango cozida mantida sob congelamento. Por outro lado, Javanmard *et al.* (2006) relataram que doses de até 5 kGy não comprometeram a qualidade sensorial de carne de frango congelada. Hashin, Resurreccion e Mcwalters (1995) destacaram que a irradiação de carne de frango crua resulta em um aroma característico, descrito como doce e com notas de sangue, o qual desaparece após a cocção. Em um estudo com carne bovina moída, Wheeler, Shackelford e Koohmaraie (1999) concluíram que doses de 3 kGy geraram pouco ou nenhum problema de aceitação pelos consumidores, reforçando que a irradiação não compromete de forma significativa a qualidade sensorial em determinadas condições.

4.5 EFEITO SOBRE PARÂMETROS DE QUALIDADES DE CARNE DE PEITO DE FRANGO EMBALADA COM ATMOSFERA MODIFICADA EM DIFERENTES PERÍODOS DE ARMAZENAMENTO

Os resultados referentes ao pH e à cor dos peitos de frango embalados em duas atmosferas modificadas e a vácuo, armazenados por 21 dias sob refrigeração, estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 – Médias obtidas para pH, L (luminosidade), a (vermelho), b* (amarelo) na carne de peito de frangos submetidos à irradiação (0 e 3 kGy), armazenado sob refrigeração (4 °C) por diferentes períodos.

Variáveis	Tempo de Armazenamento (Dias, T)	Dose de Irradiação (I)	Média	Nível de Significância
		0 kGy	3 kGy	
pH	1	6,06 A	6,09 A	6,08
	14	6,05 A	6,09 A	6,08
	21	6,05 A	6,08 A	6,08
Média		6,05	6,09	6,07

Nível de Significância		0,9298	0,1506	0,2826
L*	1	45,44 A x	45,47 A x	45,45
	14	47,72 A y	47,46 A y	47,59
	21	44,57 A z	44,45 A z	44,51
Média		45,91	46,32	46,12
Nível de Significância		<0,0001	0,1736	0,0005
a*	1	3,20 A x	4,56 A x	3,88
	14	3,19 A y	4,53 A y	3,86
	21	3,39 B z	5,63 A z	4,51
Média		3,26	4,91	4,08
Nível de Significância		0,0584	0,0533	0,0234
b*	1	4,33 A x	4,65 A x	4,49
	14	4,22 A y	4,56 A y	4,39
	21	4,20 A z	4,54 A z	4,37
Média		4,25	4,58	4,42
Nível de Significância	0,0008	0,0178	0,0001	

Médias com letras distintas, Maiúscula (A-B) nas linhas e minúsculas (x-z) nas colunas, diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer.

Fonte: Canizares, 2008.

Não foram identificadas diferenças significativas nos valores de pH entre as amostras de peito de frango embaladas em atmosferas modificadas e a vácuo, quando mantidas sob refrigeração. Esses resultados indicam que os músculos já haviam passado pela resolução do rigor mortis, uma vez que o pH permaneceu estável, independentemente dos tratamentos aplicados. Conforme descrito por Lawrie (1991), o pH muscular reflete o processo de glicólise pós-morte, no qual o glicogênio é convertido em ácido lático, resultando no acúmulo desse composto como produto nos

tecidos musculares. De maneira similar, Balamatsia *et al.* (2007), ao avaliarem filés de frango, também não observaram impacto de diferentes atmosferas sobre o pH, corroborando os achados deste estudo. Outros autores, como Teodoro, Andrade e Mano (2007) e Soccol *et al.* (2005) em peixes, Smulders *et al.* (2006) em bovinos, Seydim *et al.* (2006) em avestruzes e Mano, Ordóñez e García (2002) em suínos, também relataram ausência de efeitos de diferentes condições de embalagem sobre o pH das carnes avaliadas.

Por outro lado, o tempo de armazenamento influenciou os valores de pH, sendo observado um aumento no pH ao final do período de estocagem. Esse aumento pode ser atribuído à proliferação bacteriana ao longo do armazenamento, conforme relatado por Cardoso (2008) em estudos similares, e por Seydim *et al.* (2006), Smulders *et al.* (2006), Soccol *et al.* (2005) e Teodoro *et al.* (2007). No entanto, Balamatsia *et al.* (2007) não detectaram aumento do pH em filés de peito de frango armazenados por até 15 dias. De acordo com Cardoso (2008), Lan *et al.* (2017), Teodoro, Andrade e Mano (2007) e Bressan *et al.* (2007), as amostras acondicionadas em embalagens com atmosfera modificada apresentaram melhor qualidade microbiológica em comparação às embaladas a vácuo. Além disso, Sarantópoulos *et al.* (1996) demonstraram que a utilização de atmosferas com 80% de CO₂ aumentou a vida útil de prateleira de carnes de frango refrigeradas de sete para 17 dias, com base em critérios microbiológicos e sensoriais. Esses achados ressaltam os benefícios das atmosferas modificadas no prolongamento da vida útil e na preservação da qualidade das carnes armazenadas sob refrigeração.

Os resultados obtidos para a intensidade de luminosidade (L*) das carnes de frango indicaram efeitos significativos dos tratamentos, do tempo de armazenamento e uma interação importante entre ambos. Em relação aos tratamentos, foi observado que as amostras embaladas sob atmosfera modificada ATM1 (62% CO₂, 8% O₂ e 30% N₂) apresentaram maior intensidade de luminosidade, enquanto aquelas embaladas sob ATM2 (20% CO₂ e 80% N₂) exibiram menor intensidade. Nas amostras embaladas a vácuo, a intensidade de luminosidade não diferiu em relação às embalagens com as duas atmosferas modificadas após um dia de armazenamento. Aos 14 dias, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos; entretanto, aos 21 dias, as carnes embaladas sob ATM1 e ATM2 apresentaram maior intensidade de luminosidade (Canizares, 2008).

Estudos anteriores corroboram esses achados. Saucier, Gendron e Gariépy (2000), ao avaliar composições gasosas semelhantes às de ATM1 e ATM2, também não identificaram diferenças significativas na luminosidade. Com o aumento do tempo de armazenamento, a

intensidade de luminosidade aumentou nas carnes embaladas com ATM1 e ATM2, enquanto nas embaladas a vácuo os valores de L^* permaneceram estáveis. Seydim *et al.* (2006), em sua pesquisa com carne moída de avestruz, verificaram que as embalagens a vácuo resultaram em menor intensidade de luminosidade, enquanto as carnes embaladas em atmosferas com alto teor de O_2 ou ar apresentaram maior luminosidade, resultados que se alinham aos obtidos neste estudo.

Segundo MacDougall (1983), para que as diferenças na intensidade de luminosidade sejam percebidas de forma significativa, é necessário que haja uma variação de pelo menos cinco unidades. Com base nesse critério, as amostras submetidas à ATM2 apresentaram as maiores perdas na intensidade da cor, destacando a influência das condições de embalagem no comportamento visual das carnes durante o armazenamento. Esses achados enfatizam a importância de escolher adequadamente o tipo de atmosfera modificada para preservar as características visuais e sensoriais das carnes refrigeradas.

As atmosferas modificadas e o tempo de armazenamento demonstraram influência significativa na intensidade de vermelho (a^*) na carne de peito de frango resfriada, com nível de significância de 0,056. Observou-se que, dentro do tratamento acondicionado sob ATM1 (62% CO_2 , 8% O_2 e 30% N_2), houve um aumento progressivo na intensidade de vermelho ao longo do período de armazenamento. Estudos anteriores, como os de Saucier, Gendron e Gariépy (2000) e Mercier *et al.* (1998), utilizando composições gasosas semelhantes à ATM1, também relataram aumento da intensidade de vermelho nas carnes analisadas. Esse comportamento indica que as embalagens com ATM1 mantiveram a capacidade de oxigenação da mioglobina durante todo o período de armazenamento, preservando a coloração desejada da carne. Por outro lado, as embalagens sob ATM2 (20% CO_2 e 80% N_2) mantiveram essa oxigenação apenas até os 14 dias de armazenamento, sugerindo uma menor estabilidade da coloração a longo prazo. Dhananjayan *et al.* (2006) observaram resultados similares em carne de peru moída refrigerada, onde uma atmosfera com 97% de CO_2 apresentou menor intensidade de luminosidade (L^*) e maior intensidade de vermelho (a^*), indicando maior estabilidade da cor em relação a uma atmosfera contendo 80% O_2 e 20% CO_2 .

A intensidade de amarelo (b^*) também foi significativamente influenciada pelos tratamentos, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores. Aos 14 dias de armazenamento, diferenças significativas foram observadas, com maior intensidade de amarelo nas amostras embaladas sob ATM1 (62% CO_2 , 8% O_2 e 30% N_2) e menor intensidade nas embalagens sob ATM2. Esses resultados corroboram os achados de Saucier, Gendron e Gariépy (2000) e

Seydim *et al.* (2006), que relataram comportamentos semelhantes em carnes moídas de frango e avestruz, respectivamente. Esses dados destacam a importância de selecionar atmosferas modificadas adequadas para preservar as características visuais e sensoriais das carnes durante o armazenamento refrigerado, com destaque para a composição gasosa de ATM1, que mostrou maior eficiência na manutenção das propriedades cromáticas ao longo do tempo.

Grobbel *et al.* (2008) realizaram uma avaliação detalhada da estabilidade da cor de carnes frescas de bovinos embaladas sob diferentes atmosferas modificadas, utilizando combinações de altas e baixas concentrações de O₂ associadas a misturas de CO e CO₂. Os resultados indicaram que as embalagens com baixas concentrações de O₂ proporcionaram melhor estabilidade de cor, preservando as características visuais desejáveis da carne por períodos mais longos. Esse estudo destaca o impacto significativo da composição gasosa na preservação da qualidade cromática de carnes frescas.

Os resultados para as variáveis de capacidade de retenção de água (CRA), perda de exsudado (PE), capacidade de absorção de água (CAA), perda de peso por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC) e desnaturação proteica (DP) em carnes de frango resfriadas e armazenadas por diferentes períodos. No caso da capacidade de retenção de água (CRA), foram observadas diferenças significativas entre tratamentos, tempos de armazenamento e a interação entre ambos. Os valores de CRA apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos apenas aos 21 dias de armazenamento. Nesse período, as amostras acondicionadas sob ATM2 (20% CO₂: 80% N₂) exibiram maior capacidade de retenção de água, enquanto aquelas embaladas sob ATM1 (62% CO₂: 8% O₂: 30% N₂) e a vácuo apresentaram menores valores de retenção, não havendo diferença significativa entre esses dois últimos tratamentos (Grobbel *et al.*, 2008).

O tempo de armazenamento também influenciou a CRA de maneira específica. Para as amostras embaladas sob ATM2, a CRA aumentou progressivamente com o prolongamento do período de armazenamento, indicando maior eficiência dessa composição gasosa na manutenção da estabilidade hídrica. Por outro lado, as carnes embaladas sob ATM1 e a vácuo não apresentaram alterações significativas nos valores de CRA ao longo do tempo de armazenamento, demonstrando maior estabilidade, mas com menores índices de retenção em comparação ao ATM2. Esses achados reforçam a importância da escolha adequada da atmosfera modificada para maximizar a qualidade funcional das carnes armazenadas em condições de resfriamento (Grobbel *et al.*, 2008).

Para a variável perda de exsudado, foi identificado um efeito significativo dos tratamentos, do tempo de armazenamento e da interação entre ambos. As diferenças entre os tratamentos foram

evidentes apenas aos 14 dias de armazenamento. Nesse período, as carnes refrigeradas acondicionadas sob atmosfera ATM2 (20% CO₂: 80% N₂) apresentaram as menores perdas por exsudação, enquanto as carnes embaladas sob ATM1 (62% CO₂: 8% O₂: 30% N₂) e a vácuo exibiram maiores perdas, sem diferenças significativas entre esses dois últimos tratamentos. Em relação ao tempo de armazenamento, as menores perdas por exsudado foram observadas aos 21 dias para todos os tratamentos, indicando uma estabilização das propriedades de retenção hídrica ao longo do período avaliado. Esses achados estão em concordância com Smulders *et al.* (2006), que, ao avaliar carnes bovinas mantidas em atmosferas com 70% N₂: 30% CO₂ e 100% CO₂, verificaram que as atmosferas contendo CO₂ resultaram em maiores perdas por gotejamento em comparação às embaladas a vácuo. Por outro lado, Ercolini *et al.* (2006), ao avaliar carnes bovinas embaladas com atmosferas modificadas (60% O₂: 40% CO₂ e 20% O₂: 40% CO₂) e em ar, observaram menores perdas por exsudação nas amostras embaladas com ar após sete dias de armazenamento.

A capacidade de absorção de água (CAA), por sua vez, não foi influenciada pelos tratamentos, mas apresentou efeito significativo do tempo de armazenamento nas carnes acondicionadas sob ATM2 e a vácuo. Nesses tratamentos, verificou-se um aumento gradual da capacidade de absorção de água ao longo do tempo de armazenamento, sugerindo uma melhora na retenção hídrica em períodos mais prolongados (Canizares, 2008).

As alterações na perda de peso por cocção (PPC) foram influenciadas tanto pelos tratamentos quanto pelo tempo de armazenamento. Maiores perdas por cocção foram observadas nas amostras acondicionadas sob ATM1 (62% CO₂: 8% O₂: 30% N₂), enquanto as embaladas sob ATM2 (20% CO₂: 80% N₂) e a vácuo apresentaram menores perdas, sem diferenças significativas entre essas duas últimas condições. Em relação ao tempo de armazenamento, verificou-se que as perdas de peso por cocção diminuíram ao longo do período avaliado, indicando maior estabilidade térmica das carnes em períodos mais prolongados. Esses resultados diferem parcialmente dos encontrados por Smulders *et al.* (2006), que, ao avaliar carnes bovinas em atmosferas modificadas, não observaram alterações significativas nas perdas por cocção, sugerindo que as diferenças podem estar associadas às propriedades específicas da carne de frango em comparação à carne bovina.

Não foram observados efeitos significativos dos tratamentos ou do período de armazenamento sobre a força de cisalhamento das carnes de peito de frango. Esses resultados estão alinhados com os achados de Smulders *et al.* (2006) e Grobbel *et al.* (2008), que também não identificaram influência de atmosferas modificadas sobre a força de cisalhamento em carnes

bovinas mantidas sob refrigeração. A estabilidade dessa variável indica que as condições de embalagem e armazenamento não impactaram a textura mecânica das carnes avaliadas.

Por outro lado, os resultados de desnaturação proteica (DP) foram significativamente influenciados pelos tratamentos, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores. Em relação aos tratamentos, diferenças começaram a ser observadas a partir de 14 dias de armazenamento. As carnes embaladas sob ATM1 (62% CO₂: 8% O₂: 30% N₂) e a vácuo apresentaram maiores valores de desnaturação proteica, enquanto aquelas acondicionadas sob ATM2 (20% CO₂: 80% N₂) exibiram menores valores de desnaturação. Em relação ao tempo de armazenamento, foi identificado um aumento da desnaturação proteica nas carnes embaladas sob ATM1 e a vácuo, sugerindo que essas condições favorecem alterações estruturais nas proteínas ao longo do tempo. Já as carnes embaladas sob ATM2 não apresentaram mudanças significativas na desnaturação proteica com o prolongamento do armazenamento, indicando maior estabilidade proteica sob essa atmosfera (Canizares, 2008).

A Tabela 4 apresenta os valores de TBARS, que indicam a oxidação lipídica nas carnes de peito de frango embaladas sob atmosfera modificada e a vácuo, mantidas em refrigeração por diferentes períodos. Os valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) variaram em função dos tratamentos, do tempo de armazenamento e da interação entre esses fatores. Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas apenas aos 14 dias de armazenamento, quando as amostras embaladas a vácuo apresentaram os menores valores de oxidação lipídica. Em todos os tratamentos, os valores de TBARS aumentaram progressivamente ao longo do período de armazenamento, indicando intensificação do processo de oxidação lipídica com o tempo (Canizares, 2008).

Tabela 4 – Médias obtidas para os valores de TBARS na carne de peito de frango submetida à irradiação (0 e 3 kGy) e armazenada sob refrigeração por diferentes períodos.

Tempo de Armazenamento DIAS (T)	TBARS (mg de malonaldeído (MDA)/kg)		Nível de Significância
	Nível de Irradiação (I)		
	0 kGy	3 kGy	
1	0,21	0,24	0,22 y 0,5328
14	0,32	0,46	0,38 x 0,0233
21	0,25	0,38	0,31 x 0,0162
Média	0,26 B	0,35A	0,0037

T X I				0,2827
Nível de Significância	0,0796	0,0022	0,0010	

Médias com letras distintas, Maiúscula (A-B) nas linhas e minúsculas (x-z) nas colunas, diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer. Fonte: Canizares, 2008.

Esses resultados estão de acordo com os achados de Soccol *et al.* (2005), que, ao avaliar os valores de TBARS em filés de tilápia embalados em atmosfera modificada e mantidos sob refrigeração, observaram diferenças entre atmosferas com 60% CO₂: 40% O₂ e embalagens a vácuo somente aos 20 dias de armazenamento. Nesse estudo, as menores taxas de oxidação lipídica também foram registradas nas amostras embaladas a vácuo, confirmando a eficácia dessa condição de embalagem na preservação da estabilidade oxidativa das carnes. Esses resultados enfatizam a importância de selecionar atmosferas adequadas para minimizar os efeitos da oxidação lipídica e preservar a qualidade dos produtos ao longo do armazenamento.

A Tabela 5 apresenta os resultados referentes à composição centesimal das carnes de peito de frango armazenadas sob condições de refrigeração.

Tabela 5– Médias obtidas para composição centesimal: umidade (UM), proteína (PB), extrato etéreo (EE) e resíduo mineral fixo (RM) na carne de peito de frango submetida à irradiação (0 e 3 kGy) armazenada sob refrigeração.

Dose de irradiação	UM (%)	PB (%)	EE (%)	RM (%)
0 kGy	72,81	23,87	0,22 y	1,14
3 kGy	72,95	23,97	0,39 x	1,12
Nível de significância	0,5868	0,6749	0,0334	0,5006

Médias com letras distintas, minúsculas (x-z) nas colunas, diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer. Fonte: Canizares, 2008.

Os resultados de composição centesimal indicaram que os percentuais de proteína e extrato etéreo não foram influenciados pelos tratamentos aplicados nem pelo período de armazenamento. Por outro lado, os teores de umidade e resíduo mineral fixo (cinza) apresentaram variações significativas em função do tempo de armazenamento. Foi observado que a umidade diminuiu progressivamente ao longo do período de armazenamento, enquanto a concentração de cinza aumentou, indicando alterações na composição centesimal decorrentes do armazenamento prolongado (Canizares, 2008).

Os resultados referentes ao pH, luminosidade (L*), intensidade de vermelho (a*) e intensidade de amarelo (b*) nas carnes de frango congeladas, embaladas sob duas atmosferas modificadas e a vácuo, e armazenadas por diferentes períodos, estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 6– Médias obtidas dos valores morfométricos das fibras musculares na carne de peitos de frango, submetida à irradiação (0 e 3 kGy), mantida sob refrigeração por diferentes períodos.

Variáveis	Tempo (Dias, T)	Dose de Irradiação (I)		Média	Nível de Significância
		0 kGy	3 kGy		
Área das fibras (μm^2)					
	1	3765,0 B x	4632,9 Ax	4194,7	0,0001
	21	4111,8 A y	3165,5 B y	3549,3	0,0001
Média		3949,6	3650,2		0,6317
Nível de Significância		0,0050	<0,0001	0,0001	
Diâmetro X (μm)					
	1	806,7	790,7	800,1 y	0,3782
	21	824,2	835,3	830,8 x	0,4856
Média		824,4	765,3		0,8133
Nível de Significância		0,3536	0,0112	0,0145	
Menor Diâmetro Y (μm)					
	1	434,3 x	408,8 x	423,0	0,1156
	21	381,9 By	409,9 A x	398,6	0,0325
Média		407,0	409,5		0,8833
Nível de Significância		0,0004	0,9547	0,0125	
Número de Fibras/comp (μm^2)					
	1	16,5 A x	13,9 B y	15,4	0,0051
	21	16,5 B x	20,8 A x	18,7	<0,0001
Média		16,6	17,8		0,2375
Nível de Significância		0,9104	0,0001	0,0001	

Médias com letras distintas, Maiúscula (A-B) nas linhas e minúsculas (x-y) nas colunas, diferem entre si ($p \leq 0,05$)

pelo teste de comparações múltiplas de Tukey-Kramer. Fonte: Canizares, 2008.

Em relação ao pH, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, o tempo de armazenamento teve um efeito significativo, com os maiores valores de pH registrados aos 45 dias de armazenamento. Para a luminosidade (L^*), foram detectados efeitos dos tratamentos e do tempo de armazenamento. As carnes embaladas sob ATM2 (20% CO₂: 80% N₂) apresentaram maior intensidade de luminosidade, enquanto aquelas embaladas sob ATM1 (62% CO₂: 8% O₂: 30% N₂) apresentaram os menores valores. As amostras embaladas a vácuo não mostraram diferenças significativas entre si. Observou-se ainda uma redução gradual da intensidade de luminosidade (L^*) ao longo do período de armazenamento em todos os tratamentos (Canizares, 2008).

As alterações na intensidade de vermelho (a^*) foram influenciadas pelos tratamentos, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores. As carnes embaladas sob ATM1 e a vácuo apresentaram aumento da intensidade de vermelho ao longo do armazenamento, enquanto aquelas embaladas sob ATM2 mantiveram a intensidade de vermelho estável durante todo o período (Canizares, 2008).

A intensidade de amarelo (b^*) também foi afetada pelos tratamentos e pela interação entre o tempo de armazenamento e os tratamentos. No início do período de armazenamento, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, aos 45 dias, as carnes embaladas sob ATM1 e ATM2 apresentaram menores intensidades de amarelo, enquanto as amostras embaladas a vácuo exibiram os maiores valores de b^* . Aos 90 dias, as carnes embaladas sob ATM1 mostraram os maiores valores de intensidade de amarelo, seguidas pelas carnes sob vácuo, enquanto aquelas embaladas sob ATM2 apresentaram os menores valores. O tempo de armazenamento também influenciou a intensidade de amarelo: nas amostras embaladas sob ATM2, houve uma redução progressiva de b^* com o aumento do tempo de armazenamento, enquanto nas embaladas sob ATM1 e a vácuo, a intensidade de amarelo aumentou gradualmente ao longo do armazenamento (Canizares, 2008). Esses resultados ressaltam a importância da escolha da atmosfera modificada e do controle do tempo de armazenamento para preservar as características de cor e qualidade das carnes congeladas.

O estudo conduzido por Pelícia *et al.* (2015) avaliou o efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) sobre as características físicas de carne de peito de frango após um dia de armazenamento, conforme tabela 7. Os resultados indicaram que não houve

influência significativa ($p>0,05$) da radiação ou do método de embalagem nas variáveis analisadas, que incluíram perda por gotejamento (DL), pH, capacidade de retenção de água (WHC) e capacidade de absorção de água (WAC). Esses dados sugerem que a aplicação de radiação gama em diferentes doses, combinada ou não com embalagens a vácuo, não altera as propriedades físicas básicas do produto em curto prazo.

Tabela 7 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após um dia de armazenamento.

Tratamento	DL	WAC	pH	WHC
0 kGy radiação + embalagem a vácuo	3,43	29,32	5,75	83,54
2 kGy radiação + embalagem a vácuo	3,39	29,68	5,83	86,55
4 kGy radiação + embalagem a vácuo	3,41	29,60	5,68	83,84
8 kGy radiação + embalagem a vácuo	3,40	30,67	5,72	85,76
0 kGy radiação + embalagem sem vácuo	3,37	30,80	5,79	87,08
2 kGy radiação + embalagem sem vácuo	3,37	30,90	5,70	85,14
4 kGy radiação + embalagem sem vácuo	3,35	28,20	5,79	84,85
8 kGy radiação + embalagem sem vácuo	3,36	29,10	5,80	87,00
Média	3,43	29,78	5,76	85,45
CV (%)	1,33	4,63	1,35	4,72

Fonte: Pelícia *et al.*, 2015.

Os resultados obtidos indicaram que não houve influência significativa ($p>0,05$) da radiação ou do método de embalagem (com ou sem vácuo) nas variáveis de perda por gotejamento, pH ou capacidade de retenção de água (WHC) nos filés de peito de frango avaliados após sete dias de armazenamento (Tabela 8). Isso sugere que, no período analisado, a radiação gama, independentemente da dose aplicada, e o método de selagem da embalagem não afetaram de maneira substancial essas propriedades físicas da carne, mantendo sua estabilidade em termos de qualidade básica (Pelícia *et al.*, 2015).

Tabela 8 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após sete dias de armazenamento

Tratamento	DL	WAC	pH	WHC
0 kGy radiação + embalagem a vácuo	11,34	31,02 a	5,90	95,12
2 kGy radiação + embalagem a vácuo	11,78	30,26 ab	5,87	93,84
4 kGy radiação + embalagem a vácuo	13,80	28,94 b	5,79	99,80

8 kGy radiação + embalagem a vácuo	12,40	30,58 ab	5,94	97,60
0 kGy radiação + embalagem sem vácuo	16,62	30,74 ab	5,89	95,42
2 kGy radiação + embalagem sem vácuo	13,34	30,72 ab	5,88	97,90
4 kGy radiação + embalagem sem vácuo	15,62	30,28 ab	5,84	97,86
8 kGy radiação + embalagem sem vácuo	11,52	29,92 ab	5,80	92,56
Média	13,30	30,31	5,87	95,95
CV (%)	4,88	3,19	1,94	5,48

Fonte: Pelícia *et al.*, 2015.

No entanto, diferenças foram observadas na capacidade de absorção de água (WAC). Os filés de peito de frango não irradiados e embalados a vácuo apresentaram maior capacidade de absorção de água ($p < 0,05$) quando comparados àqueles irradiados com uma dose de 4 kGy e embalados a vácuo. Apesar disso, os filés não irradiados não diferiram significativamente dos outros tratamentos avaliados. Esses resultados sugerem que, embora a radiação possa ter um impacto localizado na capacidade de absorção de água em determinados tratamentos, esse efeito não é generalizado ou consistente em todos os níveis de dose ou métodos de embalagem, indicando uma variabilidade dependente de interações específicas entre os fatores analisados (Pelícia *et al.*, 2015).

Essas observações ressaltam que a escolha da dose de radiação e do método de embalagem deve levar em consideração o impacto específico em variáveis-chave como a capacidade de absorção de água, que pode influenciar na qualidade percebida pelo consumidor e na aplicabilidade da carne processada em contextos comerciais (Pelícia *et al.*, 2015).

Os resultados indicaram que não houve influência significativa ($p > 0,05$) da radiação ou do método de embalagem (com ou sem vácuo) sobre o pH, a capacidade de retenção de água (WHC) ou a capacidade de absorção de água (WAC) dos filés de peito de frango analisados após 14 dias de armazenamento (Tabela 9). Esses dados sugerem que a aplicação da radiação gama, independentemente da dose utilizada, e o tipo de embalagem não impactaram de forma significativa essas propriedades físicas do produto durante o período de armazenamento.

Tabela 9 – Efeito da radiação gama e do método de selagem de embalagens (com ou sem vácuo) nas características físicas da carne de peito de frango após 14 dias de armazenamento.

Tratamento	DL	WAC	pH	WHC
0 kGy radiação + embalagem a vácuo	14,70 ab	30,40 a	5,79	96,40
2 kGy radiação + embalagem a vácuo	13,02 ab	29,48 ab	5,74	95,26
4 kGy radiação + embalagem a vácuo	13,06 ab	29,38 ab	5,70	99,86

8 kGy radiação + embalagem a vácuo	12,01 ab	30,00 ab	5,71	95,88
0 kGy radiação + embalagem sem vácuo	17,54 a	30,88 a	5,70	97,54
2 kGy radiação + embalagem sem vácuo	14,42 ab	31,06 a	5,89	95,30
4 kGy radiação + embalagem sem vácuo	15,42 ab	30,58 ab	5,76	97,92
8 kGy radiação + embalagem sem vácuo	9,08 b	29,70 ab	5,87	93,80
Média	13,68	30,19	5,77	96,51
CV (%)	3,20	4,48	2,84	3,69

Fonte: Pelícia *et al.*, 2015.

Em relação à perda por gotejamento (DL), foi observado que os filés irradiados com uma dose de 8 kGy e embalados sem vácuo apresentaram valores significativamente menores ($p < 0,05$) do que os filés não irradiados e embalados sem vácuo. No entanto, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os demais tratamentos avaliados. Esses resultados sugerem que a radiação em doses elevadas, combinada com o método de embalagem, pode ter um efeito localizado na redução das perdas por gotejamento, embora esse impacto não seja consistente entre os diferentes grupos analisados (Pelícia *et al.*, 2015).

Chouliara *et al.* (2008) relataram que carnes de frango irradiadas com doses superiores a 4 kGy apresentam maior perda por gotejamento. Contudo, os resultados do presente estudo indicaram uma tendência contrária, onde as amostras tratadas com doses mais elevadas de radiação apresentaram menores perdas por gotejamento após 14 dias de armazenamento. Xiao *et al.* (2011) também observaram menor capacidade de retenção de água em coxas de frango tratadas com radiação, atribuindo esse resultado aos danos na integridade estrutural das membranas das fibras musculares, o que compromete a capacidade de reter água. Esses danos estruturais podem afetar negativamente a qualidade da carne, reduzindo sua suculência e aparência, conforme apontado por Petracci e Cavani (2011) e Ahn, Kim e Lee (2013).

Leonel (2008) irradiou carnes de frango com doses de até 3 kGy e não observou impacto na capacidade de retenção de água das amostras. No entanto, essa capacidade foi reduzida ao longo de quatro meses de armazenamento e voltou a aumentar após seis meses, indicando que o tempo de armazenamento também desempenha um papel relevante. Danos à integridade estrutural das fibras musculares também podem influenciar negativamente a capacidade de absorção de água, como foi observado em peitos de frango embalados a vácuo e irradiados com 4 kGy, que apresentaram menor absorção de água em comparação com amostras não irradiadas após sete dias de armazenamento. Quanto ao pH, não foram detectadas diferenças significativas entre os

tratamentos, o que pode ser explicado pelo fato de que as amostras analisadas já haviam passado pelo período de rigor mortis no momento da coleta, garantindo estabilidade nos valores de pH.

O pH da carne sofre uma diminuição após o abate devido à glicólise post mortem, processo no qual o glicogênio é degradado, resultando na produção de ácido lático. Esse ácido se acumula no músculo, provocando uma redução no pH, que se estabiliza quando o rigor mortis é alcançado. Leonel (2008) corroborou esses resultados ao não observar efeitos significativos da radiação sobre o pH da carne de frango, indicando que a radiação, mesmo em doses moderadas, não interfere no equilíbrio ácido-base já estabelecido nas fibras musculares.

No presente estudo, não houve detecção de *Salmonella* spp. em nenhuma das amostras de 12 g analisadas após 14 dias de armazenamento. Essa ausência pode ser atribuída à qualidade sanitária dos lotes de carne coletados na planta de processamento, indicando um controle eficiente durante as etapas de produção. Resultados semelhantes foram obtidos por Mahfouz e Yasser (2013), que demonstraram que a aplicação de radiação com uma dose de 4 kGy foi suficiente para atender aos padrões microbiológicos estabelecidos pelas autoridades oficiais. No entanto, estudos com carne moída de peito de frango sugerem que avaliações microbiológicas mais rigorosas podem ser necessárias, dependendo do nível inicial de contaminação e das condições de armazenamento, para garantir a segurança do alimento ao longo de períodos prolongados. Esses achados destacam a importância de combinar práticas adequadas de processamento com tecnologias como a radiação para garantir a qualidade microbiológica dos alimentos.

Resultados foram obtidos com doses de 6 kGy demonstrando que doses baixas de radiação podem ser utilizadas de forma eficiente para o controle de patógenos na carne de frango. As doses recomendadas de radiação para carne de frango congelada são de 3 a 5 kGy, enquanto para carne refrigerada destinada ao consumo em curto prazo, as doses ideais variam entre 1,5 e 2,5 kGy (Mahfouz e Yasser, 2013).

No estudo conduzido por Abu-Tarboush (1997), frangos foram submetidos a doses de radiação gama de 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 kGy utilizando uma instalação de irradiação gama semicomercial. As amostras irradiadas e não irradiadas (controle) foram armazenadas a 4,0°C, sendo coletadas nos dias 0 e em intervalos de 3 dias, até 21 dias, para análises sensoriais e microbiológicas.

Os resultados indicaram que todas as doses de radiação aplicadas (2,5 a 10,0 kGy) tiveram pouco impacto na aceitabilidade sensorial (aparência, odor, textura e sabor) tanto em frangos crus quanto cozidos (peito e coxa). A irradiação prolongou o tempo em que essas características

sensoriais permaneceram aceitáveis. Além disso, a suculência e a maciez do frango cozido foram apenas ligeiramente afetadas pela irradiação, e os frangos não foram rejeitados mesmo após 21 dias de armazenamento (Abu-Tarboush (1997)).

Uma dose de 2,5 kGy foi suficiente para estender a vida útil da carne de frango em 12 dias. A aplicação de doses superiores a 2,5 kGy não trouxe benefícios adicionais significativos em relação às contagens bacterianas totais e psicotróficas. Essa mesma dose (2,5 kGy) foi eficaz na eliminação de *Salmonella*, *Yersinia*, *Campylobacter* spp. e coliformes (Abu-Tarboush (1997)).

O estudo também revelou que leveduras dos gêneros *Candida*, *Saccharomyces* e *Alternaria* começaram a crescer a partir do 12º dia de armazenamento em amostras tratadas com doses $\geq 5,0$ kGy, enquanto esse crescimento não foi observado em amostras tratadas com doses $< 5,0$ kGy. Esses resultados demonstram que a dose de 2,5 kGy é suficiente para garantir a segurança microbiológica e prolongar a vida útil do frango, mantendo a aceitabilidade sensorial, enquanto doses mais altas podem estimular o crescimento de leveduras específicas em períodos prolongados de armazenamento (Abu-Tarboush, 1997).

O estudo realizado por Miyagusku *et al.* (2003) avaliou os efeitos da irradiação gama com ^{60}Co em cortes de peito de frango desossados e sem pele, previamente acondicionados em bandejas de polietileno expandido com cerca de 200 g cada, cobertas por filme de polietileno e embaladas em caixas de papelão. O equipamento utilizado foi o Nordion JS 7500, e as amostras foram submetidas a doses de 1,5 kGy, 3,0 kGy e 7,0 kGy. A irradiação foi realizada na modalidade estática, com rotação de 0° e 180° em relação ao feixe de radiação, para assegurar uma cobertura uniforme.

Para garantir a homogeneidade das doses aplicadas, foram utilizados dosímetros de alanina+parafina, dispostos em 18 posições diferentes dentro das caixas. Adicionalmente, um conjunto de dosímetros foi irradiado em uma faixa de 1 a 10 kGy para a elaboração de uma curva de resposta. Os resultados indicaram que os dosímetros apresentaram um comportamento linear na faixa de radiação utilizada, assegurando a precisão no controle das doses aplicadas. Após a irradiação, as amostras foram armazenadas a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ por um período de 39 dias, sendo submetidas a análises microbiológicas em 10 diferentes intervalos de tempo durante o armazenamento. As análises microbiológicas incluíram: contagem total de bactérias aeróbias psicotróficas e mesófilas, bolores e leveduras, *Pseudomonas* spp., enterobactérias totais, bactérias lácticas e NMP (Número Mais Provável) de *E. coli* (Miyagusku *et al.*, 2003).

Os resultados microbiológicos revelaram que as amostras controle (não irradiadas) apresentaram uma vida útil de apenas 5 dias. Em contrapartida, as amostras irradiadas apresentaram uma extensão significativa da vida útil, sendo:

1,75 vezes maior para as amostras irradiadas com 1,5 kGy;

4,40 vezes maior para as amostras irradiadas com 3,0 kGy; 7,0

vezes maior para as amostras irradiadas com 7,0 kGy.

Além do impacto positivo no prolongamento da vida útil, o estudo observou alterações sensoriais, principalmente relacionadas ao odor das amostras. As doses mais altas, como 7,0 kGy, resultaram em um odor de queimado perceptível, o que comprometeu a aceitação sensorial do produto. Por outro lado, a dose de 3,0 kGy foi considerada ideal, garantindo um aumento expressivo na vida útil sem alterações sensoriais significativas (Miyagusku *et al.*, 2003). Dessa forma, os resultados indicam que a irradiação com 3,0 kGy é a mais recomendável para o tratamento de cortes de peito de frango, oferecendo uma combinação equilibrada entre segurança microbiológica, prolongamento da vida útil e manutenção da qualidade sensorial do produto.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a influência da radiação ionizante na qualidade microbiológica, físico-química e sensorial de cortes de frango embalados sob diferentes sistemas, proporcionando uma análise abrangente sobre os impactos dessa tecnologia no prolongamento da vida útil e na manutenção da qualidade do produto. Os resultados obtidos confirmaram que a aplicação da radiação ionizante é uma alternativa eficiente para melhorar a segurança do alimento, sendo capaz de eliminar micro-organismos patogênicos e reduzir os índices de deterioração microbiológica, mesmo em períodos prolongados de armazenamento.

A análise revelou que doses adequadas de radiação, combinadas com sistemas de embalagem como atmosfera modificada e embalagens a vácuo, foram eficazes para preservar características sensoriais importantes, como textura, sabor, cor e odor. Além disso, foi observado que os tratamentos irradiados apresentaram melhor estabilidade físico-química, reduzindo perdas por exsudação, mantendo a capacidade de retenção de água e minimizando a oxidação lipídica ao longo do tempo. Esses fatores são fundamentais para garantir a aceitação do produto pelo consumidor e para atender às exigências rigorosas dos mercados interno e externo.

O estudo também demonstrou que a escolha de doses e tipos de embalagens deve ser feita com base em uma análise criteriosa, uma vez que doses elevadas podem gerar alterações sensoriais indesejáveis, como odor de queimado, enquanto doses moderadas, como 3 kGy, mostraram-se suficientes para atingir a segurança microbiológica e prolongar significativamente a vida útil do produto sem comprometer sua qualidade.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo geral do trabalho foi plenamente alcançado, comprovando a eficácia da radiação ionizante como uma tecnologia inovadora e sustentável para a conservação de alimentos. O estudo contribui para a literatura científica e oferece subsídios práticos para a indústria alimentícia, apresentando soluções tecnológicas viáveis que podem minimizar desperdícios, aumentar a competitividade no mercado e atender à crescente demanda por alimentos mais seguros e de maior durabilidade.

REFERÊNCIAS

AHN, Dong U. et al. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. **Meat Science**, v. 49, n. 1, p. 27-39, 1998.

AHN, Dong U.; NAM, K. C. Effects of ascorbic acid and antioxidants on color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, n. 1-2, p. 151156, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.04.012>. Acesso em: 16 nov. 2024.

AHN, Dong U.; KIM, Il Suk; LEE, Eun Joo. Irradiation and additive combinations on the pathogen reduction and quality of poultry meat. **Poultry science**, v. 92, n. 2, p. 534-545, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02722>. Acesso em: 16 nov. 2024.

AZEVEDO GOMES, Heliana et al. Effect of gamma radiation on refrigerated mechanically deboned chicken meat quality. **Meat science**, v. 65, n. 2, p. 919-926, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00299-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00299-1). Acesso em: 16 nov. 2024.

BADR, Hesham M. Control of the potential health hazards of smoked fish by gamma irradiation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 154, n. 3, p. 177-186, 2012.

BALAMATSIA, Christiana C. et al. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes. **Food Chemistry**, v. 104, n. 4, p. 1622-1628, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.013>. Acesso em: 14 nov. 2024.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo 4ªed. **Lisboa: Edições**, v. 70, n. 1977, p. 99-120, 2011.

BRAGA, Lilian Rodrigues; PERES, Leila. Novas tendências em embalagens para alimentos: revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, Curitiba**, v. 28, n. 1, p. 69-84, 2010.

BRESSAN, Maria Cristina et al. Influência da embalagem na vida útil de presuntos fatiados. **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, p. 433-438, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200025>. Acesso em: 14 nov. 2024.

BREWER, M. S. Irradiation effects on meat flavor: A review. **Meat science**, v. 81, n. 1, p. 1-14, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.011>. Acesso em: 16 nov. 2024.

BUENO, Pedro Henrique Salgado. Efeito da radiação gama e do tipo de embalagem sobre as características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais de peito de frango refrigerado. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ALOA-7C9QUG>. Acesso em: 16 nov. 2024.

CANIZARES, Marleide Costa. Qualidade da carne de frango submetida à irradiação ou atmosfera modificada e armazenada por diferentes períodos. 2008. Disponível em: pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vtt-3142. Acesso em: 14 nov. 2024.

- CARDOSO, Karen Franco de Godoi. Qualidade microbiológica de filés de peito de frangos de corte submetidos à irradiação e atmosfera modificada em diferentes períodos de armazenamento. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/95350>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- CHOULIARA, Eirini et al. Combined effect of irradiation and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of chicken breast meat: microbiological, chemical and sensory changes. **European Food Research and Technology**, v. 226, p. 877-888, 2008.
- COSTA, Fabio Da. Caracterização do processo de rigor mortis e da maciez dos músculos gastrocnemius e pectoralis e efeito da radiação gama na vida comercial da carne de peru (meleagris gallopavo). 2006. Disponível em: pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vtt-8422. Acesso em: 15 nov. 2024.
- DHANANJAYAN, R. et al. Growth depth effects of bacteria in ground turkey meat patties subjected to high carbon dioxide or high oxygen atmospheres. **Poultry science**, v. 85, n. 10, p. 1821-1828, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/85.10.1821>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- DU, M.; HUR, S. J.; AHN, D. U. Raw-meat packaging and storage affect the color and odor of irradiated broiler breast fillets after cooking. **Meat Science**, v. 61, n. 1, p. 49-54, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00161-9). Acesso em: 13 nov. 2024.
- ERCOLINI, Danilo et al. Changes in the spoilage-related microbiota of beef during refrigerated storage under different packaging conditions. **Applied and environmental microbiology**, v. 72, n. 7, p. 4663-4671, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.00468-06>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.
- GROBBEL, J. P. et al. Effects of packaging atmospheres on beef instrumental tenderness, fresh color stability, and internal cooked color. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 5, p. 1191-1199, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0479>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- HAM, Youn-Kyung et al. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 130, p. 259-264, 2017.
- HENRY, Fábio Costa. Irradiation effects on meat: a review. **Revista de ciências agrárias**, v. 32, n. 2, p. 255-262, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.15743>. Acesso em: 16 nov. 2024.
- JAVANMARD, M. et al. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. **Food control**, v. 17, n. 6, p. 469-473, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.008>. Acesso em: 05 nov. 2024.
- JAVANMARD, M. et al. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. **Food control**, v. 17, n. 6, p. 469-473, 2006.

- LACROIX, M.; OUATTARA, B. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products—a review. **Food research international**, v. 33, n. 9, p. 719-724, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00085-5). Acesso em: 02 nov. 2024.
- LAN, Lingyi et al. Recent advances in nanomaterial-based biosensors for antibiotics detection. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 91, p. 504-514, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.01.007>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- LAWRIE RA. Meat Science, 5th ed. New York: Pergamon Press, p.90-100, 1991.
- LEONEL, Fábio Roberto. Irradiação e qualidade da carne de frango congelada e embalada a vácuo. 2008.
- LEWIS, S. J. et al. Effect of electron beam irradiation on poultry meat safety and quality. **Poultry science**, v. 81, n. 6, p. 896-903, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/81.6.896>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- LIM, D. G. et al. Application of electron-beam irradiation combined with antioxidants for fermented sausage and its quality characteristic. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 77, n. 6, p. 818-824, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2008.02.004>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- MACDOUGALL, D. B. Instrumental assessment of the appearance of foods. **Sensory Quality in Foods and Beverages**, p. 121-139, 1983.
- MACHADO, Michelle Moreira. Efeito do congelamento e estocagem sobre a qualidade da carne bovina. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ALOA-7UZMMS>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- MAHFOUZ, Al-Bachir; YASSER, Othman. Use of irradiation to control microorganisms and extend the refrigerated market life of chicken sausage. **Innovative Romanian Food Biotechnology**, n. 13, p. 63-70, 2013. Disponível em: <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/IFRB/article/view/3486>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- MANO, Sérgio Borges; ORDÓÑEZ PEREDA, Juan Antonio; GARCÍA DE FERNANDO, Gonzalo Doroteu. Aumento da vida útil e microbiologia da carne suína embalada em atmosfera modificada. **Food Science and Technology**, v. 22, p. 1-10, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100002>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. Atlas, 2003.

MERCIER, Yvan et al. Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in turkey meat during storage. **Meat Science**, v. 48, n. 3-4, p. 301-318, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00113-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00113-7). Acesso em: 12 nov. 2024.

MILLAR, S. J.; MOSS, B. W.; STEVENSON, M. H. The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat. **Meat Science**, v. 55, n. 3, p. 361-370, 2000.

MISTURA, L. P. F.; COLLI, Célia. Determinação de ferro total e ferro heme em carne bovina irradiada. **Livro de resumos**, 2001.

MIYAGUSKU, Luciana. **Influência da radiação ionizante (60Co) na manutenção da qualidade físico-química, microbiológica e sensorial de cortes de coxa e file de peito de frango acondicionado em diferentes sistemas de embalagens**. 2008. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.421219>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MIYAGUSKU, Luciana et al. Avaliação microbiológica e sensorial da vida-útil de cortes de peito de frango irradiados. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 7-16, 2003.

NAM, K. C.; AHN, D. U. Double-packaging is effective in reducing lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw turkey meat. **Poultry Science**, v. 82, n. 9, p. 1468-1474, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/82.9.1468>. Acesso em: 15 nov. 2024.

OLIVEIRA, A. L. et al. Qualidade microbiológica da carne de frango irradiada em embalagem convencional e a vácuo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 1210-1217, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000500026>. Acesso em: 15 nov. 2024.

PASSOS, Flávia Regina; MENDES, Fabrícia Queiroz. Radiação gama na conservação de carne: uma revisão. 2017. Disponível em: doi: 10.18540/jcecv13iss6pp0763-0768. Acesso em: 20 nov. 2024.

PELICIA, K. et al. Chicken meat submitted to gamma radiation and packed with or without oxygen. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. 2, p. 255-261, 2015. PETRACCI, Massimiliano; CAVANI, Claudio. Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu4010001>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SARTON, George. Moseley: the numbering of the elements. 1927.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. et al. Embalagens com atmosfera modificada. **Campinas: CETEA/ITAL**, p. 99-114, 1996.

SEYDIM, A. C. et al. Effects of packaging atmospheres on shelf-life quality of ground ostrich meat. **Meat Science**, v. 73, n. 3, p. 503-510, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.01.010>. Acesso em: 19 nov. 2024.

- SMULDERS, F. J. M. et al. Modified-atmosphere storage under subatmospheric pressure and beef quality: II. Color, drip, cooking loss, sarcomere length, and tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 9, p. 2456-2462, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-684>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- SOUZA, Adriana Régia Marques de; ARTHUR, Valter; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin. Alterações provocadas pela irradiação e armazenamento nos teores de ferro heme em carne de frango. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 303-306, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000200016>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- SOCCOL, M. C. H. et al. Effects of modified atmosphere and vacuum on the shelf life of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. 2005.
- TEODORO, Anderson Junger; ANDRADE, Édira Castello Branco de; MANO, Sérgio Borges. Avaliação da utilização de embalagem em atmosfera modificada sobre a conservação de sardinhas (*Sardinella brasiliensis*). **Food Science and Technology**, v. 27, p. 158-161, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100028>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- URBAIN, Walter M. Radurization and radication: meat and poultry. In: **Preservation of food by ionizing radiation**. CRC Press, 2018. p. 1-11.
- WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, Mohammad. Trained sensory panel and consumer evaluation of the effects of gamma irradiation on palatability of vacuum packaged frozen ground beef patties. **Journal of animal science**, v. 77, n. 12, p. 3219-3224, 1999.
- XAVIER, Daniel Rezende. Efeitos do uso da irradiação e de antioxidantes na estabilidade da carne moída refrigerada. 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ALOA-8SMNMU>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- XIAO, Shan et al. Effects of diet, packaging, and irradiation on protein oxidation, lipid oxidation, and color of raw broiler thigh meat during refrigerated storage. **Poultry Science**, v. 90, n. 6, p. 1348-1357, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01244>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- YAN, H. J. et al. Dietary functional ingredients: Performance of animals and quality and storage stability of irradiated raw turkey breast. **Poultry science**, v. 85, n. 10, p. 1829-1837, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/85.10.1829>. 16 nov. 2024.
- ZHU, M. J.; MENDONCA, Aubrey; AHN, Dong U. Temperature abuse affects the quality of irradiated pork loins. **Meat Science**, v. 67, n. 4, p. 643-649, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.005>. Acesso em: 16 nov. 2024.
- SAUCIER, L. ; GENDRON, C. ; GARIEPY, C. Shelf life of poultry meat under modified atmosphere. *Poultry Science*, v.79, p.1851-1856, 2000. Acesso em: 16 nov. 2024.

