

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

**AUGUSTO CÉSAR FONSECA PONTES SOBREIRA**

**Efeitos da irradiação gama na desinfestação, qualidade e conservação de  
manga cv. 'Palmer'**

**PIRACICABA**

**2023**



**AUGUSTO CÉSAR FONSECA PONTES SOBREIRA**

**Efeitos da irradiação gama na desinfestação, qualidade e conservação de  
manga cv. Palmer**

**Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011**

**Dissertação apresentada ao Centro de Energia  
Nuclear na Agricultura da Universidade de São  
Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção  
do título de Mestre em Ciências**

**Área de Concentração: Energia Nuclear na  
Agricultura e no Ambiente**

**Orientador: Prof. Dr. Thiago de Araújo  
Mastrangelo**

**PIRACICABA**

**2023**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Sobreira, Augusto César Fonseca Pontes

Efeitos da irradiação gama na desinfestação, qualidade e conservação de manga cv. Palmer / Augusto César Fonseca Pontes Sobreira; Thiago de Araújo Mastrangelo. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

75 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2023.

1. Desinfestação. 2. Fitossanidade (Eficiência/Tratamento). 3. Irradiação de alimentos. 4. Manga (Conservação). 5. Mosca das frutas. 6. Pós-colheita. I. Título.

CDU 631.56 : 620.179.152.5

**Elaborada por:**

Marilia Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB Nº 184 de 29 de setembro de 2017

## AGRADECIMENTOS

À Deus, meus Orixás e guias, pelo sustento espiritual;

À minha família, em especial minha mãe, meus irmãos, meus sogros e tia Valéria pelo apoio financeiro e emocional;

Ao Luiz Paulo, pelo companheirismo, paciência e incentivos diários;

Ao professor Thiago Mastrangelo, pela orientação e humanidade excepcionais;

Aos técnicos e colegas do Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia, pelo apoio na realização dos experimentos;

A todos “sim’s” e “não’s” que já recebi na minha vida, por me trazerem até aqui.

À CAPES – Código de Financiamento 001 e ao CENA-USP pela bolsa concedida.



“A ignorância gera mais confiança do que o conhecimento: são os que sabem pouco, e não os que sabem muito, que afirmam positivamente que esse ou aquele problema nunca pode ser resolvido pela Ciência”

**Charles Darwin**





## RESUMO

Sobreira, A. C. F. P. **Efeitos da irradiação gama na desinfestação, qualidade e conservação de manga cv. Palmer**. 2023. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

O Brasil é um dos principais países exportadores de frutas no mundo, sendo o aumento recente de pedidos externos por mangas um indicativo da necessidade de mais estudos sobre a conservação dessa fruta. Portanto, mangas cv. ‘Palmer’ foram irradiadas neste trabalho por diferentes doses de irradiação gama (0, 50, 150, 300, 500, 800 e 1000 Gy) e avaliadas quanto a parâmetros físico-químicos ao longo de 21 dias de armazenamento sob temperatura ambiente ( $23\pm 2$  °C). Em um segundo momento, as mangas foram irradiadas (0, 150 e 300 Gy), mantidas sob armazenamento refrigerado (13 °C) e também estudadas sob o ponto de vista físico-químico ao longo de 21 dias. Em outro ensaio, mangas infestadas por duas espécies de moscas-das-frutas (*Ceratitis capitata* e *Anastrepha fraterculus*) foram irradiadas a 0 (controle), 150 e 300 Gy a fim de se avaliar a eficiência do tratamento fitossanitário recomendado para esses insetos na cultivar testada. Os resultados demonstraram que as doses de 150, 300 e 500 Gy propiciaram um retardo da maturação das mangas mantidas à temperatura ambiente e que a combinação entre os métodos de conservação, irradiação e refrigeração, contribuíram sinergeticamente para a conservação das frutas. Ainda, as doses de 150 e 300 Gy foram capazes de controlar as duas espécies testadas de moscas-das-frutas. Dessa forma, conclui-se que as doses desinfestantes, além de garantir a segurança fitossanitária, foram capazes retardar o amadurecimento das frutas e, com isso, contribuir para o prolongamento do tempo de conservação dessa cultivar e, conseqüentemente, redução de perdas pós-colheita. Esses efeitos demonstram, portanto, que a irradiação poderia ajudar a aumentar a participação brasileira no cenário internacional de exportações de mangas.

Palavras-chave: Pós-colheita, irradiação fitossanitária, *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*.



## ABSTRACT

Sobreira, A. C. F. P. **Effects of gamma radiation on desifestation, quality, and conservation of Palmer mango.** 2023. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

Brazil is one of the main fruit export countries in the world. Since the recent increase of Palmer mangoes orders, there have been more studies about its conservation. Hence, Palmer mangoes were irradiated by different doses of gamma radiation (0, 50, 150, 300, 500, 800 and 1000 Gy) and physical-chemical parameters were evaluated over 21 days at 23 °C under storage conditions. In another experiment, the mangoes were irradiated and kept under refrigerated storage and the physical-chemical parameters were also assessed during 21 days. In another study, infested mangoes by two species of fruit-flies (*Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus*) were irradiated with 0 (control), 150 and 300 Gy to evaluate the efficiency of the recommended phytosanitary treatment. The outcomes showed that the doses of 150, 300 and 500 Gy were capable of slowing down the maturity of the mangoes kept at 23°C and the combination between irradiation and refrigeration promoted synergetic fruit's conservation. Furthermore, the doses of 150 and 300 Gy controlled the fruit fly species in mangoes. Therefore, those doses were capable of ensuring phytosanitary security and slowing down the maturity of the fruits, thus extending the storage of the mangoes and consequently promoting a reduction in post-harvest losses. In conclusion, these effects show that irradiation would help to increase the Brazilian performance in the mangoes' exportation business.

Keywords: Post-harvest, phytosanitary treatments, *Ceratitis capitata*, *Anastrepha fraterculus*.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>A manga e sua colheita .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Pós-colheita .....</b>	<b>19</b>
3.2.1	Fisiologia pós-colheita .....	20
3.2.2	Danos .....	21
3.2.3	Transporte e armazenamento .....	23
3.2.4	Doenças, pragas e tratamento fitossanitário.....	24
<b>3.3</b>	<b>Tratamento por irradiação.....</b>	<b>26</b>
3.3.1	Efeitos da irradiação em frutos .....	28
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Ensaaios de conservação de mangas por irradiação.....</b>	<b>32</b>
4.1.1	Armazenamento à temperatura ambiente.....	32
4.1.2	Armazenamento refrigerado.....	33
4.1.3	Análises físico-químicas .....	34
<b>4.2</b>	<b>Controle de imaturos de moscas-das-frutas .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Conservação de mangas por irradiação gama .....</b>	<b>39</b>
5.1.1	Perda de massa e firmeza .....	41
5.1.2	Acidez titulável e pH.....	45
5.1.3	Sólidos solúveis e ratio .....	49
5.1.4	Ângulo Hue e acompanhamento visual das mangas .....	53

<b>5.2</b>	<b>Controle de imaturos de moscas-das-frutas.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil teve uma produção estimada de 43 milhões de toneladas de frutas em 2019, superada somente pela Índia e pelo maior produtor mundial, a China. Apesar da pandemia de Covid-19 em 2020, a exportação de frutas brasileiras atingiu mais de 1 milhão de toneladas, representando um aumento de 6% frente ao obtido no ano anterior, além de ter alcançado uma receita de 875 milhões de dólares, montante 3% superior à de 2019 (ABRAFRUTAS, 2020).

Já em 2021, o Brasil bateu recorde histórico de exportação de frutas, sendo as mangas as mais exportadas, com uma participação considerável do volume total de frutas exportado naquele ano (20%), gerando uma receita em torno de US\$ 248 milhões segundo o Boletim Hortigranjeiro (SISTEMAOCEPAR, 2022). Em relação aos principais produtores de manga no país, os estados da Bahia e Pernambuco se destacam, embora outras regiões, como Minas Gerais e São Paulo, estejam expandindo suas áreas de plantio e aumentando suas participações no cenário nacional de produção de mangas (CARVALHO et al., 2019).

Por colher mangas o ano todo, o Brasil teve a inserção facilitada da fruta em países que manifestaram problemas logísticos ou de produção ao longo da pandemia de Covid-19, como Espanha, Senegal e Costa do Marfim no primeiro semestre de 2020. Além disso, nos Estados Unidos e parte da União Europeia, houve um aumento de consumo da fruta, que está deixando de ser considerada exótica e está se tornando tradicional (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA/USP, 2020).

Entretanto, antes mesmo da crise sanitária, a oferta de mangas já vinha em um crescente aumento devido aos ganhos de produtividade em algumas regiões e à elevação do número de áreas plantadas. Esta última, em 2018, teve como contribuinte o cultivo das mangas sem fibras, como as cultivares ‘Keitt’, ‘Kent’ e ‘Palmer’, o qual, inclusive, foi maior que o plantio das mangas ‘Tommy Atkins’ (CEPEA/USP, 2018). Em relação à manga ‘Palmer’, esse crescimento é explicado pela melhor aceitação por parte dos consumidores no que tange a um conteúdo de fibras reduzido, maior teor de sólidos solúveis e melhores características sensoriais, como aroma e sabor (CAMARA, 2017).

Apesar da expansão de oferta de mangas, acredita-se que as perdas de frutas e hortaliças no Brasil varie entre 35% a 55% da produção (LANA, 2016). Fatores como a falta de conhecimento e capacitação técnica, transporte e armazenamento inapropriados favorecem o cenário apresentado (SILVA et al., 2018). De acordo com o estudo realizado por Tofanelli et al. (2009), o armazenamento inadequado, as circunstâncias inapropriadas de transporte e o mau estado de conservação de hortifrúteis frescos fornecidos aos mercados são alguns dos

fatores mais relevantes para as perdas pós-colheita de frutas e hortaliças. Esses resultados são causados pela escassez de técnicas apropriadas aliada à negligência ao longo das etapas da cadeia produtiva de hortícolas (KADER; YAHIA, 2011; YAHAYA; MARDIYYA, 2019). Outro fator que contribui para as perdas na cultura da manga é o ataque de insetos praga, como as moscas-das-frutas (MALAVASI, 2009). As larvas destas moscas destroem a polpa dos frutos, podem causar queda precoce dos mesmos, e impedem a ingestão da fruta *in natura* e sua exportação para certos países (MALAVASI; ZUCCHI; SUGAYAMA, 2000).

Como consequência, as circunstâncias supracitadas contribuem para os dados fornecidos pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), os quais apontam um desperdício diário de um terço da produção de alimentos a nível mundial (FAO, 2021). Além disso, segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (2019), os fatores apontados colaboram para um consumo *per capita* de 58 kg de frutas por ano no Brasil, muito abaixo da ingestão de 140 kg/ano indicada pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Considerando o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 12, presente na Agenda 2030 das Nações Unidas, os países deveriam, até 2030, assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis através da meta da redução do desperdício de alimentos *per capita* mundial pela metade e da diminuição de perdas de alimentos no decurso das cadeias produtivas e de abastecimento (ONU, 2015).

Além disso, a FAO incentiva o consumo dos hortifrútis através da conscientização de seus benefícios nutricionais e das reflexões sobre a promoção da sustentabilidade e da diminuição de perdas e desperdícios de alimentos. Essa campanha reforça a necessidade de avanços em estudos relacionados à conservação de alimentos, uma vez que, segundo o relatório *Fruit And Vegetables – Your Dietary Essentials*, os países em desenvolvimento lideram o ranking dos índices de perdas devido à escassez de tecnologias e infraestrutura e ao reduzido conhecimento técnico dos envolvidos na cadeia produtiva dos hortifrútis (FAO, 2020).

A campanha da FAO coincide ainda com a tendência de consumo de vegetais na dieta, sendo a pandemia de Covid-19 um fator relevante para esse resultado (CEPEA/USP, 2021). Entretanto, em 2018, o Brasil já demonstrava a preocupação de aumentar a produtividade, consumo interno e exportações de frutas brasileiras através do lançamento do Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura (PNDF) realizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), em parceria com o setor privado (BRASIL, 2018b).



Aumentar o consumo *per capita* interno de frutas e seus derivados para 70 kg/ano e alcançar US\$ 2 bilhões em exportações de frutas *in natura* e processadas são algumas das metas propostas pelo PNDF para a fruticultura nacional até o ano de 2028. Para atingi-las, o programa prevê a criação e execução de projetos em dez áreas temáticas, dentre as quais, destaca-se a Defesa Vegetal, que busca desenvolver um trabalho de defesa agropecuária contra a introdução e disseminação de doenças e pragas que ameaçam o agronegócio brasileiro (BRASIL, 2018b).

Diante do cenário exposto, o desenvolvimento de métodos de conservação surge como uma ferramenta para a diminuição de perdas e a manutenção da qualidade de frutos, como firmeza e cor (OSHIRO; DRESH; SCALON, 2013). Dentre as diversas técnicas existentes como tratamento fitossanitário, a correta aplicação de radiação ionizante é capaz de controlar pragas, como moscas-das-frutas, e de contribuir para o aumento da vida útil de frutas (TEZOTTO-ULIANA et al., 2015), sendo encorajados estudos dos efeitos desta técnica na pós-colheita das mesmas.

As aplicações de radiações ionizantes, na verdade, têm gerado diversos benefícios para a agricultura. Na pós-colheita, destaca-se a inibição do brotamento de bulbos e tubérculos, a inativação de microrganismos, a desinfestação de vegetais e o retardo do amadurecimento e senescência de frutas e hortaliças (BISCONSIN-JUNIOR et al., 2016). Embora ainda possa encontrar obstáculos de difusão por uma parcela da sociedade, os principais órgãos regulatórios, como a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), a Food and Drug Administration (FDA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) consideram a irradiação como uma tecnologia eficaz e segura (MODANEZ, 2012).

Diante do exposto, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos visando a disseminação da irradiação fitossanitária como uma ferramenta para a redução de perdas pós-colheita, bem como para manutenção da qualidade de frutas e hortaliças ao longo do armazenamento, sobretudo de mangas ‘Palmer’. Portanto, busca-se com a irradiação o prolongamento de vida útil da fruta, a garantia da segurança alimentar e fitossanitária, além da contribuição para o aumento do consumo interno e da ampliação da participação brasileira no mercado internacional de frutas. O presente estudo também vai de encontro ao PNDF no que tange ao desenvolvimento de ferramentas para controlar e erradicar espécies de moscas-das-frutas a fim de possibilitar a garantia fitossanitária e aumentar a competitividade da fruticultura brasileira no comércio internacional.

## 2 OBJETIVO

Objetivo geral: Verificar os efeitos da irradiação gama no controle de moscas-das-frutas, na qualidade e na conservação dos frutos da manga cv. 'Palmer'.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar a faixa de dose ótima de irradiação gama para a conservação de mangas 'Palmer' à temperatura ambiente.
- ✓ Verificar o efeito da combinação entre a irradiação e o armazenamento refrigerado na conservação de mangas 'Palmer'.
- ✓ Avaliar a eficiência do tratamento fitossanitário através da aplicação das doses de irradiação gama de 150 e 300 Gy para o controle de imaturos de moscas-das-frutas na cultivar testada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A manga e sua colheita

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma planta tipicamente tropical, cujo fruto tem sabor e aroma agradáveis, sendo considerado um dos frutos mais relevantes no agronegócio internacional devido às suas características nutricionais, econômicas e sensoriais (ABBASI et al., 2015; MIGUEL et al., 2013). O Brasil produziu 1.414.338 toneladas de mangas em 67.754 hectares em 2019 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2019), alcançando globalmente a posição de 7º maior país produtor e o 4º maior exportador da fruta (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2019).

Esta fruta é rica em água, carboidratos, ácidos orgânicos, pigmentos, minerais e variados compostos bioativos, além de ser do tipo drupa, com epicarpo e mesocarpo que envolvem um endocarpo fibroso (MIGUEL, 2012). Alguns fatores como tipo de cultivar, condições agronômicas e disponibilidade hídrica e nutricional podem afetar as características físico-químicas e sensoriais e, até mesmo, propiciar desordens fisiológicas na fruta (YAHIA, 2005).

Segundo Miguel (2012), pode-se classificar o desenvolvimento da manga em quatro estádios. O primeiro, conhecido como ‘estádio juvenil’, é caracterizado por um crescimento celular rápido, que perdura até o 21º dia após a frutificação. O segundo, é determinado entre o 21º ao 49º dia e é denominado como a ‘fase de crescimento máximo’, quando ocorrem grande incremento das taxas respiratórias e produção dos compostos aromáticos. Já o terceiro, é manifestado a partir do 49º ao 77º dia, e é conhecido como ‘maturação e estágio de amadurecimento’, no qual ocorrem uma intensificação da respiração climatérica e do amadurecimento. Por fim, o quarto estágio, também chamado de ‘senescência’, que é apontado a partir do 77º dia, envolve redução da taxa de respiração, aumento de açúcares e demais processos que conduzem à decomposição da fruta.

Dentre as diversas cultivares no Brasil, destacam-se as variedades ‘Tommy Atkins’, ‘Palmer’, ‘Kent’, ‘Keitt’, Ataulfo e Alphonso (LAWSON et al., 2019). Em especial, a manga ‘Palmer’ é uma variedade tardia que possui o ápice de produção nos meses de janeiro e fevereiro, tem se intensificado em notoriedade e aceitação no mercado interno, principalmente por possuir significativa capacidade de conservação e vultoso potencial para a exportação (TEIXEIRA; DURIGAN, 2011).

Para Souza et al. (2018), que avaliaram o comportamento produtivo de mangueiras ‘Palmer’, ‘Espada Vermelha’ e ‘Keitt’ sob circunstâncias subtropicais no Brasil, independente do ciclo agrícola considerado, a cultivar Palmer’ obteve o melhor desempenho, fato que indica

que essa cultivar deve aumentar a sua participação nos mercados nacionais e internacionais nesta década. Ainda, devido a essa fruta ser consumida substancialmente *in natura*, os autores estimularam a viabilização de novas pesquisas a fim de aperfeiçoar toda a cadeia produtiva dessa variedade, desde os cuidados no campo até o manuseio pelo consumidor final.

De maneira geral, os frutos da cultivar ‘Palmer’ possuem uma polpa amarelada, casca roxa quando quase madura e avermelhada quando madura e inexpressiva quantidade de fibras (COSTA; SANTOS, 2010). Quanto aos atributos de qualidade, a manga deve se apresentar de forma integral, possuir tamanho de pedúnculo inferior a 1 cm e não conter pragas e danos de qualquer natureza, além de exibir desenvolvimento e maturação adequados, e sabor e odor característicos (BRECHT et al., 2011).

Os atributos de qualidade citados se desenvolvem nas fases de crescimento e maturação, sendo necessárias boas práticas agronômicas e conhecimentos fisiológicos sobre a manga para alcançá-los, como a utilização de mudas de boa qualidade e procedência conhecida, além de uma irrigação, nutrição e insolação pertinentes à planta a fim de que a fruta possa crescer adequadamente e acumular as devidas reservas para o seu desenvolvimento (FILGUEIRAS et al., 2000).

Filgueiras et al. (2000) explicitaram outros cuidados que devem ser tomados para alcançar a qualidade desejada das mangas, como o exame realizado pelo produtor para não ocorrer a saída de látex na etapa de colheita, o que acarretaria a queima superficial da fruta. Além disso, o profissional ainda precisa se atentar ao correto manejo fitossanitário pré-colheita das mangueiras, uma vez que as variadas pragas e doenças atacam as frutas ainda ligadas à planta, sendo que alguns sintomas podem se manifestar depois de colhidas. Vale ressaltar que, segundo os pesquisadores, os atributos da fruta pós-colhida só podem ser mantidos, nunca melhorados, uma vez que a qualidade é determinada enquanto a fruta estiver ainda ligada à planta.

De um modo geral, a qualidade sensorial das mangas está relacionada ao grau de maturação no momento da colheita (SIVAKUMAR; JIANG; YAHIA, 2011). Essa ideia foi reiterada por Jha et al. (2013) que estudaram a correlação entre a maturação de sete cultivares de mangas na etapa de suas colheitas com a conservação e atributos sensoriais. Os autores apontaram que as frutas imaturas não apresentaram um desenvolvimento satisfatório, já as maduras tiveram menor vida útil mas melhores características sensoriais e, por fim, as mangas colhidas em um estágio intermediário de maturação demonstraram um tempo de conservação prolongado e maior aceitação por parte dos consumidores.

As avaliações de parâmetros como o formato da fruta, cor e firmeza da polpa, teor de látex e de sólidos solúveis são necessárias para uma seleção de maturação adequada, mesmo que as referências utilizadas possam variar para cada cultivar. Em relação ao ponto de colheita, geralmente, a firmeza do fruto e a alteração de coloração da polpa de creme para amarelo são consideradas os principais indicadores físicos sobre o ponto de colheita (FILGUEIRAS et al., 2000; ASSIS et al., 2003).

Já em relação aos indicadores químicos para a colheita, Assis et al. (2003) afirmaram que as mangas destinadas ao armazenamento ou ao transporte de longa duração devem ser colhidas com a firmeza da polpa de 10 kgf e o teor de sólidos solúveis de 7°Brix. Já aquelas que serão consumidas de imediato podem ser retiradas da mangueira com 10°Brix. Portanto, Costa et al. (2017) reforçam que o conhecimento desses indicadores é mister no que tange à vida útil das frutas durante a comercialização.

### **3.2 Pós-colheita**

A pós-colheita começa com o emprego de técnicas para a conservação e acondicionamento desde o rompimento do vegetal com sua planta-mãe até a etapa de seleção para o consumo final ou processamento do alimento. Existem diversas etapas e cuidados cruciais que contribuem para a garantia de qualidade do produto ao longo de toda a cadeia produtiva, bem como peculiaridades quanto às condições de armazenamento e ponto de colheita que afetam a vida útil do fruto (FERREIRA, 2008).

Sobre este último conceito, Hertog et al. (2014) entendem por vida útil o período de tempo que um produto pode ser acondicionado a uma dada temperatura até o momento que o mesmo não atenda às expectativas de qualidade dos consumidores ou que ainda não seja mais admitido para o consumo. Aliás, o limite dessa aceitação é diretamente ligado ao mercado consumidor, o qual dita, de um modo geral, os padrões com base em propriedades físicas ou bioquímicas, como coloração, firmeza, teor nutricional, textura e sabor (JEDERMANN et al., 2014).

De maneira geral, o conhecimento sobre a fisiologia pós-colheita é de extrema relevância para que haja subsídios técnicos que busquem o prolongamento do tempo de armazenamento da fruta e que não alterem suas características, garantindo, portanto, um aumento de sua vida útil (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

### 3.2.1 Fisiologia pós-colheita

A depender da atividade respiratória após a colheita, as frutas podem ser especificadas como climatéricas e não-climatéricas (COSTA NETA et al., 2020). Chitarra e Chitarra (2005) caracterizam frutos climatéricos como aqueles que podem amadurecer enquanto estiverem ligados à planta ou ainda separados delas, quando colhidos imaturos, fazendo com que, neste caso, a fruta utilize somente as reservas acumuladas ao longo do seu desenvolvimento, completamente independente dos substratos da planta-mãe.

Um exemplo de fruta climatérica é a manga, que tem a sua vida útil afetada pelas diversas alterações fisiológicas que ocorrem durante a maturação, cujo tempo varia de 2 a 9 dias após a sua colheita, a depender da cultivar, do seu grau de maturidade e das condições de armazenamento (COSTA et al., 2020; PFAFFENBACH et al., 2013). Nesta fase, o fruto entra em processo autocatalítico da produção de etileno com o consequente aumento da respiração. Açúcares solúveis como frutose, sacarose e glicose são formadas a partir da hidrólise de carboidratos, sobretudo do amido acumulado. Além disso, há uma redução da concentração de ácidos orgânicos, principalmente, o cítrico e o málico, os quais são os majoritários nessa fruta. (ASSIS et al., 2003; NARAYANA; RAO; ROY, 2012).

Ainda após a colheita, o aumento de solubilidade das pectinas estruturais da parede celular acarreta no amolecimento da polpa, bem como há uma alteração da cor da casca a depender da variedade, transitando de verde escuro para amarelo-alaranjado, verde-oliva ou avermelhado. Aponta-se também um acréscimo de teor de lipídeos e de liberação de compostos voláteis que proporcionam o odor característico da fruta, além da redução da adstringência na manga através da mitigação de compostos fenólicos (ASSIS et al., 2003; NARAYANA; RAO; ROY, 2012; LOBO; SIDHU, 2017).

Em geral, a vida útil de frutas e hortaliças ao longo do armazenamento é afetada pela taxa de respiração, temperatura e umidade relativa (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Para Saltveit (2016), é através da respiração que é realizado o fornecimento de compostos que auxiliam na taxa de processos metabólitos ligados a parâmetros físico-químicos e sensoriais, como teor de açúcar, firmeza, acidez, aroma e sabor. Conforme o autor, a temperatura é diretamente relacionada às taxas de reações biológicas, uma vez que, de acordo com a regra de Van't Hoff, para cada acréscimo de 10 °C na temperatura, a velocidade de uma reação biológica aumenta de 2 a 3 vezes.

Já a umidade relativa, quando baixa, pode implicar em murchamento, amarelecimento e perda de massa das frutas e hortaliças, ao passo que, quando elevada, pode existir um aumento

da podridão e distúrbios fisiológicos. Portanto, a umidade relativa apropriada varia de 80 a 95% para esses vegetais (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Existem variadas ferramentas que são utilizadas para o estudo das alterações que ocorrem com a manga ao longo do seu amadurecimento. Segundo Padda et al. (2011), a análise da firmeza, dos sólidos solúveis totais e da intensidade de amarelo para a coloração da polpa são os principais instrumentos que melhor caracterizam as modificações nos estádios de maturação. Costa et al. (2017) corroboraram com esta ideia, além de acrescentarem que a cor da casca, a acidez total titulável, bem como a relação entre sólidos solúveis e a acidez tituláveis foram os parâmetros que melhor definiram os estádios distintos de maturação de mangas ‘Tommy Atkins’, sobretudo os mais avançados.

Portanto, para Cunha Júnior et al. (2007), a fim de uma determinação mais precisa dos estádios de maturação, assim como de um acompanhamento mais eficaz ao longo de seus desenvolvimentos, deve-se realizar uma análise concomitante dos atributos de qualidade da manga durante o seu armazenamento.

### **3.2.2 Danos e injúrias**

De acordo com Gorayeb et al. (2019), os problemas relacionados à qualidade das frutas brasileiras estão fundados no manuseio inadequado desses alimentos desde a colheita. Os autores explicaram que a escassez de cuidados na pós-colheita, a exposição das frutas para a venda em locais não climatizados e a manipulação pelos consumidores na etapa de aquisição são fatores que favorecem a maturação e prejudicam a aparência da fruta, propiciando uma desvalorização do produto no mercado interno e, até mesmo, o desperdício das frutas que estão em condições adequadas para o consumo.

Conceitualmente, Belik (2018) afirma que as perdas são consideradas como a diminuição da disponibilidade de alimentos para o consumo humano originadas de forma involuntária a partir da ineficiência nas etapas ao longo da cadeia produtiva. Em contrapartida, devido a ações deliberadas ou a hábitos culturais e sociais, o desperdício se funda no descarte voluntário de alimentos seguros para ingestão humana. De qualquer maneira, as causas primárias como as injúrias, os danos mecânicos e injúrias fitopatológicas, aliados às práticas pós-colheita inapropriadas, implicam em perdas e desperdícios consideráveis (SOUZA et al., 2018).

Em relação aos danos mecânicos como manchas, abrasões e ferimentos formados a partir do manuseio irregular da fruta, esses têm a capacidade de acelerar as reações de amadurecimento e promovem a perda de água na manga. Alguns desses prejuízos são formados

devido ao impacto, quando o produto cai ou é arremessado, ou devido à compressão, quando há uma relevante sobrecarga de peso sobre a fruta. Geralmente, esses efeitos ainda podem ocorrer por vibração durante o transporte, principalmente em situações que existam condições precárias de acesso e logística (SIVAKUMAR; JIANG; YAHIA, 2011; ANDRADE et al., 2016).

De modo geral, o dano origina manchas na casca e amolecimento da polpa no local do impacto, acompanhado ou não de escurecimento, que pode implicar na alteração das qualidades sensoriais. Além disso, a ocorrência de cortes e ferimentos realizados por objetos cortantes pode facilitar o acesso de microrganismos deteriorantes na polpa. Contudo, a depender do tipo de imperfeição e mancha na casca, pode ocorrer somente a diminuição do valor econômico da fruta (FILGUEIRAS et al., 2000).

As mangas ainda podem sofrer injúrias pelo frio, uma vez que não toleram baixas temperaturas, sendo essa sensibilidade relacionada ao estágio de maturação, uma vez que frutas maduras são menos sensíveis ao frio, e ao tipo de cultivar (NUNES et al., 2007). A depender das circunstâncias, as manifestações mais comuns causadas pela injúria pelo frio, de acordo com Wang et al. (2008), são o desenvolvimento irregular da cor e sabor, as variações no amadurecimento e a maior vulnerabilidade a doenças.

Por outro lado, Filgueiras et al. (2000) também apontaram que altas temperaturas por exposição ao sol ou manuseio inadequado podem provocar o colapso da polpa em mangas que não foram sujeitas a atmosferas modificadas. A depender das circunstâncias, segundo os autores, além do colapso da polpa, podem ocorrer diminuição do sabor característico e até sinais de anaerobiose através da produção de compostos tóxicos para a polpa, como acetaldeído e etanol.

Já em relação aos danos fisiológicos mais relevantes, destaca-se o colapso interno, caracterizado por um amadurecimento irregular e prematuro iniciado na área mais próxima à semente, e a queimadura por látex, reconhecida pelas manchas escuras causadas pelo contato do látex com a casca da manga (ASSIS et al., 2003).

A seguir, é apresentada uma caracterização geral quanto ao transporte e acondicionamento das mangas, uma vez que, para Yahia, Fonseca e Kitinoja (2019), as causas secundárias de perdas e desperdícios na pós-colheita estão diretamente relacionadas à escassez da divulgação do conhecimento técnico sobre o manuseio de hortícolas apropriado e às etapas de armazenamento e logística inapropriados.



### 3.2.3 Transporte e armazenamento

Frutas e hortaliças necessitam de diversas exigências quanto às suas condições de conservação para manter o frescor, a segurança e a qualidade do produto ao longo de toda a sua cadeia de transporte e distribuição (AUNG; CHANG, 2014). Devido às condições de higiene e de conservação inapropriadas ao longo das etapas de distribuição, estima-se que um terço de alimentos frescos é rejeitado para o consumo humano (TINGMAN; JIAN; XIAOSHUAN, 2010).

Em relação ao acondicionamento, o material da embalagem, geralmente papelão ondulado, deve possibilitar uma maior proteção das mangas durante o transporte, sobretudo ao longo da exportação, dirimindo a possibilidade de ocorrer danos mecânicos e injúrias. Além disso, as embalagens ainda devem evitar a perda de água, ter resistência, ventilação e angulação razoáveis a fim de resguardar as frutas de forma segura ao longo do transporte e comercialização (BRECHT et al., 2011).

White (2007) monitorou o transporte refrigerado de alimentos perecíveis durante o traslado do produtor ao Centro de Distribuição e observou um incremento de 30% da temperatura em relação àquela especificada, e de 15% nos deslocamentos do Centro de Distribuição para os lugares de comercialização à varejo. Dessa forma, o transporte em veículos refrigerados pode ser considerado como um ponto crítico para a qualidade de frutas, uma vez que as variações de temperatura durante toda a cadeia logística podem implicar em perdas consideráveis (HEIDMANN et al., 2013).

A manutenção da temperatura ideal de conservação e da umidade relativa são elementos muito relevantes para a redução da velocidade dos processos metabólicos, os quais continuam na pós-colheita e levam à deterioração de vegetais (AUNG; CHANG, 2014; SPAGNOL et al., 2018). Segundo Pereira (2008), isso reforça a necessidade de monitoramento ininterrupto na cadeia do frio desse produto.

De acordo com Chongchatuporn et al. (2013), que analisaram os efeitos do frio em mangas em diferentes temperaturas, o acondicionamento a 12 °C foi o recomendado a fim de se prolongar a vida útil pós-colheita. Para Salvett (2016), o armazenamento de mangas imaturas de 10 a 13 °C com umidade relativa de 85 a 90% pode oferecer, de acordo com a cultivar, uma vida útil de 14 a 28 dias. Sem danos ao amadurecimento, Miguel et al. (2013) afirma que a manga 'Palmer' pode ser acondicionada a 12 °C por 21 dias, com ressalva quanto a existência de podridões.

De acordo com Wang (2010), existem diversos métodos que são recorridos para atenuar ou reduzir os prejuízos originados pelo frio em frutas, como os tratamentos térmicos ou com cálcio, o armazenamento em atmosfera controlada e as aplicações de poliaminas, jasmonato de metila, etileno e ácido abscísico, por exemplo. Contudo, Kluger et al. (2007) apontam que o método básico de controle é o armazenamento de frutos sob suas temperaturas apropriadas, as quais são relativas a cada espécie, e ainda enfatizam a relevância e a necessidade de desenvolvimento de métodos propícios para os variados frutos com utilização na agroindústria.

Aliado à necessidade de um controle rigoroso da temperatura, a alta perecibilidade de frutas e hortaliças requer uma logística relativamente eficaz e ágil (RUIZ-GARCIA, 2008). Essa ideia é complementada por Mejjaoui e Babiceanu (2015) quando asseguram que as cadeias de suprimentos de alimentos devem ser rápidas a fim de suprir as normas de segurança e as exigências de mercados novos e mais competitivos. No entanto, a logística de transportes no território brasileiro enfrenta dificuldades infraestruturais, as quais dificultam o fluxo de mercadorias entre as regiões frutícolas interioranas e o mercado internacional (OLIVEIRA; PEREIRA, 2019).

De acordo com Ruiz-Garcia e Lunadei (2011), é crucial a redução da exposição de frutas e hortaliças a condições inapropriadas de armazenamento durante a cadeia logística a fim de abaixar os custos de transporte. Inclusive, no que tange a este assunto, apesar do tempo de entrega ser relativamente muito menor, a utilização da via aérea para a exportação de mangas atinge um custo superior ao recebido pelas vias marítimas (LUCATELLI et al., 2020).

Além disso, Trindade et al. (2015) afirmam que o transporte marítimo é crítico para a ocorrência de perdas devido ao extenso período de acondicionamento das frutas e hortaliças. Para os autores, essa circunstância é suficiente para se buscar tecnologias emergentes e sofisticar às já existentes, a fim de prolongar a vida útil de mangas ‘Palmer’ e angariar novos mercados.

#### **3.2.4 Doenças, pragas e tratamento fitossanitário**

A mangueira (*Mangifera indica* L.) está susceptível a ataques de pragas e a variadas doenças durante o todo o seu desenvolvimento. Destas, as que são mais relevantes no que tange às perdas pós-colheitas são a antracnose, a podridão do pedúnculo e podridão por *Alternaria* sp. (FILGUEIRAS et al., 2000). A antracnose é causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, que provoca manchas escurecidas bem definidas, as quais crescem e se unem, causando rápido apodrecimento da manga (FISCHER et al., 2019).

Já a podridão do pedúnculo é originada principalmente pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, o qual forma lesões escurecidas com bordas bem delineadas na base do pedúnculo, podendo causar rachaduras na casca da manga e expor a polpa. Ainda, a liberação de exsudados da fruta durante o climatério propicia o desenvolvimento deste fungo, levando à destruição dos tecidos vegetais (LINS et al., 2010). Por fim, a podridão por *Alternaria* é causada por *Alternaria alternata*, a qual ocasiona podridões na casca e pedúnculo das mangas devido, sobretudo, à infecção de suas lenticelas (PRUSKY et al., 2002).

Em relação às pragas, as moscas-das-frutas são as maiores responsáveis por prejuízos econômicos na mangicultura, uma vez que, além dos danos diretos nos frutos, algumas espécies desses insetos são consideradas como pragas quarentenárias por diversos países (QIN et al., 2015). Esses insetos pertencem à família Tephritidae, com mais de 4.911 espécies descritas, sendo as dos gêneros *Anastrepha* e *Ceratitis* as mais relevantes para a fruticultura brasileira (ZUCCHI, 2015).

Os danos diretos causados pelas moscas-das-frutas ocorrem pela oviposição nos frutos, assim como pela alimentação larval que impossibilita a industrialização e ingestão da fruta *in natura* (MALAVASI, 2009). Devido a esses prejuízos diretos, são originados orifícios que viabilizam o acesso de microrganismos patogênicos ao fruto, provocando, desta forma, danos indiretos (NAVA; BOTTON, 2010).

No Brasil, as principais moscas-das-frutas que infestam mangas são das espécies *Ceratitis capitata*, *Anastrepha obliqua* e *Anastrepha fraterculus* (MALAVASI; ZUCCHI; SUGAYAMA, 2000; ZUCCHI, 2015). Soares et al. (2020) também apontaram que a espécie *Ceratitis capitata* tem uma alta taxa de infestação em mangas ‘Palmer’, após estudarem a diversidade e a infestação de moscas-das-frutas em mangas cultivadas no semiárido de Minas Gerais, Brasil.

Através do ovipositor, as moscas-das-frutas introduzem seus ovos sob a casca do fruto, sobretudo quando ainda está imaturo. Após um período de tempo, as larvas eclodem e se alimentam de polpa, causando os danos citados anteriormente. Após o desenvolvimento do último ínstar, as larvas saem do fruto e iniciam a fase de pupa no solo. Por fim, emergem os adultos, único estágio no qual os indivíduos possuem vida independente, completando, portanto, o ciclo de reprodução daqueles insetos (SALLES, 1995).

Para Caruso (2009), após a oviposição, a aparência externa da fruta não é afetada, o que facilitaria o deslocamento da praga para um lugar que comumente não a possui. Neste sentido, a fim de reduzir a difusão de pragas, tratamentos quarentenários são utilizados como barreiras fitossanitárias no comércio internacional de *commodities*, não devendo causar prejuízos a

nenhum capital humano da cadeia produtiva, bem como ao consumidor e ao produto (CAMARGO; TADINI; SABATO, 2007).

Além disso, tratamentos fitossanitários são aplicados para desinfestar frutas pós-colhidas e garantir a segurança quarentenária. Dentre as diversas aplicações existentes, o tratamento hidrotérmico é muito utilizado no Brasil para garantir a segurança quarentenária de mangas destinadas aos Estados Unidos, Chile e Japão. De acordo com o United States Department of Agriculture (USDA), frutas com massa inferior a 423 g devem ser imersas em água quente (46,1 °C) por 75 minutos, ao passo que, para aquelas que possuem massa acima de 423 g, a operação unitária se dá por 90 minutos na mesma condição anterior de temperatura da água. Em seguida, as mangas devem ser resfriadas em água fria a 21 °C e destinadas à “zona limpa”, lugar revestido por telas de 23 *mesh* a fim de evitar a entrada de qualquer tipo de inseto, sobretudo as moscas-das-frutas (USDA, 2016).

Além disso, este tratamento possui eficiência considerável no que tange ao controle de podridões em frutas, embora a combinação com o tratamento químico apresente resultados mais satisfatórios (SUÁREZ-QUIROZ et al., 2013). Entretanto, existe uma procura progressiva por aplicações de métodos alternativos de controle, uma vez que, a depender do tratamento químico, pode-se favorecer um aumento de resistência a fungicidas por parte de microrganismos patogênicos, além de provocar riscos à saúde e ao meio ambiente (SANTOS et al., 2020).

Segundo Wieland et al. (2010), além desse método citado, o tratamento com radiação ionizante também reduz a presença de pragas, parasitas e microrganismos em vegetais, além de preservar os alimentos por um tempo mais longo e diminuir as perdas originadas pela maturação ou brotamento. Esta tecnologia vem sendo utilizada em mais de 50 países na conservação de frutas frescas, ervas medicinais, temperos e carnes, por exemplo (BUSTOS-GRIFFIN; HALLMAN; GRIFFIN, 2015).

### **3.3 Tratamento por irradiação**

Chaves et al. (2021) definem as radiações como a propagação de energia através da emissão de partículas ou de ondas eletromagnéticas. Dependendo das características do meio, as radiações podem ser ionizantes ou não ionizantes. No primeiro grupo, encontram-se as partículas ou ondas eletromagnéticas possuidoras de uma alta velocidade de propagação e com energia suficiente para gerar diversos efeitos sobre a matéria. Já o segundo grupo é formado pela radiação que não tem uma energia considerável capaz de remover elétrons dos átomos ou quebrar ligações químicas entre os átomos.

A radioatividade possui um amplo campo de aplicação, como na indústria, na medicina e na agricultura (CHAVES et al., 2021). Nesta última, destaca-se a irradiação de alimentos, que consiste na utilização de uma fonte de radiação ionizante, como o cobalto-60 e césio-137, à qual alimentos são expostos a um tempo conveniente para que seja realizada a esterilização, diminuição da carga microbiana, retardo na maturação de frutas, especiarias, cereais e grãos ou impedir o desenvolvimento de brotamentos de bulbos e tubérculos (COUTO; SANTIAGO, 2010).

Basicamente, o processo de irradiação pode ocorrer pela colocação dos alimentos alvo em recipientes específicos, os quais são levados ao interior da câmara de irradiação por meio de um monotrilha de maneira que a exposição à radiação gama seja a mais homogênea possível dentro de um período de tempo pré-definido. Após a exposição à radiação, a fonte é recolhida para o fundo de uma blindagem de chumbo ou de uma piscina preenchida por água até a sua próxima utilização (XAVIER et al., 2007).

A ingestão de alimentos irradiados não oferece perigo aos consumidores (PEREDA, 2005). Pelo contrário, de acordo com Silva e Roza (2010), a utilização desta tecnologia implica em alterações químicas mínimas no alimento, responsabilizando alguns fatores como a temperatura, a aplicação de doses inapropriadas, a disponibilidade de oxigênio no armazenamento e a natureza do alimento como responsáveis pela redução de concentração de nutrientes e da qualidade de atributos sensoriais durante o tratamento.

Além dos objetivos já citados, a aplicação da irradiação, por não afetar a temperatura do produto irradiado, possibilita a realização do tratamento em alimentos já embalados, o que favorece uma maior proteção à reinfestação de insetos e à recontaminação microbiana, bem como amplia o campo de utilizações, uma vez que pode ser aplicada em alimentos *in natura* ou processados (MOURA et al., 2005; FARKAS, 2006). Ainda, para Lima Filho et al. (2012), a não utilização de produtos tóxicos durante o processo implica em reduzidos riscos à saúde humana. Já Oliveira, Soares e Alves (2012) reforçaram que a irradiação, assim como os demais métodos de desinfestação, não é capaz de aumentar as qualidades dos atributos sensoriais de um alimento já deteriorado.

Em relação às condições de aplicação da irradiação em alimentos, existem diversas recomendações indicadas pelos órgãos como *International Atomic Energy Agency* (IAEA), pela FAO e pelo *Codex Alimentarius*. No entanto, apesar de existir um consenso internacional de que a aplicação de doses de até 10 kGy (BRASIL, 2001) em alimentos é segura, cada país tem um poder discricionário quanto à aprovação e regulamentação de utilização dessa tecnologia (FERREIRA et al., 2020).

Dentre as legislações vigentes, destaca-se o Decreto nº 72.718, de 29 de agosto de 1973, que designa normas gerais sobre a irradiação de alimentos (BRASIL, 1973) e a Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, que determina os requisitos gerais para a aplicação da irradiação visando a garantia de qualidade sanitária do alimento irradiado (BRASIL, 2001). Mais recentemente, foi aprovada a Instrução Normativa nº 9, de 24 de fevereiro de 2011 (BRASIL, 2011), a fim de se evitar a introdução ou propagação de pragas quarentenárias regulamentadas no território nacional, utilizando as diretrizes da Norma Internacional para Medidas Fitossanitárias (NIMF) nº 18 como orientação técnica para aplicação de irradiação como parâmetro fitossanitário.

Contudo, Ornellas et al. (2006) avaliaram o comportamento de consumidores em relação à irradiação de alimentos e relataram que existem diversas barreiras que dificultam a comercialização desses produtos no Brasil, embora a tecnologia utilizada já seja devidamente regulamentada. Os principais obstáculos apontados pelos autores foram o custo de instalação de irradiadores comerciais e a aceitação por parte do consumidor, muitos dos quais possuem pré-conceitos errôneos no que concerne a energia nuclear, que podem ter sido embasados na visão negativa deixada após as bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial e os diversos acidentes ao redor do mundo.

Além disso, Fox (2002) já havia apontado que essa baixa aceitação está relacionada ao fato de muitos consumidores associarem os alimentos irradiados como um fator precursor de doenças, como o câncer. Todavia, Modanez, Rossini e Arthur (2016) concluíram que os consumidores estão mais atentos quanto à escolha de seus produtos e estão mais abertos para comprar alimentos que tiveram tecnologias emergentes e alternativas em alguma parte de seus processos produtivos. Os autores ainda ressaltaram que há a necessidade de maior disseminação do conhecimento envolvido na irradiação como um método de conservação e seus benefícios, uma vez que a falta dele é a principal barreira de expansão da tecnologia na área de alimentos.

### **3.3.1 Efeitos da irradiação em frutos**

Denomina-se radiólise um processo de decomposição de substâncias que compõem a matéria alvo de incidência de radiações ionizantes, o que implica em efeitos químicos primário e secundário em alimentos. O primeiro ocorre pela absorção da energia da irradiação pelos compostos diretamente expostos e causa maiores consequências à medida que essa energia aumenta, tendo a aptidão de lesionar o DNA como uma das consequências mais marcantes da ocorrência desse efeito na matéria. Já o segundo, está ligado à interação dos compostos

primários entre si ou com outras substâncias, formando assim, produtos radiolíticos (PEREDA, 2005; DAFRE; MARIS, 2013).

Em relação às lesões na estrutura do DNA originadas pela irradiação, Dafre e Maris (2013) explicam que essas são formadas pela quebra simples ou dupla da fita do DNA, as quais podem se ligar, caso haja um agente intercalante. Basicamente, quando isso ocorre, a célula perde a capacidade de divisão celular, uma vez que as fitas não podem mais se desassociar, além de estarem sujeitas à morte devido a essas lesões.

Devido aos danos efetivos causados no DNA, a irradiação ionizante em alimentos possui diversas finalidades, como o retardo da maturação e envelhecimento de alguns tipos de frutas e hortaliças e a inibição de brotamentos de tubérculos e bulbos, os quais possuem considerável concentração de tecido meristemático sensível à irradiação. Além disso, essa técnica também é capaz de modificar a estrutura molecular de microrganismos deterioradores e insetos, impedindo que estes se reproduzam (DEL MASTRO, 1999; KUME et al., 2009; BISCONSIN-JUNIOR et al., 2016).

Outras alterações também foram apontadas por Tezotto-Uliana et al. (2015), como a alteração da concentração de vitaminas A, C e E, devido às suas reduções quando submetidas a altas doses e às suas capacidades antioxidantes. Além disso, o desencadeamento de reações químicas e a formação de radiolíticos originados pelos efeitos secundários do processo pode acarretar em mudança de coloração e desenvolvimento de atributos sensoriais desagradáveis (MOLINS, 2001; TEZOTTO-ULIANA et al., 2015).

No que tange às doses, Pimentel (2007) afirma que as aplicações de doses de 50 a 150 Gy são eficazes para a desinfestação de frutas, sendo a capacidade de impedir a reprodução, a emergência de insetos adultos e seu voo como um parâmetro da eficiência do processo. Já para a redução de 1 logaritmo de fungos patogênicos e vírus são necessários doses de 100 a 300 Gy, ao passo que, para a mesma redução de bactérias patogênicas em produtos frescos, são aplicadas doses de irradiação de 200 a 800 Gy (ARVANITOYANNIS; STRATAKOS; TSAROUHAS, 2009).

Normalmente, apesar de a aplicação de 300 Gy ser considerável para atestar a desinfestação de dípteros e coleópteros em frutas (HALLMAN, 2012), estuda-se os efeitos da aplicação de doses de radiação mais altas em escala laboratorial devido a uma maior facilidade e controle de uniformidade durante todo o processo. Além disso, essa ampla aplicação de doses é também reforçada pelo fato de que, a nível industrial, podem existir fatores aleatórios que favorecem uma maior variação da dose absorvida (CARUSO, 2009).

A tolerância à radiação de frutas climatéricas é influenciada pelo seu estágio de maturação, sendo necessário a determinação desse estágio, as condições de pré e pós tratamento e a salvaguarda dos cuidados no transporte a fim de reduzir os efeitos indesejáveis da irradiação no fruto (LACROIX; QUATTARA, 2000; BROISLER, 2007).

Lacroix e Quattarra (2000) ainda mencionaram que grande parte das frutas *in natura* não sofrem modificações de qualidade pelo tratamento de irradiação com dose mínima de 23 Gy, ao passo que a de 223 Gy pode implicar em algumas alterações. Vale ressaltar que Diehl (1995) já apontava que as condições sob as quais o alimento é irradiado afetam diretamente o resultado obtido, como o estado físico do alimento, a temperatura e a presença ou ausência de oxigênio.

Diversos são os estudos sobre a aplicação de irradiação na área de alimentos, dentre os quais, neste presente estudo, estão destacadas cronologicamente algumas pesquisas sobre a utilização dessa tecnologia para a conservação e desinfestação de frutas. Fêsues, Kádas e Kálman (1981) apontaram que doses entre 400 e 600 Gy desinfestam laranjas sem implicação de danos na fruta, embora a dose de 200 Gy já impossibilite o término do ciclo de vida de *Ceratitis capitata*.

Vijaysegaran et al. (1990) combinaram os tratamentos de refrigeração e irradiação na conservação de mangas da variedade Harumanis. Os pesquisadores determinaram que a dose de até 1 kGy seguida de um acondicionamento por quatro semanas a 15 °C não acarreta em modificações nos atributos sensoriais significativas, ao passo que aquelas que foram conservadas à temperatura de 23 °C apresentaram características de podridão. Ainda, a 15 °C ou 23 °C, os autores sinalizaram que não houve diferenças significativas na firmeza entre as mangas tratadas e aquelas que não foram.

Já Bustos et al. (1992) avaliaram os efeitos em mangas irradiadas com doses de até 1kGy, as quais não obtiveram mudanças significativas nas taxas respiratórias, no metabolismo e no conteúdo nutricional. Ademais, a dose de 230 Gy foi suficiente para desinfestar a fruta de larvas de quatro espécies de moscas-das-frutas, dentre elas, a *Ceratitis capitata*. No âmbito de análise sensorial, os consumidores aceitaram de forma idêntica as mangas que foram tratadas com irradiação e aquelas que não foram.

Mangas ‘Tommy Atkins’ de estágios de maturação 2 e 3 foram irradiadas e analisadas por Broisler (2007) com o objetivo de simular o armazenamento refrigerado durante uma exportação e verificar as possíveis alterações por meio de análises de perda de massa, acidez total titulável, coloração da casca e polpa, sólidos solúveis, pH e textura. A autora concluiu que



o tratamento na dose de 750 Gy com o estágio de maturação 2 foi o mais relevante no que tange o retardo do amadurecimento e consequente aumento de vida útil.

Já Sabato et al. (2009a) estudaram mangas ‘Tommy Atkins’ destinadas ao Canadá, das quais uma parte foi irradiada com doses de 400 e 1000 Gy e a outra foi considerada o controle, que passou por banho térmico (46 °C/110min). As frutas foram acondicionadas a 11 °C e UR de 66,6% por dez dias até a exportação e durante o transporte internacional foram acondicionadas a 22 °C e UR de 42% ao longo de doze dias. Os autores concluíram que a irradiação pode ser utilizada como tratamento quarentenário, com a ressalva de que a dose de 1000 Gy implicou em alterações na textura. Além disso, explicitaram que o custo de aplicação de irradiação gama é competitivo no que concerne ao tratamento de mangas com fins de desinfestação.

Mais recentemente, Cancino-Vasquez et al. (2020) irradiaram mangas da cultivar ‘Ataulfo’ com doses de 0; 150; 300; e 450 Gy e analisaram os efeitos sobre os atributos sensoriais por meio da avaliação de julgadores treinados. Os pesquisadores apontaram que a dose de 150 Gy pode ser utilizada como tratamento fitossanitário dessa fruta sem causar alterações na qualidade sensorial, e que a dose de 300 Gy implicou em uma associação positiva entre suculência e os odores de manga e mel. Por fim, concluíram que doses até 450 Gy afetam ligeiramente as características sensoriais de sabor, odor e textura das mangas ‘Ataulfo’.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

As mangas Palmer foram obtidas por meio da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP). Os lotes das frutas foram homogeneamente escolhidos quanto ao estágio de maturação de acordo com a escala de 5 pontos: estágio 1 (100% verde), estágio 2 (75% verde e 23% vermelho escuro), estágio 3 (50% verde e 50% vermelho), estágio 4 (23% verde e 75% vermelho) e estágio 5 (23% amarelo e 75% vermelho) (SABATO et al., 2009a). Ao todo, cerca de 230 mangas no estágio 2 foram destinadas aos ensaios de armazenamento e de controle de moscas-das-frutas, sendo 105 mangas destinados ao ensaio de armazenamento à temperatura de 23 °C (com 3 repetições/dose), 45 mangas para o ensaio de armazenamento refrigerado (5 repetições/dose), e 48 frutos para o estudo de controle de imaturos (8 repetições/dose).

Os ensaios de conservação de mangas e de desinfestação por irradiação foram desenvolvidos no Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia (LIARE) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP) e no Instituto de Pesquisas Nucleares – Brasil (IPEN–CNEN/SP), onde as amostras foram irradiadas.

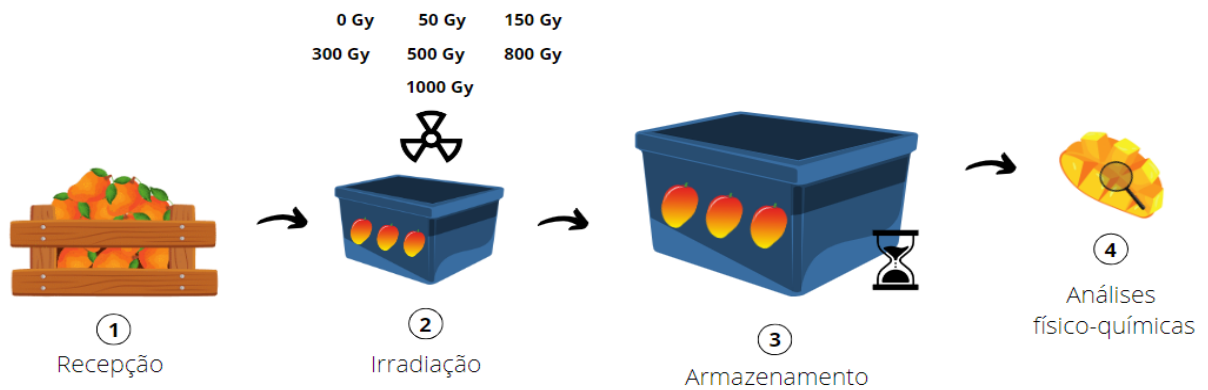
### **4.1 Ensaios de conservação de mangas por irradiação**

Os ensaios de conservação de mangas por irradiação gama foram divididos segundo a temperatura de armazenamento: à temperatura ambiente (4.1.1) e refrigerado (4.1.2).

#### **4.1.1 Armazenamento à temperatura ambiente**

A Figura 1 representa o esquema da metodologia desenvolvida no ensaio de avaliação físico-química de mangas irradiadas por diferentes doses de irradiação gama e armazenadas à temperatura ambiente (23 °C).

Figura 1 - Esquema da metodologia desenvolvida no ensaio de conservação de mangas irradiadas e mantidas à temperatura ambiente (23 °C).



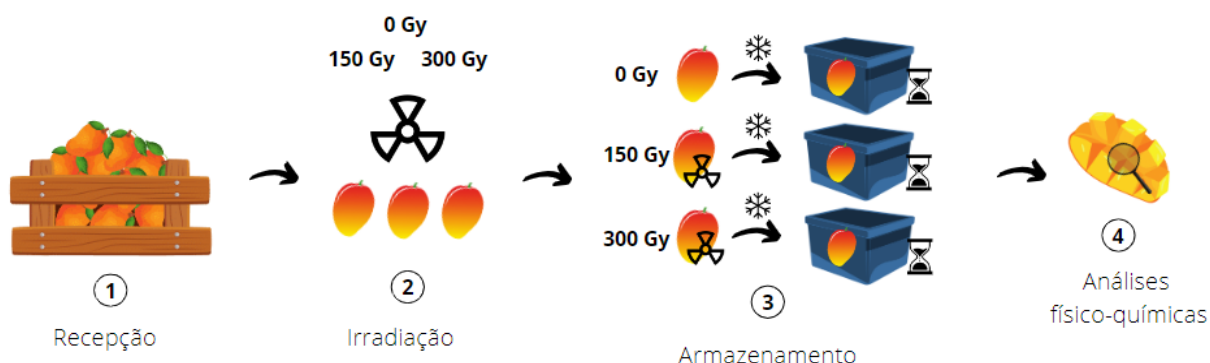
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como demonstrado na Figura 1, as mangas acondicionadas em caixas higienizadas de plástico e envoltas por suporte de isopor (1) foram irradiadas no Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 do IPEN (IM-<sup>60</sup>Co). Foram aplicados 8 tratamentos, sendo um controle (0 Gy) e doses absorvidas de 50, 150, 300, 500, 800 e 1000 Gy, as quais foram aferidas por meio da utilização de um dosímetro de rotina Gammachrome YR batch 64 (2). Assim que os tratamentos se encerraram, as frutas foram armazenadas à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $70 \pm 1\%$ , com o objetivo de simular o acondicionamento durante a comercialização direta para o consumidor (3). No 1°, 7°, 14°, 17° e 21° dia de armazenamento, as amostras foram analisadas quanto a parâmetros físico-químicos a fim de se avaliar os efeitos das doses de radiação gama sobre a qualidade das mangas mantidas à temperatura ambiente (4).

#### 4.1.2 Armazenamento refrigerado

A Figura 2 representa o esquema da metodologia desenvolvida no ensaio de avaliação físico-química de mangas irradiadas por diferentes doses de irradiação gama e armazenadas sob refrigeração (13 °C).

Figura 2 - Esquema da metodologia desenvolvida no ensaio de físico-química de mangas irradiadas e armazenadas sob refrigeração (13 °C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim que obtido o resultado do Estudo 4.1.1, os procedimentos para este experimento se iniciaram. Como demonstrado na Figura 2, um novo lote homogêneo de mangas foi adquirido (1) e destinado aos tratamentos de aplicação de irradiação gama: controle (0 kGy) e as duas menores doses que possibilitaram uma melhor conservação das frutas obtidas no ensaio anterior (2.1.1), 150 e 300 Gy, as quais foram aplicadas na câmara de um irradiador *GammaCell-220*<sup>®</sup> (MDS Nordion International Inc., Canadá) contendo fontes de <sup>60</sup>Co com atividade de 4,8 TBq (130,4 Ci) no começo dos testes (2). Em seguida, as mangas foram armazenadas em uma câmara fria à temperatura de  $13 \pm 1$  °C e umidade relativa de  $90 \pm 3\%$ , com o objetivo de verificar a combinação de dois métodos de conservação, a irradiação e o resfriamento (3), frente à conservação das mangas do ponto de vista físico-químico ao longo dos 1°, 7°, 14° e 21° dias de armazenamento (4).

#### 4.1.3 Análises físico-químicas

Todos os tratamentos dos Ensaio 4.1.1 e 4.1.2 foram avaliados quanto às análises descritas a seguir.

Para cada tratamento, 3 frutos foram acompanhados durante todo o experimento para a determinação de variação da massa. As pesagens foram realizadas através de uma balança analítica. O resultado de perda de massa de cada amostra foi obtido subtraindo-se a massa da manga no dia de análise da massa original medida no primeiro dia, dividindo-se essa diferença pela massa original encontrada no primeiro e multiplicando-se esse resultado por 100, a fim de expressá-lo em porcentagem.

Em relação às análises destrutivas, as amostras foram avaliadas na ordem de análises apresentadas a seguir.

a) Firmeza da polpa

A medida da firmeza da polpa seguiu o descrito no Manual de Práticas para o Melhor Manejo Pós-Colheita de Manga (BRECHT et al., 2011), através da utilização de um penetrômetro (modelo PTR-300<sup>®</sup>, Instrutherm) com um pistão de 11 mm. Antes de cada medição, a casca da fruta na região de medição foi removida e o resultado foi expresso em Newton (N).

b) Tonalidade da polpa

A coloração instrumental da polpa foi determinada por meio da utilização de um colorímetro portátil (Minolta Chroma Meter CR 400, MINOLTA, 1994), previamente calibrado de acordo com as recomendações do fabricante. Foram realizadas duas leituras em lados opostos da polpa na região equatorial das frutas e uma leitura interna na região central da polpa. Os valores foram verificados segundo o sistema tridimensional CIE L\* a\*, b\*, no qual, o eixo a\* descreve a variação do verde ao vermelho, o eixo b\* mede do azul ao amarelo. Somente o ângulo Hue de cor ( $^{\circ}h$ ) foi calculado, o qual indica  $0^{\circ}$  = vermelho;  $90^{\circ}$  = amarelo;  $180^{\circ}$  = verde e  $270^{\circ}$  = azul.

c) pH

Os valores de pH foram obtidos através da utilização direta de potenciômetro (Accumet, Excel XL20 Fisher Scientific), o qual foi calibrado com soluções tampão de pH ácido e básico (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 2012).

d) Acidez titulável em ácido orgânico

Foram trituradas 10 g de polpa da manga em Mixer, seguido da adição de 100 mL de água destilada. Foi utilizada uma bureta de 50 mL contendo hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N padronizado e como indicador foram utilizadas 3 gotas de fenolftaleína. O ponto de viragem da solução da polpa homogeneizada foi medido por pHmetro em pH 8,1 (AOAC, 2012) e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

e) Sólidos Solúveis Totais

O conteúdo de sólidos solúveis totais foi determinado através da utilização de refratômetro e a medida expressa em °Brix (AOAC, 2012).

f) Relação Sólidos solúveis/acidez total (ratio)

O ratio é a relação entre os sólidos solúveis e a acidez expressa em ácido orgânico, obtidos pela polpa da fruta (AOAC, 2012).

#### 4.2 Controle de imaturos de moscas-das-frutas

O estudo foi realizado com base na metodologia descrita por Bustos et al. (2004), com modificações. A Figura 3 representa o esquema desenvolvido neste ensaio.

Figura 3 – Esquema da metodologia desenvolvida no ensaio de sinfestação e controle de imaturos de moscas-das-frutas em mangas cv. Palmer.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Recepção (1) e Higienização (2):** Para a realização deste estudo, foram utilizadas 48 mangas pré-selecionadas e higienizadas com solução de hipoclorito de sódio  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  por 15 minutos, as quais foram divididas em dois grupos de 24 frutas, sendo que para que cada grupo foi destinado à infestação por colônia de moscas sul-americana (*Anastrepha fraterculus* morfotipo Brazil-1) ou de moscas-do-mediterrâneo (*Ceratitis capitata*) separadamente. Essas colônias são mantidas anualmente no CENA/USP como descrito por Mastrangelo et al. (2021).

**Infestação (3):** Vinte e quatro horas antes da emergência dos adultos, os pupários foram separados da vermiculita, por meio de uma peneira, e foram colocadas em duas gaiolas ventiláveis de acrílico (50x50x50 cm), sendo que uma continha cerca de 70 mL de pupas de moscas-do-mediterrâneo ( $\approx$  4.200 pupas) e a outra continha em torno de 80 mL de pupas de moscas sul-americanas ( $\approx$  2.400 pupas). Para cada gaiola, os insetos adultos foram alimentados por 230 g de uma sólida mistura de extrato de levedura de cerveja liofilizada *Bionis*<sup>®</sup> YE MF (*Biorigin*, Lençóis Paulista, SP) e açúcar refinado (1:3) e 100 mL de água.

Após os adultos atingirem a maturidade sexual, fase que ocorreu 3 dias após a emergência de moscas-do-mediterrâneo e 7 dias para a mosca sul-americana, as mangas foram colocadas em suportes localizados à 3 cm em relação ao fundo da gaiola a fim de serem submetidas à infestação por um período de 24 horas. Esse processo ocorreu a  $23\pm 1$  °C,  $70\pm 5\%$  UR e um fotoperíodo de 12: 12 h (L: E).

**Irradiação (4):** Após a infestação, as mangas foram removidas das gaiolas e armazenadas em bandejas ventiláveis de plástico completamente fechadas com tecido *voile* na tampa. Em 24 h após a oviposição das moscas, as mangas infestadas foram irradiadas em um irradiador Gammacell-220<sup>®</sup> (MDS Nordion International Inc., Canadá) com as doses de 150 e 300 Gy, sendo que, para cada tratamento, existiram 8 repetições, sendo cada dia de infestação considerada uma repetição.

**Armazenamento (4):** Após a irradiação, os recipientes contendo as mangas foram colocados em prateleiras metálicas por períodos de 9-14 dias para a mosca sul-americana e 7 dias para a mosca-do-mediterrâneo, momento em que o terceiro ínstar é atingido.

**Dissecação (5):** A contagem das larvas foi realizada diariamente a partir do momento em que as emergências das mesmas no fruto começaram e cessou até não existirem mais emergências ou até a completa podridão das mangas controle. Após isso, todo o material foi dissecado a fim de contar as larvas que se mantiveram dentro da fruta. O total de larvas foi considerado pela soma das larvas que saíram dos frutos com aquelas que foram coletadas pela dissecação da fruta.

### **4.3 Análise estatística**

O ensaio de conservação de mangas por irradiação (Metodologia 4.1) foi delineado como experimento inteiramente casualizado, considerando como fatores os efeitos de dose e dias. Para a análise do efeito das doses nos diversos parâmetros considerados ao longo de dias foi utilizado o método não paramétrico de medidas repetidas implementado através do package MANOVA.RM do software R (FRIEDRICH; KONIESTSCHKE; PAULY, 2018).

Para o estudo do efeito das doses no controle de moscas-das-frutas (Metodologia 4.2), foi utilizado o método não paramétrico de Friedman para avaliação do experimento. Nesse caso, o delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente causalizados, através dos quais se mediu a contagem de larvas encontradas para cada dose (tratamento) aplicada. Comparações múltiplas são realizadas para este caso através dos gráficos dos intervalos de confiança da contagem de larvas em cada tratamento considerado. A análise de correlação foi realizada para comparar o efeito sinérgico ou antagônico entre variáveis na conservação das mangas, sendo que as análises nesse caso também foram implementadas via software R (R CORE TEAM, 2022).



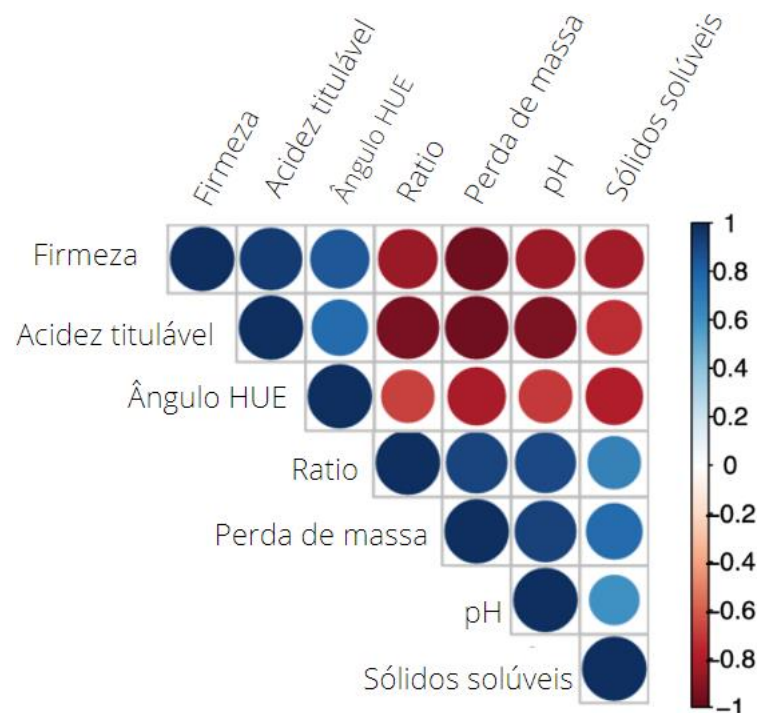
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões do presente estudo foram divididos entre a conservação de mangas por irradiação gama (5.1) e a desinfestação de frutos com moscas-das-frutas (5.2).

### 5.1 Conservação de mangas por irradiação gama

A Figura 4 representa o resultado da Análise de Correlação das variáveis físico-químicas do ensaio de conservação de mangas irradiadas. Sabe-se que uma variável é positivamente correlacionada com outra quando o círculo obtido pela intersecção de uma linha com uma coluna tem sua coloração variante de branco (0 - sem correlação) ao azul (1 – fortemente correlacionada) e, por outro lado, caso a coloração seja variante de branco (0 - sem correlação) ao vinho escuro (1 – fortemente não-correlacionada), as variáveis são negativamente correlacionadas. Em termos práticos, a primeira interpretação indica que quando uma variável cresce, a outra também tende a aumentar, ao passo que, para o segundo caso, quando uma variável aumenta a outra tende a decrescer (GUIMARÃES, 2017).

Figura 4 – Análise de correlação de variáveis físico-químicas estudadas em mangas Palmer irradiadas e armazenadas a temperatura ambiente (23 °C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Análise de Correlação apresentada na Figura 4, verifica-se que a firmeza é positivamente correlacionada com a acidez titulável e que esta é negativamente correlacionada com a perda de massa, por exemplo.

Os resultados das análises longitudinais de medidas repetidas (nível de significância de 1%) são apresentados nas Tabelas 1 e 2 para o experimento de mangas irradiadas e armazenadas à temperatura ambiente (23 °C) e para aquelas armazenadas sob refrigeração (13 °C), respectivamente. A análise de tais dados é complementada pelos gráficos nas Figuras 5 a 18, que ilustram a média das variáveis e os intervalos de confiança ao longo do armazenamento para cada dose considerada.

Tabela 1 – Resultados de análises longitudinais de medidas repetidas para o experimento de mangas irradiadas e armazenadas à temperatura ambiente (23 °C).

	<b>Perda de massa (%)</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Ratio</b>	<b>Ângulo Hue (°h)</b>	<b>Acidez Titulável (mg/100g de ácido cítrico)</b>	<b>Sólidos solúveis (° Brix)</b>	<b>pH</b>
<b>Dose</b>	<0.001	<0.001	<0.001	0.55	<0.001	0.506	0.001
<b>Dia</b>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Dose x Dia</b>	0.015	0.006	0.005	0.281	0.03	0.417	0.286

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Resultados de análises longitudinais de medidas repetidas para o experimento de mangas irradiadas e armazenadas sob refrigeração (13 °C).

	<b>Perda de massa (%)</b>	<b>Firmeza (N)</b>	<b>Ratio</b>	<b>Ângulo Hue (°h)</b>	<b>Acidez Titulável (mg/100g de ácido cítrico)</b>	<b>Sólidos solúveis (° Brix)</b>	<b>pH</b>
<b>Dose</b>	0.918	0.268	<0.001	0.102	<0.001	0.403	0.093
<b>Dia</b>	<0.001	<0.001	<0.001	0.27	<0.001	<0.001	<0.001
<b>Dose x Dia</b>	0.723	0.305	0.001	0.099	0.131	0.03	0.399

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 1, existe um claro efeito dos dias de armazenamento para todas as variáveis consideradas e um efeito da dose na perda de massa, firmeza, ratio, acidez titulável e pH das mangas Palmer. Já segundo a Tabela 2, o fator dia de armazenamento implicou em impactos em quase todas as variáveis (exceto para Ângulo Hue), ao passo que as doses aplicadas causaram efeitos somente nas variáveis acidez titulável e ratio. Em ambos experimentos, não se verificou um efeito estatisticamente significativo da interação entre a dose aplicada e o dia de armazenamento.

Em frutas como a manga, o climatério pode ser associado a um aumento da taxa respiratória e à produção autocatalítica de etileno, conduzindo a diversas mudanças físicas, químicas e bioquímicas que resultam em alterações de composição, coloração, textura, sabor e aroma ao longo do amadurecimento de frutos com polpa, as quais refletem na qualidade do produto hortícola, tornando-o aceitável para o consumidor para utilização em um determinado propósito (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, esse fenômeno explica o efeito dos dias de armazenamento no comportamento de todas as variáveis físico-química estudadas (Tabela 1).

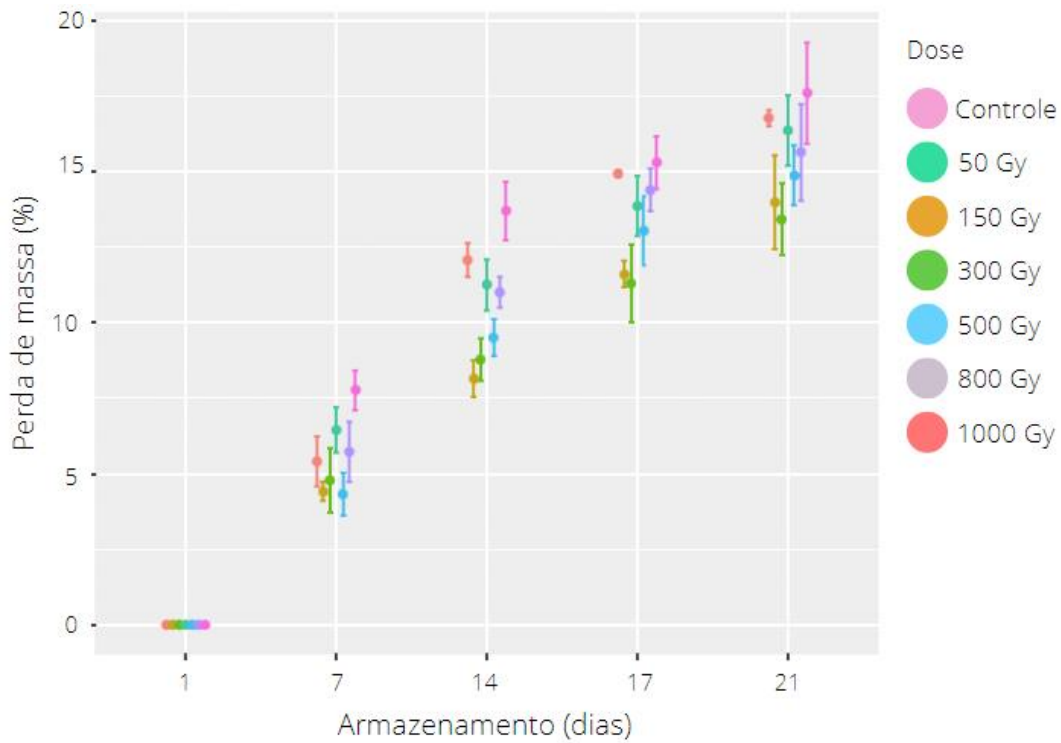
O retardo do pico climatérico e das consequências a partir dele podem ocorrer pelo uso de baixas temperaturas, as quais reduzem a atividade respiratória das frutas climatéricas, podendo esse pico ser erradicado caso a fruta seja mantida a uma temperatura próxima ao limite de tolerância (CHITARRA; CHITARRA, 2005), que para a manga Palmer é em torno de 12-13 °C (MIGUEL et al., 2013). Como as mangas irradiadas foram tão logo mantidas nessa temperatura para o segundo estudo (Tabela 2), provavelmente foi esse fenômeno que implicou nos poucos efeitos da irradiação na conservação das frutas.

Assim como a refrigeração, a irradiação pode retardar o amadurecimento e senescência de frutas climatéricas, porém o efeito positivo ou negativo na conservação das frutas é dependente de alguns fatores, como a dose absorvida, temperatura e radiosensibilidade do material irradiado (SINGH, 1990). Diante disso, quando conveniente, as implicações causadas pela irradiação foram discutidas ao longo dos parâmetros físico-químicos avaliados, cujos gráficos e discussões estão apresentados a seguir.

### **5.1.1 Perda de massa e firmeza**

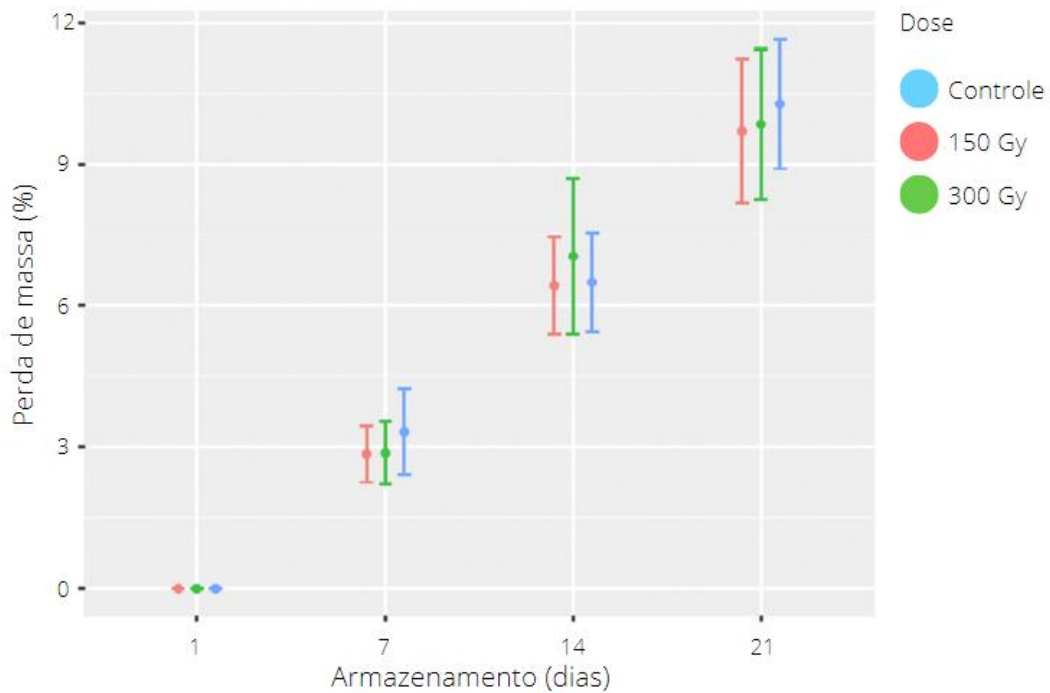
Os comportamentos das mangas irradiadas e mantidas em dois diferentes tipos de armazenamento em relação à perda de massa, expressa em porcentagem (%) (Figuras 5 e 6) e à firmeza, em Newton, (Figuras 7 e 8) estão demonstrados a seguir.

Figura 5 – Variação de perda de massa (%) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



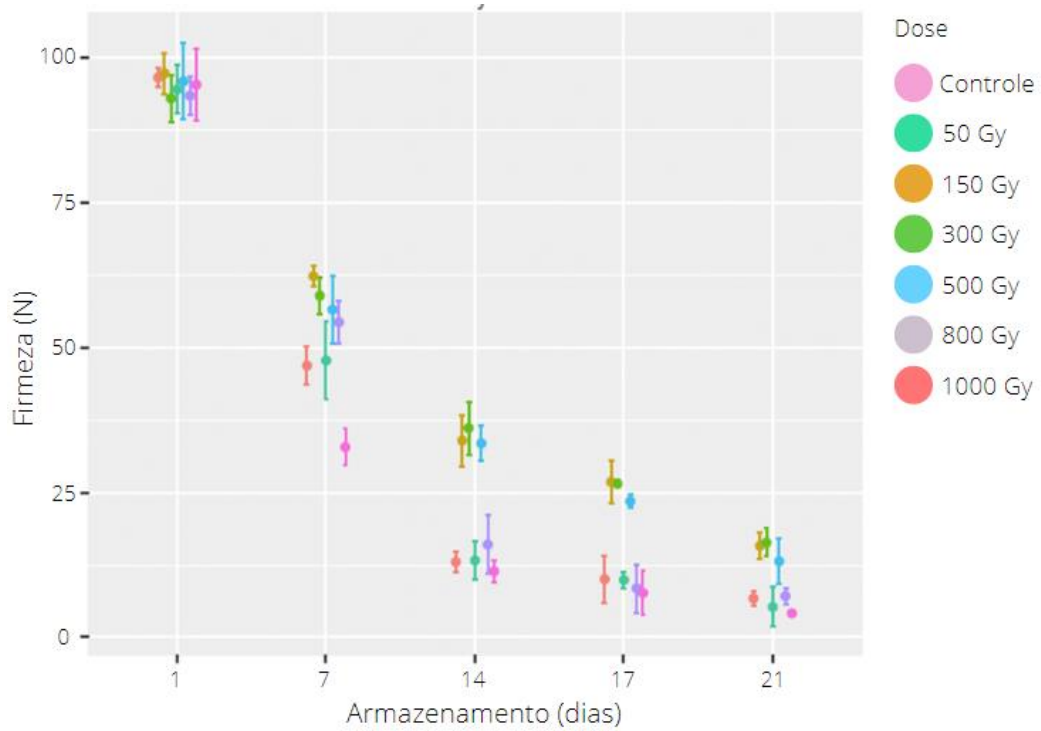
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Variação de perda de massa (%) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado (13 °C) durante 21 dias.



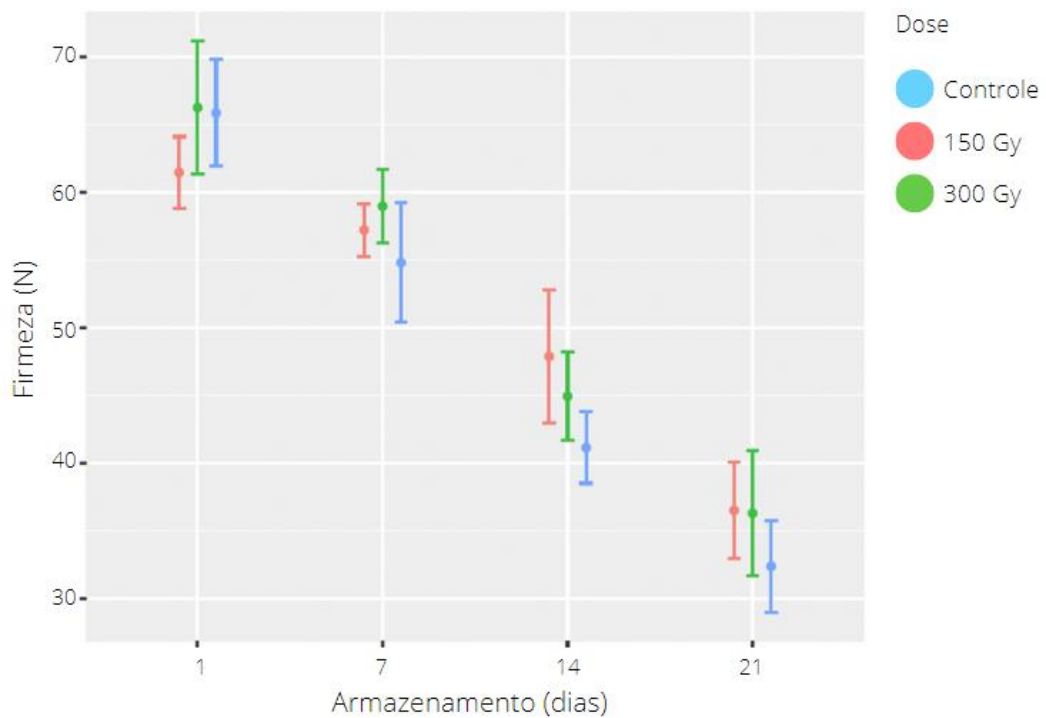
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 – Variação de firmeza (N) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Variação de perda de firmeza (N) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado (13 °C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Tabela 1 e as Figuras 5 e 7, depreende-se que a perda de massa e a redução da firmeza se acentuam ao longo dos dias de armazenamento. Dados os valores dos intervalos de confiança estimados, as menores reduções médias para as duas variáveis foram obtidas pela aplicação das doses de 150, 300 e 500 Gy em mangas irradiadas e mantidas à temperatura de 13 °C, sugerindo que essas doses sejam importantes para a conservação das frutas frente aos dois parâmetros avaliados.

Já para o experimento das mangas irradiadas e mantidas sob refrigeração (Tabela 2 e Figuras 6 e 8) nota-se que não houve diferença significativa entre as doses e o controle ao longo dos dias, sendo a perda de massa e a firmeza afetadas somente pelos dias de armazenamento, indicando o evidente efeito significativo da temperatura utilizada frente às doses aplicadas.

Como demonstrado pela Análise de Correlação, Figura 4, a perda de massa é negativamente correlacionada com a firmeza, ou seja, quando há um decréscimo da firmeza das mangas há uma tendência do aumento da perda de massa das frutas. Esse comportamento é explicado por um conjunto de fatores: a degradação da parede celular por amilases e celulases e a hidrólise enzimática de compostos estruturais, como pectinas, alteram o turgor das células vegetais e, portanto, causam o amolecimento dos tecidos e a consequente perda de firmeza das frutas (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Além disso, esse estresse celular causado por meio dos danos aos níveis de membrana implica em perda de água, e consequentemente, em perda de massa (CARDENAS-BARBOZA et al., 2021).

A menor redução da firmeza encontrada a partir das mangas irradiadas por 150, 300 e 500 Gy (Figura 7) pode ser explicada por um possível aumento da atividade da enzima felanina amônia-liase, fenômeno caracterizado como uma resposta ao estresse induzido pela irradiação gama em produtos agrícolas frescos através do acúmulo e polimerização de compostos fenólicos (BARKAY-GOLAN; FOLLETT, 2017). Ao passo que, para as demais doses, os comportamentos foram semelhantes ao controle, demonstrando que as doses muito baixas não retardam as atividades metabólicas do fruto. Além disso, a doses mais elevadas (800 e 1000 Gy), a firmeza se torna menos resistente à compressão em virtude das alterações na lamela média das paredes celulares das plantas, resultando em degradações que diminuem a resistência dos tecidos dos frutos ao cisalhamento e às forças de compressão (GAGNON et al., 1993; MORENO et al., 2006).

Mahto e Das (2013) estudaram o efeito da irradiação gama (controle – 0, 300, 500, 700 e 1000 Gy) nas propriedades físico-químicas de mangas Dushehri e Fazli mantidas a 20 °C ao longo de 7 e 10 dias, respectivamente. Quanto à firmeza, no último dia de armazenamento para

ambas cultivares, todas as doses citadas propiciaram firmeza maiores que as mangas não irradiadas.

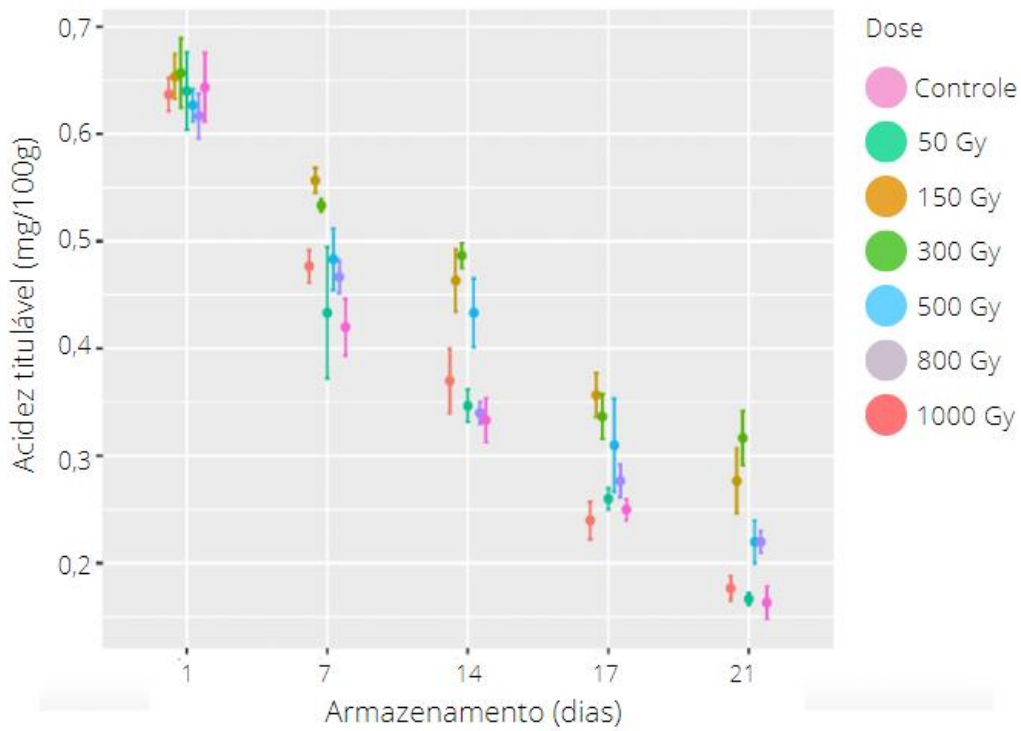
Miguel et al. (2011) estudaram a relação entre tempo e temperatura de armazenamento na qualidade físico-química de mangas Palmer. À temperatura de 12 °C, foram encontrados valores de perda de massa de 2,5% no 7º dia, 4,9% no 14º dia e 7,7% no 21º dia de armazenamento. Quando comparados os resultados do presente estudo (Figura 6) com a pesquisa citada, nota-se que o comportamento das mangas foi relativamente similar, independente do tratamento aplicado (entre 2,5 e 11%, no geral).

O estudo realizado por Sabato et al. (2009a) teve como objetivo avaliar o efeito da irradiação gama em mangas Tommy Atkins colhidas no estágio 2 e mantidas, após irradiadas (200, 500 e 750 Gy), em um armazenamento combinado de diferentes temperaturas: primeiro a 12 °C por 14 dias e, depois, 23 °C por mais 14 dias. Ao fim dos 28 dias de armazenamento, as mangas não irradiadas apresentaram uma perda de massa aproximada de 11%, ao passo que as irradiadas a 500 Gy apresentaram um resultado de 6,7% e aquelas a 750 Gy obtiveram uma perda de massa de quase 7%. Apesar de serem mangas de diferentes cultivares e condições de armazenamento, resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo entre o sétimo e o décimo quarto dia de armazenamento à 23 °C, sendo que as mangas não irradiadas também apresentaram uma maior perda de massa (> 15%) quando comparadas às irradiadas a 150, 300 e 500 Gy.

### **5.1.2 Acidez titulável e pH**

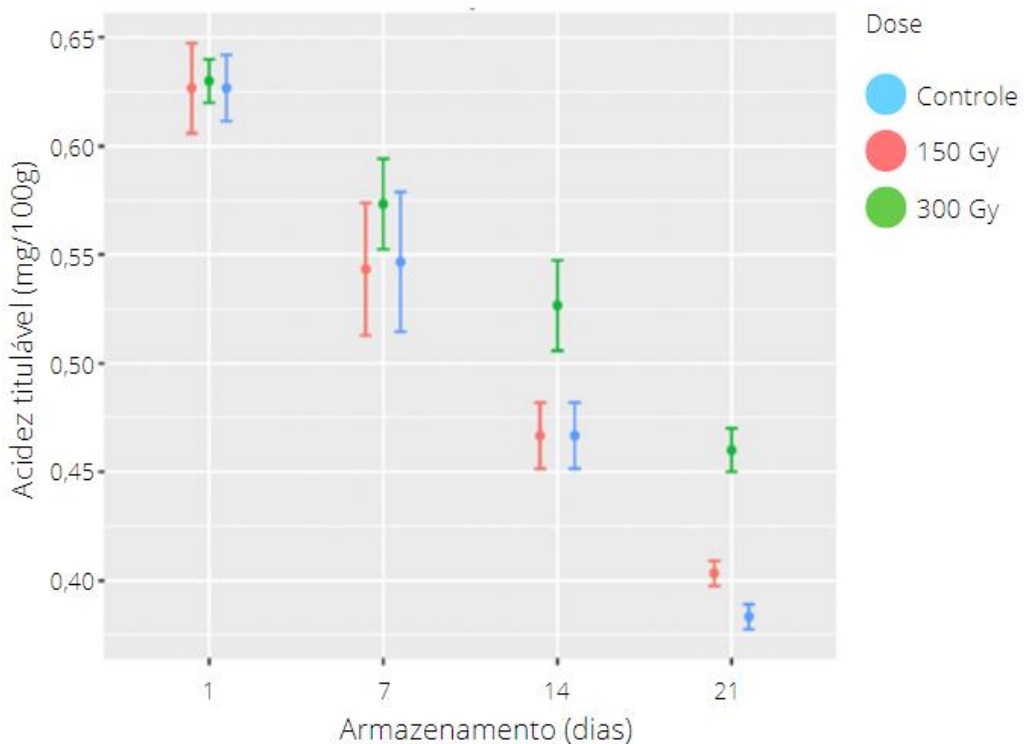
Os comportamentos das mangas irradiadas e mantidas em dois diferentes tipos de armazenamento em relação à acidez titulável, expressa em mg/100g de ácido cítrico (Figuras 9 e 10) e ao pH (Figuras 11 e 12) estão demonstrados a seguir.

Figura 9 – Variação de acidez titulável (mg/100g) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

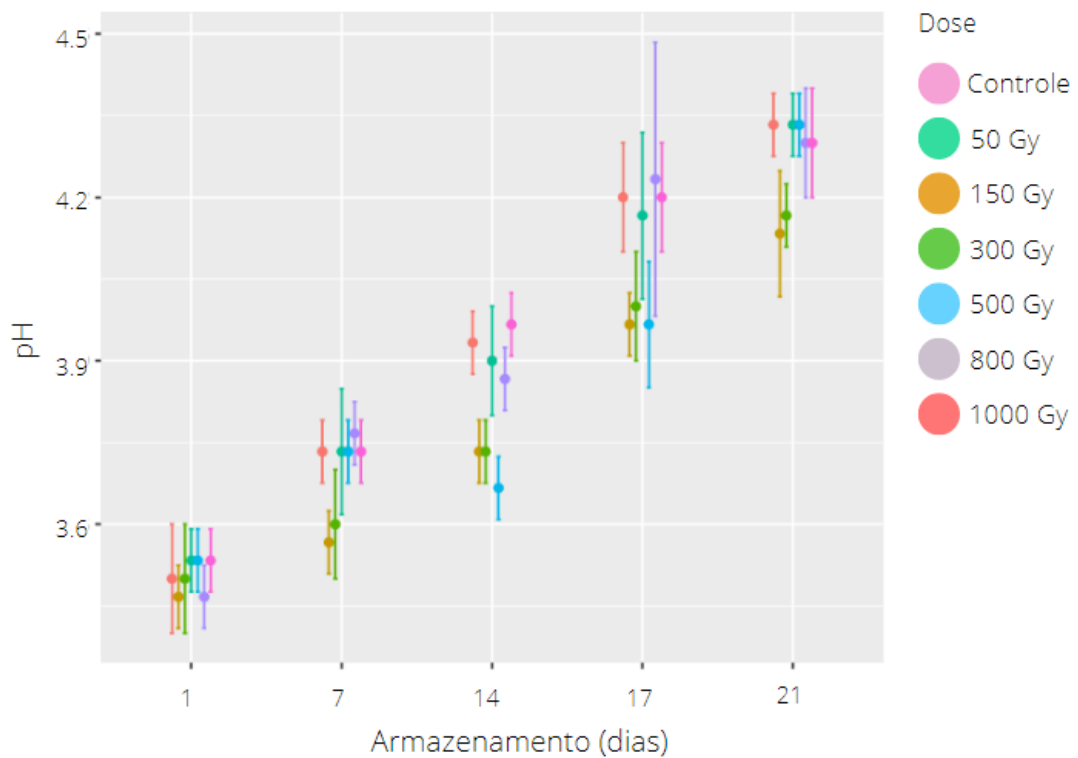
Figura 10 – Variação de acidez titulável (mg/100g) em mangas Palmer irradiadas e armazenadas sob refrigeração (13 °C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor

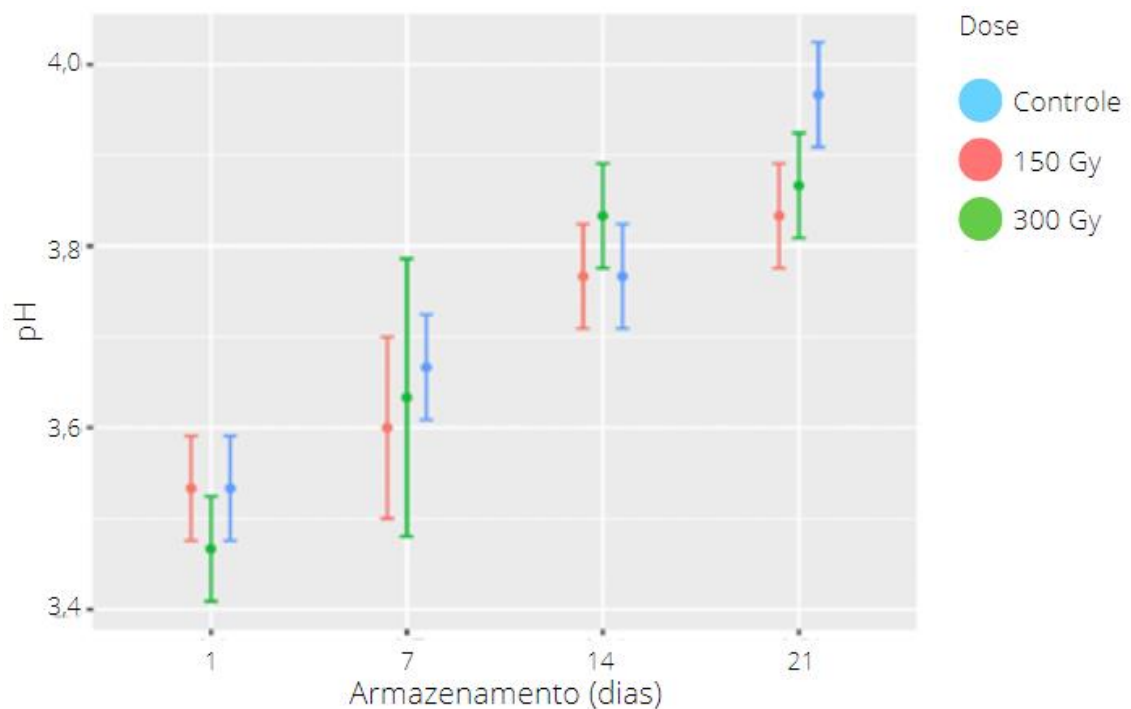


Figura 11 – Variação de pH em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Variação de pH em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado (13 °C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das Figuras 9 e 10, nota-se que a acidez titulável tende a diminuir ao longo dos dias e que, para os tratamentos de 150, 300 e 500 Gy a acidez foi maior em média quando comparada às outras doses e ao controle. Ao passo que, a Figura 11 ilustra o aumento do pH ao longo dos dias de armazenamento, mas que esse incremento é menor nos tratamentos de 150, 300 e 500 Gy.

Para Chitarra e Chitarra (2005) as frutas tendem a reduzir a acidez ao longo do armazenamento, uma vez que os ácidos orgânicos podem ser consumidos como substrato para a respiração e pelas suas conversões em açúcares, e conseqüentemente, o pH tende a aumentar (FAASEMA; ALAKALI; ABU, 2014). Essa relação é reforçada pela análise de correlação (Figura 4), que demonstra que pH e acidez titulável são fortemente variáveis não correlacionadas.

De acordo com a Instrução Normativa nº 37 de 1º de outubro de 2018, a polpa de manga deve ter um uma acidez total expressa em ácido cítrico (mg/100g) mínima de 0,3 mg/100 g mas não estabelece limite máximo para esse parâmetro físico-químico (BRASIL, 2018a). Segundo os resultados apresentados na Figura 9, no 17º dia, as mangas não irradiadas e aquelas irradiadas pela dose de 1000 Gy apresentaram valores médios de acidez menores que o permitido pela legislação citada. Já no 21º dia de armazenamento, todas as frutas possuíam acidez total, em média, menor que 0,3 mg/100g de ácido cítrico, com exceção daquelas irradiadas pelas doses de 150 Gy e 300 Gy. Em relação aos resultados apresentados na Figura 10, todas as mangas possuíam conteúdo de acidez total superior ao indicado pela IN nº 37 de 1/10/2018, com exceção do controle no 21º dia de armazenamento.

Ainda segundo a Instrução Normativa nº 37 de 1/10/2018, a polpa de manga deve ter um pH mínimo de 3,5 e não estabelece um limite máximo (BRASIL, 2018a). De acordo com as Figuras 11 e 12, os valores de pH das mangas tratadas e não-tratadas se mantiveram dentro do permitido ao longo dos 21 dias de armazenamento.

Sabato et al. (2009a) estudaram o efeito da irradiação gama em mangas Tommy Atkins, as quais foram colhidas no estágio 3, segundo a mesma escala apresentada na metodologia do presente trabalho, irradiadas por diferentes doses de irradiação e mantidas a 12 °C por 14 dias. Desde o início ao fim do último dia de armazenamento, houve um decréscimo de 0,57 para 0,09 mg/100g de ácido cítrico em mangas irradiadas e, em relação ao pH, houve um ligeiro acréscimo ao longo do armazenamento. As mangas não irradiadas, por exemplo, tiveram o pH variando de 3,4 para 4,4, ao passo que, para a manga irradiada por 500 Gy, o pH variou de 3,2 para 4,5 desde o primeiro ao décimo quarto dia de análise. Os autores ainda ressaltaram que os resultados encontrados por eles demonstram que a acidez diminui, ao passo que o pH e a doçura

aumentam ao longo da maturação das frutas, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

No que tange o efeito da irradiação, as doses de 150, 300 e 500 Gy demonstraram um efeito retardatório na maturação das mangas Palmer para a acidez titulável e o pH estudados nas condições de armazenamento à 23 °C, enquanto que, no armazenamento à 13 °C, as doses citadas influenciaram somente na acidez titulável (Figura 10). Esse resultado vai ao encontro ao obtido por aquela pesquisa, uma vez que, para Sabato et al. (2009a), a irradiação parece ter um pequeno efeito na conservação das mangas Tommy Atkins nas condições aplicadas, sendo o tempo de armazenamento o fator mais considerável.

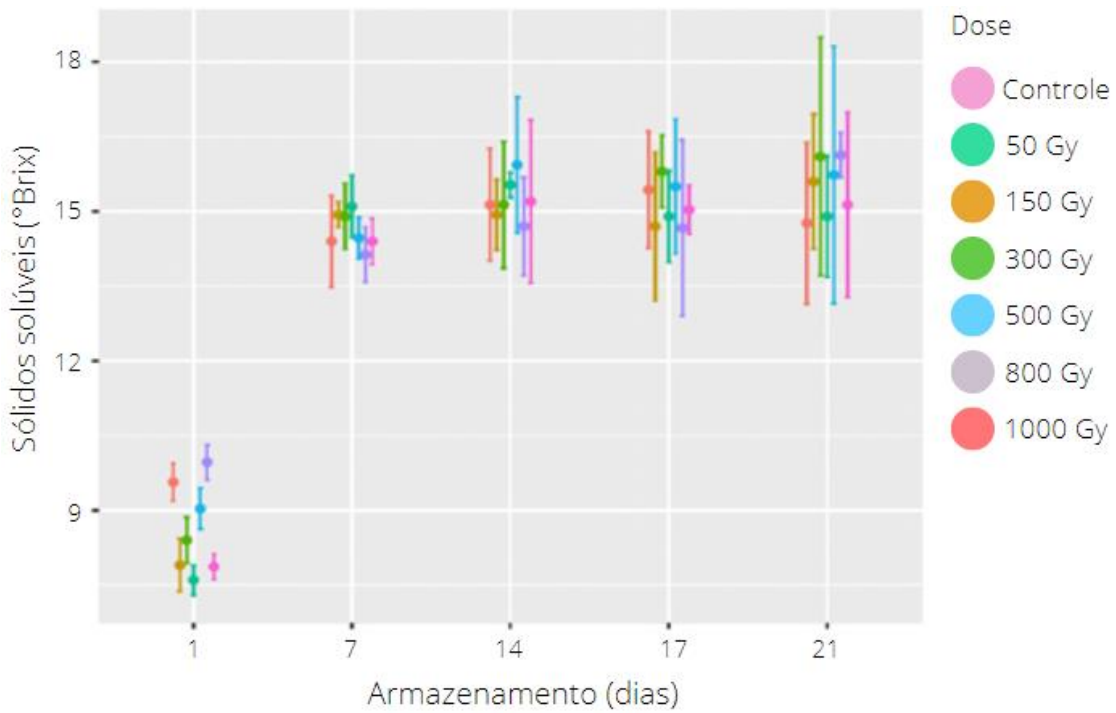
Os resultados encontrados no presente estudo foram semelhantes aos obtidos pela pesquisa realizada por Gómez-Simuta et al. (2017) que teve como objetivo, dentre outros, verificar o efeito de diferentes doses de irradiação gama nas características físico-químicas de mangas Ataulfo, as quais foram mantidas à 21 °C por 18 dias após a irradiação. Ao fim do último dia de armazenamento, as mangas tratadas pelas doses de 150 e 300 Gy apresentaram valores de pH menores e acidez titulável maiores que as mangas não tratadas, por exemplo.

Os autores destacaram ainda que, se a variação de pH fosse o principal indicador de amadurecimento das frutas, aquela dose de irradiação gama capaz de causar um menor valor de pH e um maior valor de acidez ao fim do último dia de armazenamento seria considerada efetiva no que tange ao atraso do amadurecimento da manga e no conseqüente aumento de vida útil da fruta (GÓMEZ-SIMUTA et al., 2017). De acordo com esse raciocínio, as doses de 150 e 300 Gy foram capazes de estender a vida útil de mangas Palmer mantidas à temperatura ambiente.

### **5.1.3 Sólidos solúveis e ratio**

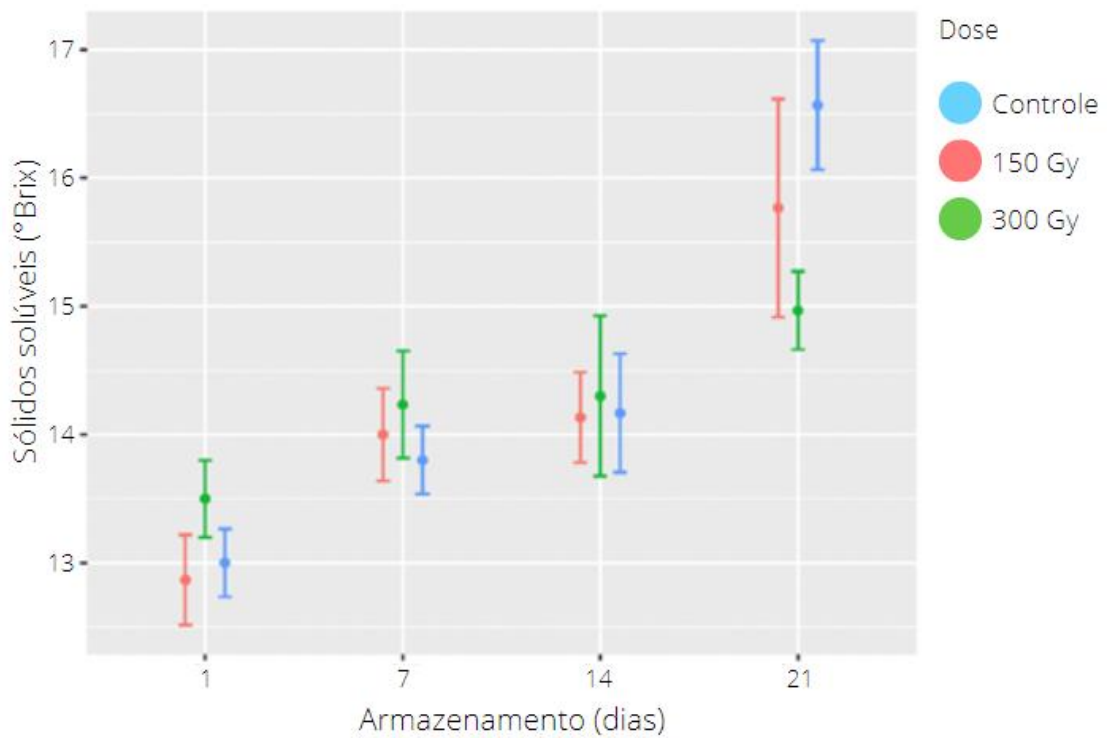
Os comportamentos das mangas irradiadas e mantidas em dois diferentes tipos de armazenamento em relação aos sólidos solúveis (Figuras 13 e 14) e ao ratio (Figuras 15 e 16) estão demonstrados a seguir.

Figura 13 – Variação de sólidos solúveis (°Brix) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



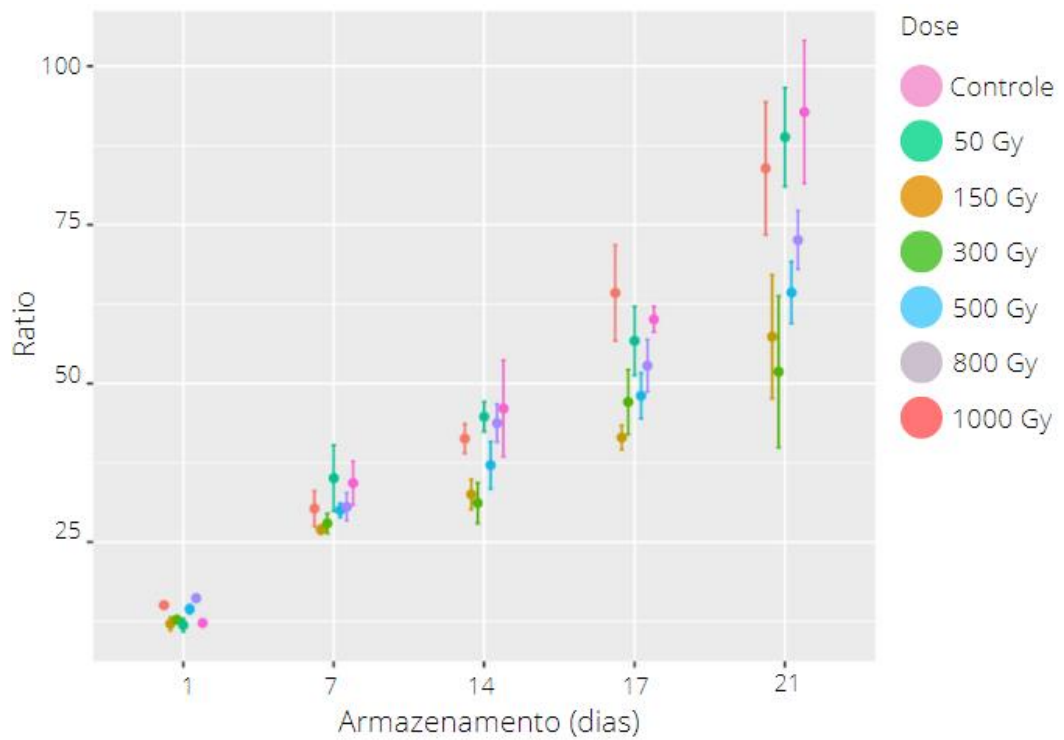
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 – Variação de sólidos solúveis (°Brix) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado (13 °C) durante 21 dias.



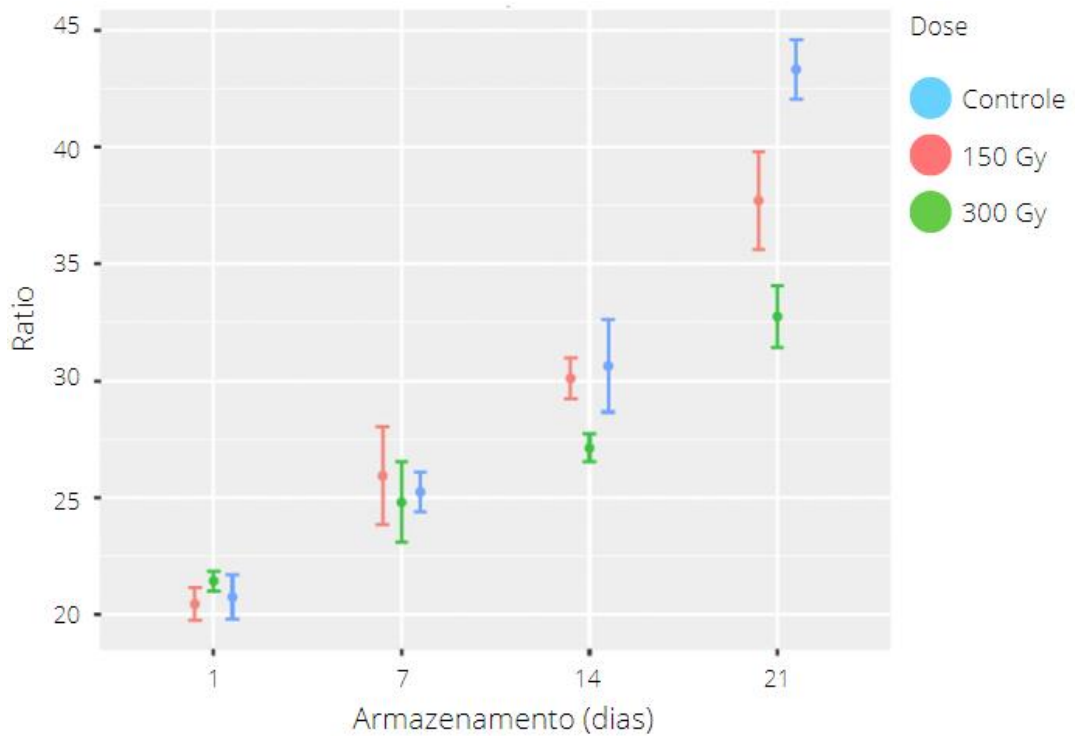
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 – Variação de ratio em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 – Variação de ratio em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado (13 °C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com as Tabelas 1 e 2 e as Figuras 13 e 14, o conteúdo de sólidos solúveis tende a aumentar somente em relação aos dias de armazenamento e não é afetado pelas doses de irradiação. Já em relação ao ratio, o mesmo tende a aumentar ao longo dos dias de armazenamento, sendo que as doses de 150, 300 e 500 Gy parecem causar um acréscimo menor de ratio quando comparada às demais doses quando à 23 °C, sendo significativas as diferenças no 21º dia (Figura 15). Para o armazenamento refrigerado, o comportamento do ratio para o controle e as mangas irradiadas foi relativamente semelhante até o 14º dia (Figura 16).

O aumento de sólidos solúveis é um processo natural do avanço da maturação de frutas, uma vez que ocorre a hidrólise de carboidratos de reserva, notadamente de amido, principal conteúdo de reservas em vegetais. Já o ratio, que é representado pela relação entre sólidos solúveis e acidez titulável, é uma das maneiras mais comuns para a avaliação do sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A tendência à diminuição de acidez titulável e ao acréscimo de sólidos solúveis ao longo do amadurecimento das frutas implica em um aumento do ratio em frutas ao longo do armazenamento (MORAIS et al., 2002).

De acordo com a Instrução Normativa nº 37 de 1/10/2018, a polpa de manga deve ter um conteúdo de sólidos solúveis mínimo de 11 °Brix a 20 °C, mas não se estabelece limite máximo para esse parâmetro físico-químico (BRASIL, 2018a). Segundo os resultados apresentados na Figura 13, todas as mangas avaliadas não atingiram o mínimo de sólidos solúveis especificado pela legislação, porém, no decorrer do amadurecimento, esse valor foi atingido para todos os outros dias de armazenamento analisados. Segundo a Figura 14, todas as frutas possuíam pelo menos 11 °Brix desde o primeiro dia de análise.

Sabato et al. (2009a) estudaram o conteúdo de sólidos solúveis em mangas Tommy Atkins não irradiadas e irradiadas a 200, 500 e 700 Gy e afirmaram que esse parâmetro físico-químico não foi afetado pelas doses aplicadas. Em outro estudo, Sabato et al. (2009b) avaliaram ao longo do armazenamento, a qualidade de mangas Tommy Atkins exportadas do Brasil ao Canadá, as quais foram irradiadas por doses de irradiação gama de 400 e 1000 Gy. Em relação aos sólidos solúveis, não houve diferença significativa entre as frutas irradiadas pelos dois diferentes tratamentos.

Miguel et al. (2011) estudaram a relação entre tempo e temperatura de armazenamento na qualidade físico-química de mangas Palmer. À temperatura de 12 °C, os sólidos solúveis foram de 15,9 °Brix no 21º dia, ao passo que, para o ratio foi encontrado um valor de 30,80 nesse mesmo dia de avaliação. Quando comparado ao presente estudo (Figuras 14 e 16), nota-se que os valores de sólidos solúveis foram semelhantes (14-17 °Brix) e que o

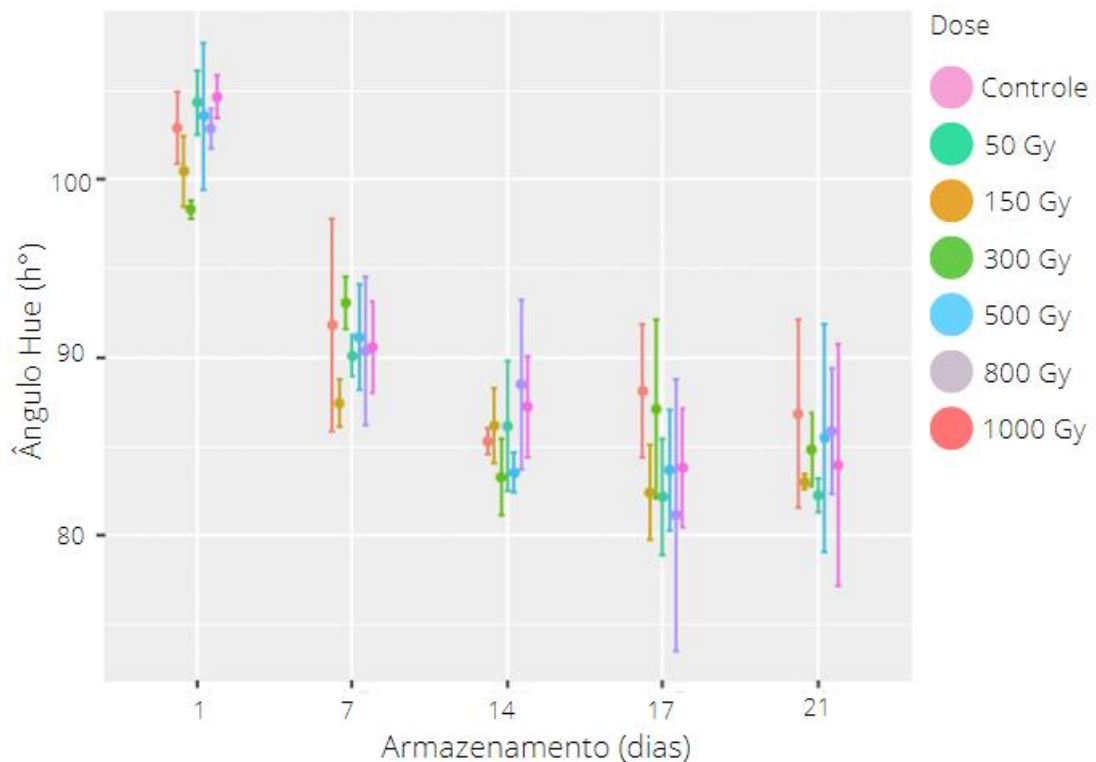
ratio foi próximo ao encontrado para a manga irradiada pela dose de 300 Gy no 21º dia de armazenamento (~32.5 de ratio).

O estudo realizado por Cancino-Vázquez et al. (2020) avaliou o efeito da irradiação gama (controle – 0, 150, 300 e 450 Gy) na textura, sabor e odor de mangas Ataulfo. Quanto aos sólidos solúveis e ao ratio, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos aplicados. Vale ressaltar que os autores apontaram que dose de 150 Gy impactou pouco a avaliação sensorial descrita e consideraram, assim, como a dose indicada para tratamento pós-colheita da cultivar em questão.

#### 5.1.4 Ângulo Hue e acompanhamento visual das mangas

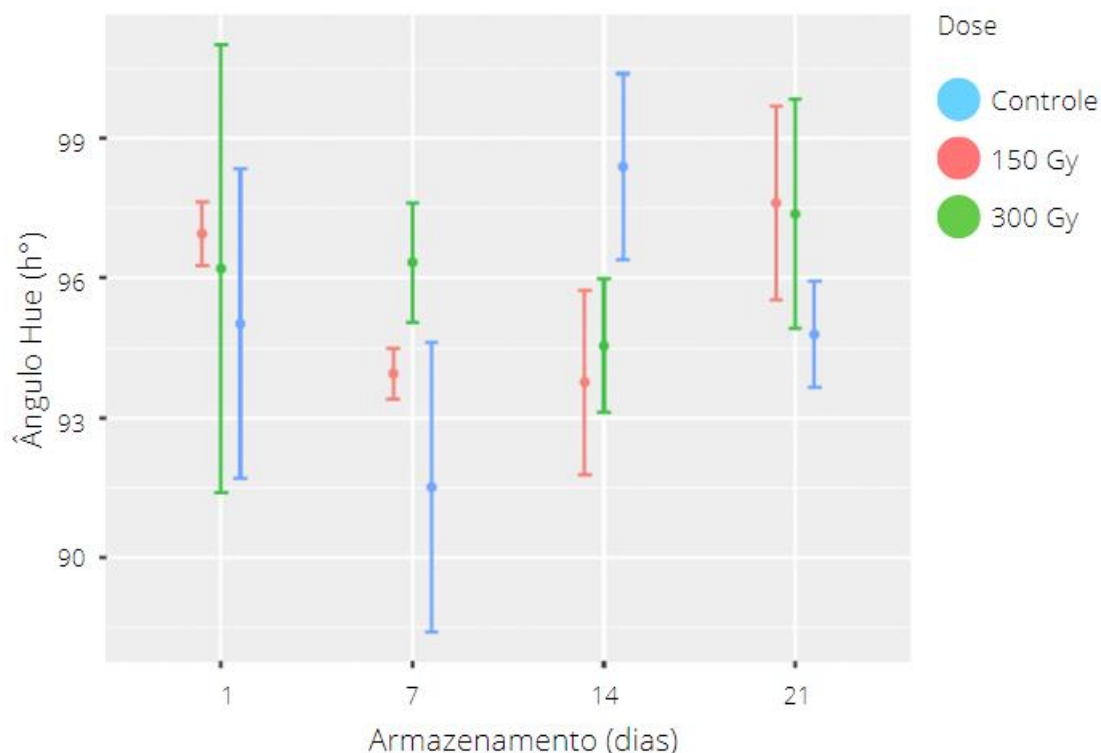
As Figuras 17 e 18 demonstram a variação do ângulo hue (°h) das mangas irradiadas e mantidas em dois diferentes tipos de armazenamento.

Figura 17 – Variação de ângulo Hue (h°) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento à temperatura ambiente (23°C) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Variação de ângulo Hue ( $h^\circ$ ) em mangas Palmer irradiadas ao longo do armazenamento refrigerado ( $13^\circ\text{C}$ ) durante 21 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sabe-se que a cor é um dos parâmetros de qualidade mais cruciais para os produtos frescos, sendo um componente de aparência utilizado para o julgamento de qualidade por parte dos consumidores. Para isso, o ângulo Hue possibilita a comparação entre amostras e pode ser considerado um atributo qualitativo de cor, sendo que o ângulo de  $90^\circ$  representa que a amostra em estudo é amarela (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2012).

Apesar de existirem grandes intervalos de confiança para alguns tratamentos, as Figuras 17 e 18 corroboram que há apenas o efeito dos dias de armazenamento na variação do ângulo hue, como foi expresso nas Tabelas 1 e 2. As mudanças na coloração da polpa da fruta ocorrem em decorrência da ação enzimática, responsável pela degradação de compostos como a clorofila e também do acúmulo de pigmentos como os carotenoides e antocianinas (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que não houve diferença significativa para a coloração nas mangas irradiadas em diferentes doses em relação ao controle, apesar de existir uma redução do ângulo Hue ao longo dos dias à temperatura ambiente (Figura 17).



O estudo realizado por Vilvert et al. (2021) analisou parâmetros físico-químicos de mangas Palmer oriundas de sistema orgânico e colhidas no estágio 2 durante o inverno e outono brasileiros. Para a primeira estação, o  $h^{\circ}$  da polpa foi, em média, 100, 57, ao passo que para a outra, o  $h^{\circ}$  foi, em média, de 99,50, medidos logo após a colheita. Quando comparado a essa pesquisa, os valores de  $h^{\circ}$  apresentados no primeiro dia de armazenamento (Figura 17) foram relativamente semelhantes, independente da dose de irradiação gama utilizada.

As Figuras 19 a 23 representam o acompanhamento das alterações visuais do endocarpo das mangas irradiadas e mantidas em armazenamento à temperatura ambiente (23 °C).

Figura 19 - Mangas no primeiro dia de armazenamento após irradiação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Mangas no sétimo dia de armazenamento após irradiação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Mangas no décimo quarto dia de armazenamento após irradiação.



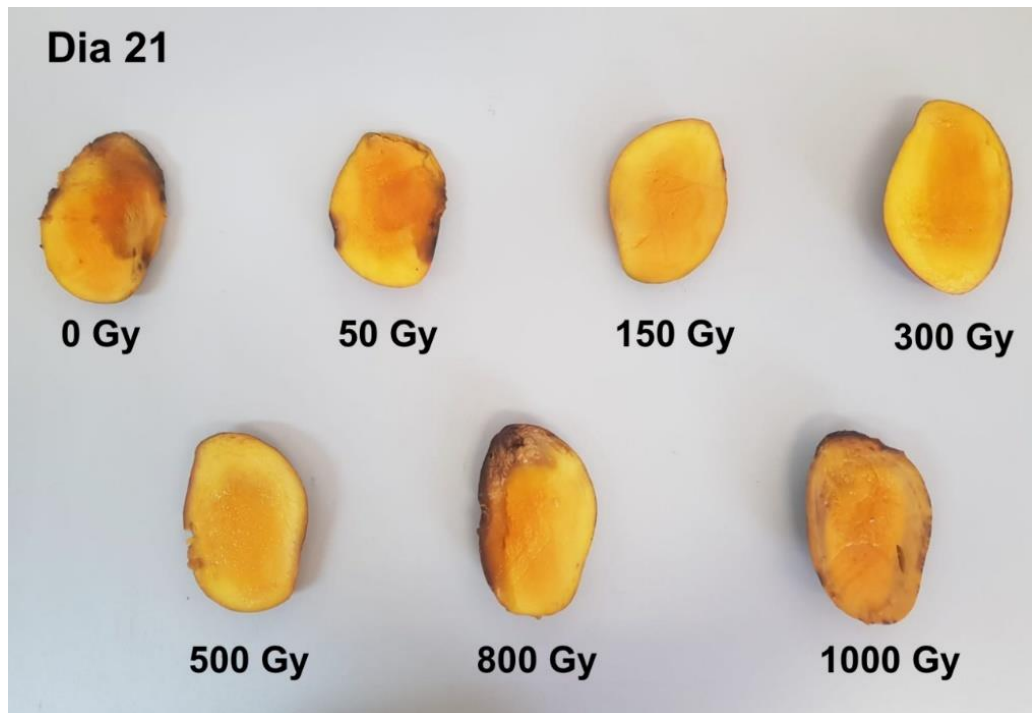
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Mangas no décimo sétimo dia de armazenamento após irradiação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Mangas no vigésimo primeiro dia de armazenamento após irradiação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

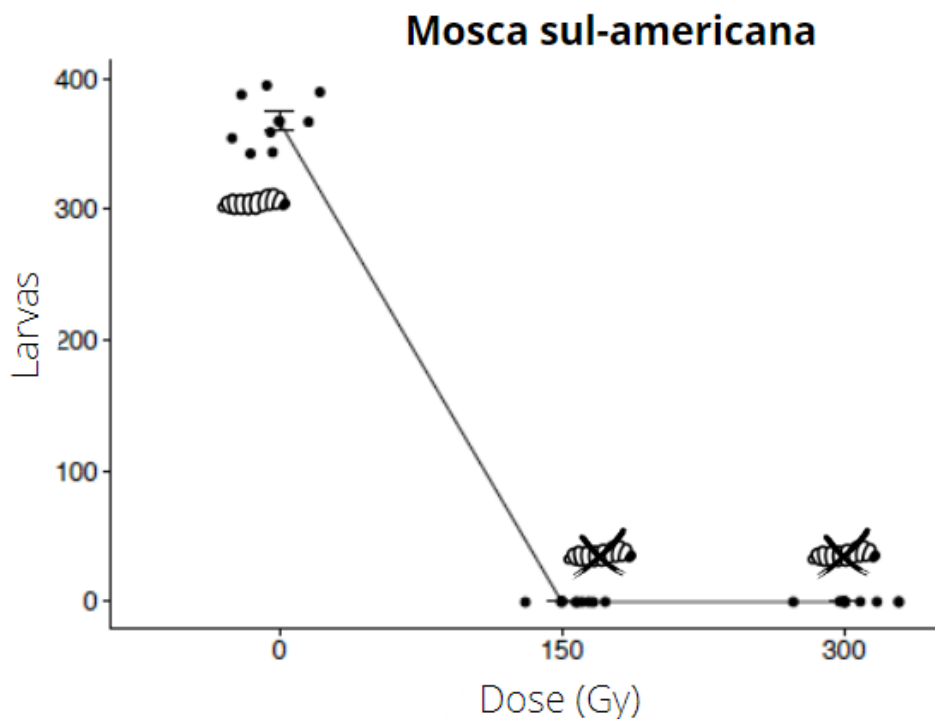
Com base nas figuras acima, pode-se notar que a coloração interna nos tratamentos de 150, 300 e 500 Gy foi semelhante até o 21º dia de armazenamento ao passo que, em relação às demais doses, o comportamento visual das mangas foi semelhante ao controle. Vale ressaltar que para essa análise qualitativa não foi avaliado uma quantidade de mangas considerável para compor uma amostragem ideal do ponto de vista estatístico.

Apesar disso, nas mangas irradiadas nas doses de 800 e 1000 Gy foi comum o aparecimento de regiões escuras e necróticas. Esse fenômeno ocorre devido ao aumento da atividade de enzimas felanina amônioliase e polifenoloxidade induzidos pela irradiação (REYES; CISNEROS-ZEVALLOS, 2007). Frylinck, Dubery e Schabort (1987) já relatavam que esse escurecimento e podridão poderiam ocorrer devido ao considerável estresse celular causado pelas altas doses de radiação.

## 5.2 Controle de imaturos de moscas-das-frutas

A Figura 24 representa a quantidade de larvas obtidas após a irradiação de mangas infestadas pela mosca sul-americana e as Figuras 25 e 26 mostram o acompanhamento visual dessas frutas no 1º e no 14º dia de armazenamento, respectivamente.

Figura 24 – Quantidade de larvas obtidas após irradiação de 150 e 300 Gy em mangas cv. Palmer infestadas por *Anastrepha fraterculus*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Mangas Palmer infestadas por *Anastrepha fraterculus* e irradiadas por diferentes doses de irradiação gama no primeiro dia de armazenamento à temperatura ambiente (23°C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

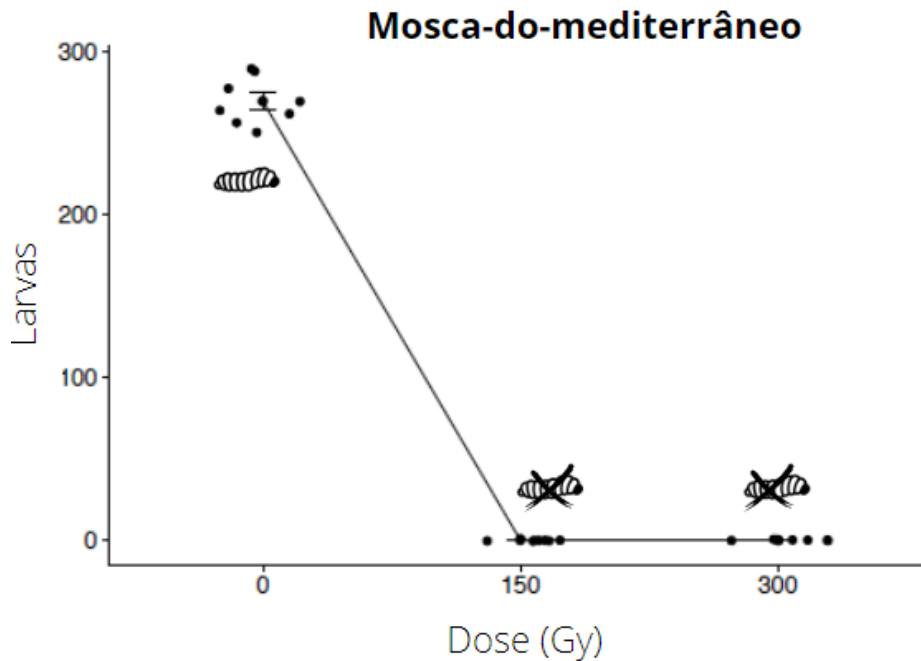
Figura 26 – Mangas Palmer infestadas por *Anastrepha fraterculus* e irradiadas por diferentes doses de irradiação gama no décimo quarto dia de armazenamento à temperatura ambiente (23°C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 27 representa a quantidade de larvas obtidas após a irradiação de mangas infestadas pela mosca-do-mediterrâneo e as Figuras 28 e 29 mostram o acompanhamento visual dessas frutas no 1° e no 8° dia de armazenamento, respectivamente.

Figura 27 – Quantidade de larvas obtidas após irradiação de 150 e 300 Gy em mangas cv. Palmer infestadas por *Ceratitis capitata*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Mangas Palmer infestadas por mosca-do-mediterrâneo e irradiadas por diferentes doses de irradiação gama no primeiro dia de armazenamento à temperatura ambiente (23°C).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Mangas Palmer infestadas por *Ceratitis capitata* e irradiadas por diferentes doses de irradiação gama no oitavo dia de armazenamento à temperatura ambiente (23°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo os gráficos representados pelas Figuras 24 e 27 e pelos acompanhamentos visuais das mangas infestadas ao longo do primeiro e último dia de armazenamento (Figuras 25 a 29), nota-se que as doses de 150 e 300 Gy foram eficientes no que tange ao controle de imaturos de moscas sul-americanas e moscas-do-mediterrâneo, uma vez que, diferentemente das mangas controle, larvas não foram encontradas nas mangas irradiadas. O teste de Fischer indica  $p$  valor  $<0.001$  para ambos os casos e os intervalos de confiança indicam que há diferença entre os tratamentos, sendo a contagem zerada a partir do tratamento com 150 Gy.

Esses resultados já eram esperados, uma vez que a dose de 150 Gy é considerada a dose genérica para o tratamento fitossanitário de moscas-das-frutas (HALLMAN; 2012). Apesar dessa dose desinfestante ser amplamente consolidada pela literatura, os resultados presentes neste estudo reforçam positivamente a efetividade da aplicação radionizante como tratamento fitossanitário para fins quarentenários no Brasil, em especial em mangas Palmer, cuja importância econômica vem crescendo para o País dentro de uma conjuntura favorável de uso desse tratamento quarentenário, principalmente após a autorização do uso de irradiação pela Instrução Normativa nº 9 de 24 de fevereiro de 2011 (BRASIL, 2011).

No entanto, apesar de existir legislações sobre a aplicação da radiação ionizante com fins quarentenários, a disparidade no nível regulatório global e o entrave social são um dos principais desafios para o aumento do comércio de alimentos irradiados, sendo indicado uma maior disseminação dos benefícios e potencial aplicação dessa tecnologia por parte da comunidade empresarial (BUSTOS-GRIFFIN et al., 2012).

## 6 CONCLUSÃO

O uso de radiação gama em mangas ‘Palmer’ alterou as características físico-químicas das frutas durante o armazenamento, sendo as doses de 150 e 300 Gy consideradas capazes de retardar a maturação da manga e contribuir para sua conservação à temperatura ambiente. A combinação da irradiação (150 e 300 Gy) com a refrigeração favoreceu sinergeticamente a conservação das mangas, inclusive, porque essas doses também foram eficazes no que tange ao controle de imaturos de moscas-do-mediterrâneo e moscas sul-americanas.

Apesar de ser indicado a realização de uma futura análise sensorial das mangas irradiadas pelas doses de 150 e 300 Gy, este estudo contribui para a segurança fitossanitária da manga ‘Palmer’ e auxilia na redução de perdas pós-colheitas dessa cultivar, o que pode colaborar para um aumento do consumo e do crescimento da participação brasileira no cenário internacional de exportações de frutas.



## REFERÊNCIAS

ABBASI, A. M. et al. Comparative assessment of phenolic content and in vitro antioxidant capacity in the pulp and peel of mango cultivars. **Internacional Journal of Molecular Science**, v. 16, n. 6, p. 13507–13527, 2015. doi: 10.3390/ijms160613507.

ABRAFRUTAS. **Dados de exportação**: 2020. Brasília, DF: ABRAFRUTAS, 2020. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/02/dados-de-exportacao-2020/>. Acesso em: 04 mar. 2021.

ANDRADE, F. A. et al. Efeito de injúria mecânica por impacto na qualidade físico-química da manga Tommy Atkins. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 10, n.1, p. 68-73, 2016. Disponível em: <https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-10-2016/v-10-n-1-marco-2016/tca10112.pdf/view>. Acesso: 07 mar. 2021.

ARVANITOYANNIS, I. S.; STRATAKOS, A. C.; TSAROUHAS, P. Irradiation applications in vegetables and fruits: a review. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 49, n. 5, p. 427, 2009. doi: 10.1080/10408390802067936.

ASSIS, J. S. et al. Elaboração e difusão das normas da produção integrada da manga no Nordeste brasileiro: colheita e pós-colheita. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS, 5., 2003, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2003. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/OPB617ID-x9WGTP5Fm.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC internacional**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC, 2012.

AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. **Food Control**, v. 40, p. 198-207, 2014. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.016.

BARKAY-GOLAN, R.; FOLLETT, P. A. **Irradiation for quality improvement, microbial safety and phytosanitation of fresh produce**. 1. ed. Cambridge, Massachuttes: Academic Press, 2017.

BELIK, W. Rumo a uma estratégia para a redução de perdas e desperdício de alimentos. In: ZARO, M. (org.). **Desperdício de alimentos**: velhos hábitos, novos desafios. Caxias do Sul, RS: Educs, 2018. p. 9-20.

BISCONSIN-JUNIOR, A. et al. Uso da radiação gama na agricultura. **Revista Edutec**, v. 1, n. 1, p. 1-18, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/26835/22714.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, revogando a Portaria nº 09 DINAL/MS de 1985 e Portaria nº 30 de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jan. 2001. Disponível em: <https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIzNw%2C%2C>. Acesso em: 17 mar. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 72.718, de 29 de agosto de 1973. Estabelece Normas Gerais sobre Irradiação de Alimentos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 30 ago. 1973. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-72718-29-agosto-1973-421113-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 17 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 9, de 24 de fevereiro de 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/>. Acesso em: 13 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018**. Brasília, DF, 2018a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Plano nacional de desenvolvimento da fruticultura**. Brasília, DF, 2018b. 43 p. Disponível em: <https://www.adece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/98/2018/04/planonacionaldedesenvolvimentodafruticulturamapa-7.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BRECHT, J. K. et al. **Manual de práticas para melhor manejo pós-colheita da manga**. São Paulo, SP: National Mango Board, 2011. Disponível em: <<https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-2204.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

BROISLER; P. O. **Simulação do transporte de mangas irradiadas para exportação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Paula%20Olhe%20Broisler\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Paula%20Olhe%20Broisler_M.pdf). Acesso em: 13 mar. 2021.

BUSTOS, M. E. et al. Irradiation of mangoes as a quarantine treatment. In: JOINT FAO/IAEA DIVISION OF NUCLEAR TECHNIQUES IN FOOD AND AGRICULTURE (org.). **Use of irradiation as a quarantine treatment of food and agricultural commodities**, Vienna, 1992. p. 77-90. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub873.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BUSTOS, M. E. et al. Irradiation of mangoes as a postharvest quarantine treatment for fruit flies. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, n. 2, p. 286-292, 2004. doi: [10.1093/jee/97.2.286](https://doi.org/10.1093/jee/97.2.286).

BUSTOS-GRIFFIN, E.; HALLMAN, G. J.; GRIFFIN, R. L. Phytosanitary irradiation in ports of entry: a practical solution for developing countries. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 249–235, 2015.

BUSTOS-GRIFFIN, M. E. et al. Current and potential trade in horticultural products irradiated for phytosanitary purposes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 1203-1207, 2012. doi: [10.1016/j.radphyschem.2011.12.049](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.12.049).

CAMARA, F. M. **Aspectos qualitativos da manga “Palmer” comercializada na CEAGESP**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-05102017-101541/publico/Fabiane\\_Mendes\\_da\\_Camara\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-05102017-101541/publico/Fabiane_Mendes_da_Camara_versao_revisada.pdf). Acesso em: 06 mar. 2021.

CAMARGO, R. J.; TADINI, C. C.; SABATO, S. F. Physical-chemical analyses of irradiated papaya (*Carica papaya* L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1866-1868, 2007. DOI [10.1016/j.radphyschem.2007.02.103](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.02.103).

CANCINO-VÁZQUES, R. et al. Gamma irradiation of mango ‘ataulfo’ at low dose: effect on texture, taste, and odor fruit. **Food Science and Technology Research**, v. 26, n. 1, p. 59-64, 2020. DOI <https://doi.org/10.3136/fstr.26.59>

CARUSO, M. W. **Análise do efeito combinado da irradiação e do tratamento hidrotérmico nas características de qualidade de mangas para exportação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-24062009-182130/pt-br.php>. Acesso em: 15 mar 2021.

CARDENAS-BARBOZA, L. C. et al. Quality of *Physalis peruviana* fruits coated with pectin and pectin reinforced with nanocellulose from *P. peruviana* calyces. **Helyion**, v. 7, n. 9, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07988>.

CARVALHO, C. et al. (org.). **Anuário brasileiro de horti&fruti**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2020. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2020/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA/USP. Anuário 2018/2019. **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 17, n. 137, p. 41-42, 2018. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA – USP. Exportação de frutas em 2020. **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 19, n. 206, p. 15, 2020. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/mesmo-com-pandemia-exportacoes-de-frutas-tem-desempenho-positivo-em-2020.aspx>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA - USP. 2021: ano das frutas e vegetais! **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 20, n. 208, p. 17, 2021. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/2021-o-ano-das-frutas-e-vegetais.aspx>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CHAVES, T. V. et al. Um estudo sobre o imaginário e as concepções acerca dos conceitos de radiação e radioatividade. **Revista Vivências**, v. 17, n. 32, p. 69-83, 2021. DOI <https://doi.org/10.31512/vivencias.v17i32.82>.

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

CHONGCHATUPORN, A. U. et al. Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 409-417, 2013.

SISTEMA OCEPAR. **Comércio exterior II**: Brasil bate recorde histórico com mais de US\$ 1,21 bilhão em exportação de frutas em 2021. Curitiba, PR, 2022. Disponível em: <https://www.paranacooperativo.coop.br/ppc/index.php/sistema-ocepar/comunicacao/2011-12-07-11-06-29/ultimas-noticias/138976-comercio-exterior-ii-brasil-bate-recorde-historico-com-mais-de-us-121-bilhao-em-exportacao-de-frutas-em-2021>. Acesso em: 13 out. 2022.

COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivares. In: MOUCO, M. A. do C. et al. **Cultivo da mangueira**. 2. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 23-29. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/884451/1/CultivodaMangueira.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021.

COSTA, M. de S. et al. Composição química da polpa de manga ‘Ataulfo’ em diferentes estádios de maturação. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 11-16, 2020. DOI <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2637.011-016>.

COSTA NETA, C. M. et al. Perdas pós-colheita e destinação final de frutas em segmentos comerciais de Teresina (PI). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, p. 440-453, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0034>

COSTA, J. D. S. et al. Componentes principais de parâmetros físico-químicos de mangas cv. Tommy Atkins durante a maturação. **Revista Espacios**, v. 38, n. 16, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n16/17381601.html>. Acesso: 08 mar. 2021.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 2, p. 193-215, 2010. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/970>. Acesso em: 14 mar. 2021.

CUNHA JÚNIOR, L. C. et al. Caracterização da curva de maturação de pêssegos ‘Aurora-1’, na região de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 661-665, 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300045>.

DAFRE, A. L.; MARIS, A. F. **Efeitos biológicos da radiação**. 1. ed. Florianópolis, SC: BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2013.

DEL MASTRO, N. L. Development of food irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999. DOI [https://doi.org/10.1016/S0149-1970\(99\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0149-1970(99)00017-7).

DIEHL, J. F. **Safety of Irradiated Foods**. New York: Marcel Dekker, 1995.

FAO. **Fruit and vegetables – your dietary essentials**: the international year of fruits and vegetables, 2021, background paper. Roma, 2020. 81 p. DOI <https://doi.org/10.4060/cb2395en>.

FAO. **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. Roma, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>. Acesso em: 04 mar. 2021.

FAASEMA, J.; ALAKALI, J. S.; ABU, J. O. Effects of storage temperature on 1-methylcyclopropene-treated mango (*Mangnifera indica*) fruit varieties. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 289-295, 2014. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00775.x>.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 4, p. 148-152, 2006. DOI 10.1016/j.tifs.2005.12.003.

FERREIRA, A. dos S. et al. Normas nacionais para beneficiamento em irradiação de alimentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43201-43213, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7-075.

FERREIRA, M. D. Beneficiamento de frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. (org.). **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 47-59.

FÊSUES, I.; KÁDAS. L.; KÁLMAN. B. Protection of oranges by gamma radiation against *Ceratitits capitata* (Wied.). **Acta Alimentaria**, v. 10, n. 4, p. 293-299, 1981.

FILGUEIRAS, H. A. C. et al. Características da fruta para exportação. In: FILGUEIRA, H. A. C. (org.). **Manga: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. p. 14-21. (Frutas do Brasil, 2).

FISCHER, I. H. et al. Doenças pós-colheita em variedades de manga cultivadas em Pindorama, São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 352-359, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452009000200009>.

FOX, J. A. Influences on purchase of irradiated foods. **Food Technology**, v. 56, n. 11, p. 34-37, 2002. Disponível em: <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2002/november/features/influences-on-purchase-of-irradiated-foods>. Acesso em: 16 mar. 2021.

FRIEDRICH, S.; KONIESTSCHKE, F.; PAULY, M. **Analysis of multivariate data and repeated measures designs with the R Package MANOVA.RM**. Ithaca: Cornell University, 2018. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.08002>.

FRYLINCK, L.; DUBERY, I. A.; SCHABORT, J. C. Biochemical changes involved in stress response and ripening behaviour of gamma irradiated mango fruit. **Phytochemistry**, v. 26, p. 684-686, 1987.

GAGNON, M. et al. Effect of gamma irradiation with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics oh thai mangoes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 42, n. 1-3, p. 283-287, 1993.

GÓMEZ-SIMUTA, Y. et al. Tolerance of mango cv. 'Ataulfo' to irradiation with Co-60 vs. hydrothermal phytosanitary treatment. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 139, p. 27-32, 2017.

GORAYEB, T. C. C. et al. Estudo das perdas e desperdício de frutas no Brasil. **Anais Sintagro**, Ourinhos-SP, v. 11, n. 1, p. 214-222, 2019. Disponível em: [https://www.fatecourinhos.edu.br/anais\\_sintagro/index.php/anais\\_sintagro/article/view/48/62](https://www.fatecourinhos.edu.br/anais_sintagro/index.php/anais_sintagro/article/view/48/62). Acesso em: 06 mar. 2021.

GUIMARÃES, P. R. B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2017. Disponível em: <https://rogeriofvieira.com/wp-content/uploads/2016/04/correlacao3.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

HALLMAN, G. J. Generic phytosanitary irradiation treatments. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 861-866, 2012.

HEIDMANN, N. et al. A low-power wireless UHF/LF sensor network with web-based remote supervision: implementation in the intelligent container. In: **SENSORS**, 2013 IEEE, 2013, Baltimore. **Proceedings...** Baltimoe, MD: IEEE, 2013. DOI <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2013.6688422>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6688422>. Acesso em: 09 mar. 2021.

HERTOG, M. A. L. T. M. et al. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130306, 2014. DOI <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0306>. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2013.0306>. Acesso em: 09 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 06 mar. 2021.

JEDERMANN, R. et al. Reducing food losses by intelligent food logistics. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 372, 2014. DOI <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0302>. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2013.0302>. Acesso em: 09 mar. 2021.

JHA, S. N. et al. Textural properties of mango cultivars during ripening. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, p. 1047-1057, 2013. DOI <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0431-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-011-0431-z>. Acesso em: 08 mar. 2021.

KADER, A. A.; YAHIA, E. M. Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In: YAHIA, E. M. (org.). **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**. Sawston: Woodhead Publishing, 2011. p. 79-111. Disponível em: <http://www.elhadiyahia.net/wp-content/uploads/2018/06/kader2011.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

KLUGER, R. A. et al. Danos de frio e qualidade de frutas cítricas tratadas termicamente e armazenadas sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 233-238, 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000200009>.

KUME, T. et al. Status of food irradiation in the world. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 3, p.222-226, 2009. DOI 10.1016/j.radphyschem.2008.09.009.

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. DOI 10.1016/S0963-9969(00)00085-5

LANA M. M. Estação de trabalho: infraestrutura para beneficiamento de hortaliças em pequenas propriedades rurais. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 3, p. 443-447, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003023>.

LAWSON, T. et al. Characterization of Southeast Asia mangoes (*Mangifera indica* L) according to their physicochemical attributes. **Scientia Horticulturae**, v. 243, n. 3, p. 189-196, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.014>.

LIMA FILHO, T. et al. Energia ionizante na conservação de alimentos: revisão. **Boletim do CEPPA**, v. 30, n. 2, p. 243-234, 2012. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v30i2.30501>.

LINS, S. R. O.; ALVES, E.; OLIVEIRA, S. M. A. Estudos da interação *Lasiodiplodia theobromae* x mangueira caracterização morfológica de isolados do patógeno. **Acta Microscopica**, v. 19, n. 3, p. 221-231, 2010. Disponível em: <https://acta-microscopica.org/acta/article/view/430/374>. Acesso em: 07 mar. 2021.

LOBO, M. G.; SIDHU, J. S. Biology, postharvest physiology, and biochemistry of mango. In: SIDDIQ, M.; BRECHT, J. K.; SIDHU, J. S. (org.). **Handbook of mango fruit: production, postharvest science, processing technology and nutrition**. Oxford: John Wiley & Sons, 2017. p. 37-59.

LUCATELLI, F. et al. E agora, José? Terceirizar resolve? **Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2020. DOI <https://doi.org/10.12660/gvcasosv10n2c12>.

MALAVASI, A. Biologia, ciclo de vida, relação com o hospedeiro, espécies importantes e biogeografia de tefritídeos. In: MALAVASI, A.; VIRGÍNIO, J. (ed.). **Biologia, monitoramento e controle**. V Curso Internacional de Capacitação em Moscas-das-Frutas. Juazeiro: Moscamed, 2009. p. 1-5.

MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A.; SUGAYAMA, R. L. Biogeografia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2000. p. 93-98.

MAHTO, R.; DAS, M. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. ‘Dushehri’ and ‘Fazli’ stored at 20 °C. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 447–455, 2013. DOI 10.1016/j.postharvbio.2013.07.018.

MASTRANGELO, T. et al. Improvement of the mass-rearing protocols for the South American fruit fly for application of the sterile insect technique. **Insects**, v. 12, art. 622, 2021.

MEJJAOULI, S.; BABICEANU, R. F. RFID-wireless sensor networks integration: decision models and optimization of logistics systems operations. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 35, p. 234-245, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jmsy.2015.02.005>.

MIGUEL, A. C. A. et al. Qualidade de mangas cv. ‘Palmer’ após armazenamento sob baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 398-408, 2013. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200009>.

MIGUEL, A. C. A. **Tratamento térmico, radiação ultravioleta (uvc), quitosana e cera na prevenção de injúrias pelo frio em mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Palmer’**. 2012. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105168/miguel\\_aca\\_dr\\_jabo.pdf?sequenc e=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105168/miguel_aca_dr_jabo.pdf?sequenc e=1). Acesso: 06 mar. 2021.

MIGUEL, A. C. A. et al. Injúria pelo frio na qualidade pós-colheita de mangas cv. Palmer. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. esp., p. 255-260, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/KpNnXRFdSGmPnwbmFZqYz6N/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 06 dez. 2022.

MINOLTA CORP. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Ramsey: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994. 49p.

MODANEZ, L. **Aceitação de alimentos irradiados**: uma questão de educação. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Pesquisa em Energia Nuclear – IPEN, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10120>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MODANEZ, L.; ROSSINI, E. L.; ARTHUR, V. Falta de informação: a principal causa para rejeição dos alimentos irradiados. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 7, n. 3, p. 41-51, 2016. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/download/3740/pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

MOLINS, R. **Food Irradiation**: Principles and applications. New York: Jonh Willey, 2001.

MORAIS, P. L. D. et al. Ponto de colheita ideal de mangas ‘Tommy Atkins’ destinadas ao mercado europeu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 671-675, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/fXg5B4r6CJBYLKtpY7vbNnQ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

MORENO, M. et al. Effect of electron beam irradiation on physical, textura, and microstructural properties of Tommy Atkins Mangoes (*Mangifera indica* L.). **Journal of Food Science**, v. 71, n. 2, p. 80-86, 2006. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08900.x>.

MOURA, N. C. et al. Avaliação sensorial do feijão preto submetido à radiação de cobalto 60. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 370-374, 2005. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000200032>.



NARAYANA, C. K.; RAO, D. V. S.; ROY, S. K. Mango Production, Postharvest Physiology and Storage. In: SIDDIQ, M. et al. (org.). **Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 239-276.

NAVA, D. E.; BOTTON, M. **Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 29 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/888672>. Acesso em: 09 mar. 2021.

NUNES, M. C. N. et al. Quality curves for mango fruit (cv. Tommy Atkins and ‘Palmer’) stored at chilling and nonchilling temperatures. **Journal of Food Quality**, Chicago, v. 30, p. 104-120, 2007. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00109.x>.

OLIVEIRA, K. C. F.; SOARES, L. P.; ALVES, A. M. Irradiação de alimentos: extensão da vida útil de frutas e legumes. **Saúde e Ambiente em Revista**, v. 7, n. 2, p. 52-57, 2012. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/sare/article/view/1831/923>. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, I. M.; PEREIRA, L. A. G. Logística e comércio internacional da fruticultura no estado de Minas Gerais - Brasil. **Geografares**, n. 29, p. 28-53, 2019. DOI <https://doi.org/10.7147/GEO29.22917>.

ONU. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Tradução: Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). New York: ONU, 2015. 42 p. Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

ORNELLAS, C. B. D. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 211-213, 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100033>.

OSHIRO, A. M.; DRESH, D. M.; SCALON, S. P. Q. Atmosfera modificada e temperaturas de armazenamento na conservação pós-colheita de guavira (*Campomanesia adamantium* Camb.). **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1421-1430, 2013. Supl. 1. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15141/13287>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PADDA, M. S. et al. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: a multivariate approach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, p. 267-274, 2011. DOI 10.1016/j.postharvbio.2011.06.002.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. -J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.

PEREDA, J. A. O. **Em tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PEREIRA, V. **Avaliação de temperaturas no transporte frigorificado urbano de alimentos resfriados e congelados**. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/235753>. Acesso em: 08 mar. 2021.

PFAFFENBACH, L. B. et al. The effect of modified atmosphere and refrigeration on postharvest of mango red espada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 410-413, 2013. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300012>.

PIMENTEL, R. M. de A. **Qualidade pós-colheita da goiaba vermelha (*Pisidium guajaba* L.) submetida ao tratamento quarentenário por irradiação gama**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. 112 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-27082010-104654/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit ripening phenomena: an overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, p. 1-19, 2007. DOI <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>.

PRUSKY, D. et al. The level of quiescent infection of *Alternaria alternata* in mango fruits at harvest determines the postharvest treatment applied for the control of rots during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 23, n. 3, p. 339-347, 2002. DOI <https://doi.org/10.1016/S0923-5214%2801%2900169-7>.

QIN, Y. et al. Global establishment risk of economically important fruit fly species (Tephritidae). **PloS One**, v. 10, n. 1, p. 1-8, 2015. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-29452019347>.

R CORE TEAM. **R i386 3.2.2**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <http://www.R-project.org/>

REYES, L. F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Electron beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during post harvest storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 6132-6139. DOI <https://doi.org/10.1021/jf0635661>.

RUIZ-GARCIA, L. **Development of monitoring applications for refrigerated perishable goods transportation**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Engenharia Rural, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2008. Disponível em: [http://oa.upm.es/1819/1/LUIS\\_RUIZ\\_GARCIA.pdf](http://oa.upm.es/1819/1/LUIS_RUIZ_GARCIA.pdf). Acesso em: 08 mar. 2021.

RUIZ-GARCIA, L.; LUNADEI, L. Monitoring cold chain logistics by means of RFID. In: TURCU, C. (Ed.). **Sustainable radio frequency identification solutions**. London: IntechOpen, 2010. p. 37-50.

SABATO, S. F. et al. Advances in commercial application of gamma radiation in tropical fruits at Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 7-8, p. 655-658, 2009a. DOI 10.1016/j.radphyschem.2009.03.045.

SABATO, S. F. et al. Study of influence on harvesting point in Brazilian Tommy Atkins mangoes submitted to gamma radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, p. 571-573, 2009b. DOI <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.03.044>.

SALLES, L. A. B. **Bioecologia e controle da mosca-das-frutas sul-americana**. Pelotas, RS: EMBRAPA, CPACT, 1995. 58 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/742993>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SALTVEIT, M. E. Respiration metabolism. In: USDA. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington, DC, 2016. p. 68-75.

SANTOS, A. A. dos et al. Controle alternativo de crescimento microbiano em frutas comercializadas em Altamira-Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 29169-29183, 2020. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-411>.

SINGH, H. **Chemical aspects of irradiated mangoes: a review**. Pinawa: Atomic Energy of Canada Limited Report, 1990. p. 1-38 (AECL-10186).

SILVA, L. R. et al. Estimativa e causas de perdas pós-colheita de frutas frescas na Microrregião de Chapadinha, MA, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 12, n. 4, p. 288-299, 2018. DOI 10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5223.

SILVA, A. L. F. da; ROZA, C. R. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 49-56, 2010. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v28i1.17897>.

SIVAKUMAR, D.; JIANG, Y. M.; YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1234-1263, jun. 2011. DOI 10.1016/j.foodres.2010.11.022.

SOARES, D. P. et al. Fruit flies (Diptera: Tephritidae) in mango orchards in the Minas Gerais semi-arid region. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 844-852, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/1983-21232020v33n328rc>.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Manga do Brasil recupera espaço na União Europeia**. Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/manga-do-brasil-recupera-espaco-na-uniao-europeia/>. Acesso em: 04 mar. 2021.

SOUZA, A. N. S. et al. Perdas pós-colheita de hortaliças no mercado varejista de Chapadinha, Maranhão, Brasil. **Revista Agrotrópica**, v. 30, p. 127-134, 2018. DOI <http://doi.org/10.21757/0103-3816.2018v30n2p127-134>.

SUÁREZ-QUIROZ, M. L. et al. Aislamiento, identificación y sensibilidad a antifúngicos de hongos fitopatógenos de Papaya cv. Maradol (*Carica papaya* L.). **Revista Iberoamericana de Tecnología Post-cosecha**, v. 14, p. 115-124, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81329290004.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2020.

SPAGNOL, W. A. et al. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-10, 2018. DOI <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07016>.

TEIXEIRA, G. H. de A.; DURIGAN, J. F. Storage of “Palmer” mangoes in low-oxygen atmospheres. **Fruits**, v. 66, p. 279-289, 2011. DOI <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2011037>.

TEZOTTO-ULIANA, J. V. et al. Radiação gama em produtos de origem vegetal. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2015. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v7n1a13.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

TINGMAN, W.; JIAN, Z.; XIAOSHUAN, Z. Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 37, p. 6146-6151, 2010. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92214>. Acesso em: 18 mar. 2021.

TRINDADE, D. C. G.; LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S. Ação do 1-metilciclopropeno na conservação pos-colheita de manga “Palmer” em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 753-762, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900003>.

TOFANELLI, M. B. D. et al. Avaliação das perdas de frutas e hortaliças no mercado varejista de Mineiros – GO: um estudo de caso. **Scientia Agrária**, v. 10, p. 331-336, 2009. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i4.14857>.

USDA. **The Commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington, DC, 2016. 792 p. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/oc/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

VIJAYSEGARAN, S. et al. Gamma irradiation as a quarantine treatment for carambola, papaya and mango. In: JOINT FAO/IAEA DIVISION OF NUCLEAR TECHNIQUES IN FOOD AND AGRICULTURE (org.). **Use of irradiation as a quarantine treatment of food and agricultural commodities**. Vienna: IAEA, 1992. p. 53-76. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub873.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

VILVERT, J. C. et al. Sample size for postharvest quality traits of ‘Palmer’ mangoes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 5, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-29452021014>.

WANG, C. Y. Alleviation of chilling injury in tropical and subtropical fruits. **Acta Horticultural**, v. 864, p. 267-273, 2010. DOI <10.17660/ActaHortic.2010.864.35>.

WANG, B. et al. Reduced chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and the antioxidant response. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 172-181, 2008. DOI <10.1016/j.postharvbio.2007.10.005>.

WHITE, J. How cold was it? know the whole story. **Frozen Food Age**, v. 56, n. 3, p. 38-40, 2007.

WIELAND, P.; LUSTOSA, L. J.; MACEDO-SOARES, T. D. L. van A. de. Alimentos preservados com radiação: a vantagem competitiva que falta ao Brasil. **Revista FAE**, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2010. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/230/150>. Acesso em: 16 mar. 2021.

XAVIER, A. M. et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100019>.

YAHIA, E. M. Postharvest technology and handling of mango. In: DRIS, R. (org.). **Crops: Growth, quality and biotechnology**. Helsinki: WFL Publisher, 2005. p. 478-512.

YAHIA, E. M.; FONSECA, J. M.; KITINOJA, L. Postharvest losses and waste. In: YAHIA, E. M. (org.). **Postharvest technology of perishable horticultural commodities**. Duxford, UK: Woodhead Publishing, 2019. p. 43-69.

YAHAYA, S. M.; MARDIYYA, A. Y. Review of post-harvest losses of fruits and vegetables. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 13, n. 4, p. 10192-10200, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2019.13.002448>.

ZUCCHI, R. A. Mosca-do-mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann). In: VILELA, E.F; ZUCCHI, R.A. **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 153-172.