



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE HUMANA E MEIO
AMBIENTE – PPGSHMA

Liderlânio de Almeida Araújo

INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO GAMA NA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DO TOMATE (*Solanum Lycopersicum*)

Vitória de Santo Antão
2016

Liderlânio de Almeida Araújo

**INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO GAMA NA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA DO TOMATE (*Solanum Lycopersicum*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Humana e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em **Saúde Humana e Meio Ambiente**.

Área de Concentração: Saúde e Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Edvane Borges da Silva

Co-Orientador: Profa. Dra. Yana Batista Brandão

Vitória de Santo Antão

2016

Catálogo na Fonte
Sistema de Bibliotecas da UFPE. Biblioteca Setorial do CAV.
Bibliotecária Ana Lígia Feliciano dos Santos, CRB4: 2005

A658i Araújo, Liderlânio de Almeida.

Influência da radiação gama na composição química do tomate (*Solanum Lycopersicum*)/ Liderlânio de Almeida Araújo. - Vitória de Santo Antão, 2016.

108 folhas: il.; tab., fig.

Orientadora: Edvane Borges da Silva.

Coorientadora: Yana Batista Brandão.

Dissertação (Mestrado em Saúde Humana e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, CAV, Saúde Humana e Meio Ambiente, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de Alimentos. 2. Conservação de Alimentos. 3. *Lycopersicon esculentum*. I. Silva, Edvane Borges da (Orientador). II. Brandão, Yana Batista (Coorientadora). III. Título.

664.028 CDD (23.ed.)

BIBCAV/UFPE-115/2016



Dissertação de Mestrado apresentada por **LIDERLÂNIO DE ALMEIDA ARAÚJO** ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Humana e Meio Ambiente do Centro Acadêmico de Vitória da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título "**INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO GAMA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)**", orientada pela Prof.^a Dr.^a Edvane Borges da Silva e coorientada pela Prof.^a Dr.^a Yana Batista Brandão, aprovada no dia 29 de julho de 2016 pela Banca Examinadora composta pelos seguintes professores:

Dr.^a Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo
Departamento de Biofísica e Radiobiologia – UFPE

Dr. João Paulo Siqueira da Silva
Departamento de Energia Nuclear – UFPE

Dr.^a Lúcia Fernanda Cavalcanti da Costa Leite
Departamento de Química – UNICAP

Dr.^a Simey de Souza Leão Pereira Magnata
Núcleo de Biologia – CAV/UFPE

Autor:

Liderlânio de Almeida Araújo

Aos meus pais Edilene e Luis, a minha irmã Edilaine, as minhas professoras Alexandra, Edvane, Grazielle, Lucia e Yana, e ao meu amigo companheiro Caio Cezar. E a minha grande amiga Marcella.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço as minhas orientadoras Edvane Borges e Yana Brandão pelo apoio, dedicação e carinho ao longo do tempo de pesquisas. Muito obrigado pela confiança depositada em mim. E ao Centro Acadêmico de Vitória – CAV da universidade Federal de Pernambuco por desenvolver este curso de Mestrado e aos profissionais que se desempenham a cada um para que este programa produza bons frutos, em especial as professoras Ana Maria Melo e Idjane Oliveira.

A todos os meus amigos e familiares que sempre me apóiam em todas as fases da minha vida. E as minhas 15 colegas de classe que durante o período que pagamos as disciplinas contamos sempre um com o apoio do outro.

A Universidade Católica de Pernambuco em especial a professora Lucia Fernanda e o professor Sérgio Paiva e aos técnicos Pammello, Caio, Adailton e Alexciana pelo apoio e empenho em disponibilizar o laboratório para que eu desenvolvesse a minha pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
Abstract	11
CAPITULO 01	12
1.1 Introdução.....	12
1.2 Objetivos.....	15
1.3. Referencial teórico.....	16
1.3.1 Técnica de irradiação de alimentos como alternativa de conservação 16	
1.3.2 O tomate e suas características	21
Referencias.....	39
Capitulo 02	51
2.1 Resumo	51
2.2 Abstract.....	51
2.3 Introdução.....	52
2.4 Metodologia	54
2.5 Resultados e Discussão	57
2.6 Conclusão.....	69
2.7 Referencias.....	69
Capitulo 03	73
3.1 Resumo	73
3.2 Abstract.....	74
3.3 Introdução.....	74
3.4 Metodologia	76
3.5 Resultados e Discussão	81
3.6 Conclusão.....	100
3.7 Referências.....	100

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura	0.1:	Métodos	de
plantio.....			26
Figura. 0.2:	Processo de amadurecimento do tomate.....		27
Figura 0.3 (A):	Representação da fórmula Química da vitamina C; (B)		
Alimentos ricos em vitamina C.			31
Figura 0.4:	Exemplos de carotenóides: (A) licopeno, (B) luteína ou licorpo, (C) α -caroteno e (D) β -caroteno.		34
Figura 0.5:	Estrutura química e clivagem do β -caroteno		37

Capítulo 2

Figura 0.1	(A) Influência da dose de radiação e do (B) dia de avaliação sobre os teores de licopeno para os tomates verdes e vermelhos, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VD referem-se aos tomates verdes e VM aos tomates vermelhos.	62
Figura 0.2:	(A) Influência da dose de radiação e do (B) dia de avaliação sobre os teores de β -caroteno para os tomates verdes e vermelhos, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VD referem-se aos tomates verdes e VM aos tomates vermelhos.	66
Figura 0.3:	(A) Influência da dose de radiação nos teores de licopeno e β – caroteno e (B) tomates mais afetados pela dose de radiação, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VERD L e VERD B e VERM L e VERM B, referem-se às determinações de licopeno e β - caroteno	67

Capítulo 3

Figura 0.1:	Concentrações de licopeno nas amostras de tomate in natura.....	83
Figura 0.2:	Concentrações de β -caroteno nas amostras de tomate in natura.	88
Figura 0.3:	Comparação entre as concentrações de licopeno e β -caroteno nas amostras controles de tomates in natura.	89
Figura 0.4:	Comparação entre as concentrações de licopeno e β -caroteno nas amostras de tomates in natura irradiadas a 0,5 kGy.	90
Figura 0.5:	Comparação entre as concentrações de licopeno e β – caroteno nas amostras de tomates in natura irradiadas a 1,0 kGy.	91
Figura 0.6:	Comparação entre os valores de pH nas amostras de tomates in natura controle e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.	93
Figura 0.7:	Teores de Vitamina C nas amostras de tomates in natura controles e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.	95
Figura 0.8:	Acidez titulável das amostras de tomates in natura controle e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.	97

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 0.1: Identificação dos alimentos e respectivas doses de radiação utilizadas nas diversas finalidades 18

Tabela 0.2: Composição nutricional do tomate em 100 gramas..... 22

Tabela 0.3: Composição dos frutos maduros do tomate (% na matéria seca). 23

Capítulo 2

Tabela 0.1: Valores de licopeno em tomates verdes e maduros durante 15 dias de armazenamento, sob refrigeração, em três diferentes tratamentos (não irradiados e irradiados a 0,5 e 1,0 kGy). 58

Tabela 0.2: Valores de β - caroteno em tomates verdes e maduros durante 15 dias de armazenamento sob refrigeração em três diferentes tratamentos (não irradiados e irradiados a 0,5 kGy e 1,0 kGy). 63

Capítulo 3

Tabela 0.1: Médias (n = 3) das concentrações de licopeno em tomates, irradiados e não irradiados, no período de avaliação de 30 dias. 82

Tabela 0.2: Médias (n = 3) das concentrações de β -caroteno em tomates, irradiados e não irradiados, no período de avaliação de 30 dias. 87

Tabela 0.3: Valores de pH em amostras de tomates controles e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy..... 92

RESUMO

A técnica de conservação de alimentos por meio da radiação gama tem-se mostrado eficiente para o aumento do tempo de prateleira de diversos alimentos de origem vegetal. Dentre os vegetais com grandes índices de perda pós-colheita encontrasse o tomate (*Lycopersicon esculentum*), sendo este a segunda cultura agrícola, de maior difusão no mundo para consumo *in natura* ou processado. Este alimento tem sido amplamente estudado, uma vez que contém diversos antioxidantes, como carotenóides, vitamina C, além de tocoferóis e flavonóides que contribui para diversas funções no organismo. Este trabalho tem por objetivo analisar os efeitos da radiação gama nos teores de licopeno, β -caroteno, vitamina C, pH, acidez titulável, coliformes e *Samonellas*, em tomates comercializados em feiras livres de Recife-PE. Sendo os tomates divididos em três grupos, um controle (não irradiado) e dois irradiados a uma dose de 0,5 kGy e 1,0 kGy a partir de uma fonte de ^{60}Co , com taxa de dose de 2,629 kGy/h. Dentre as observações constatadas pode-se verificar que a radiação ionizante provocou uma diminuição nos teores de licopeno e β - caroteno. Constatou-se uma redução nos teores de vitamina C para as amostras irradiadas, sendo que a dose de 1,0 kGy apresentou maior redução. A análise estatística comprovou que a radiação gama nos tomates estudados permitiu um aumento no tempo de prateleira, evidenciando ser está uma técnica efetiva para conservação no pós-colheita.

Palavras-Chave: Irradiação. Licopeno. β -caroteno

ABSTRACT

The food storage technique by means of gamma radiation has proved effective in increasing the shelf life of many foods of plant origin. Among the vegetables with large post-harvest loss ratios found tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), which is the second crop, the most widespread in the world for fresh consumption or processed. This food has been widely studied since they contain many antioxidants such as carotenoids, vitamin C, and tocopherol, and flavonoids that contributes to various functions in the body. This work aims to analyze the effects of gamma radiation on lycopene content, β -carotene, vitamin C, pH, titratable acidity, coliforms and *Salmonellas* in tomatoes sold in street markets of Recife-PE. As the tomatoes divided into three groups, a control (non-irradiated) and two irradiated at a dose of 0.5 kGy 1.0 kGy from a ^{60}Co source, dose rate of 2,629 kGy / hr. Among the noted observations it can be seen that ionizing radiation caused a decrease in levels of lycopene and β -carotene. It was observed a reduction in vitamin C content for samples irradiated, and the dose of 1.0 kGy showed a reduction. Statistical analysis has shown that the gamma radiation tomatoes studied led to an increase in shelf life, thus demonstrating that it is an effective technique for conservation in post-harvest.

Keywords: Irradiation. Lycopene. β -carotene

CAPITULO 01

1.1 Introdução

Segundo relatório divulgado pela FAO, em 2013, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos foram desperdiçadas no mundo, o que equivale a um desperdício de 750 bilhões de dólares. No Brasil, segundo dados divulgados pela ONG Banco de Alimentos, cerca de 26,5 de toneladas de alimentos são desperdiçados. Destes, a maior perda, cerca de 11,92 milhões, são de hortifrúttis, o que corresponde a 45% dos produtos desperdiçados.

As hortaliças são reconhecidas por contribuir para a manutenção de um estilo de vida saudável por serem ricas em fibras, carboidratos, micronutrientes e que possuem uma considerável variedade de compostos funcionais, que são responsáveis por diversas ações, além das nutricionais, tais como ações antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, anti-carcinogênica, anti-diabéticas, etc. (ESTEVES; FIGUEIRÔA, 2009; RAUPP et al., 2009; PALOMO et al. 2010; JUNIOR; FARIAS, 2012).

Entre as hortaliças, pode-se citar o tomate, fruto do tomateiro (*Solanum lycopersicum*), hortaliça mais utilizada nas mesas dos brasileiros, podendo ser consumida na forma in natura, em saladas e sanduíches, ou industrializada, na forma de suco, molho, pasta, desidratado, doce, dentre outros (BRASIL, 2014).

O tomate tem sido amplamente estudado, uma vez que contém diversos antioxidantes, como carotenóides, além de tocoferóis e flavonóides, todos com ação de prevenção de cânceres, tais como de pâncreas, cervical e próstata, e de outras doenças crônicas, além de proteger o organismo de infecções bacterianas, assim como de perturbações digestivas e pulmonares (FRUSCIANTE et al., 2007; LIU; WU, 2007; MATTEDI et al., 2007; FILGUEIRA, 2008).

Considerando a cadeia produtiva desses alimentos, percebe-se que a maior parte da perda se dá no pós-colheita (FAO, 2011). As perdas de produtos agrícolas no pós-colheita ocorrem principalmente devido às injúrias (mecânicas, patológicas e fisiológicas) que sofrem esses produtos. As

consequências dessas perdas são o aumento dos preços dos produtos e prejuízos ao produtor, comerciante e, por fim, o consumidor. No Brasil, o desperdício de alimentos está presente em toda a cadeia produtiva, sendo que 10% ocorre no campo; 50% no manuseio e transporte; 30% comercialização e abastecimento e 10% varejo (supermercados) e consumidor final (IPEA, 2009).

Fica evidente que ações são necessárias para que essas perdas sejam minimizadas, independentemente do estágio de maturação durante a colheita. Uma delas é o emprego de métodos de conservação, os quais permitem a eliminação de agentes patogênicos que aceleram a deterioração. Entre estes métodos, pode-se citar a irradiação de alimentos, técnica esta que consiste em utilizar a radiação ionizante para aumentar o tempo de prateleira de alimentos de origem vegetal, promovendo a inibição do brotamento e retardamento do processo de maturação, além de, uma forma geral para todos os alimentos, reduzir a proliferação de microrganismos patogênicos (POLIZEL, 2006).

Ao contrário dos métodos que usam substâncias químicas, as quais podem ser prejudiciais à saúde humana, o alimento que é irradiado não apresenta toxicidade ao ser humano, o que caracteriza a irradiação de alimentos como um método versátil, seguro, ambientalmente limpo e energeticamente eficiente, autorizado por instituições como a Organização Mundial de Saúde (OMS), Food and Agricultural Organization (FAO), U.S. Food and Drugs Administration e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (BRIGIDE et al., 2006; SABATO *et al.*, 2009). Porém, assim como em qualquer outro método de conservação, algumas características dos alimentos podem ser alteradas (POLIZEL, 2006).

Foi considerando isto que a ANVISA, através de sua RDC n° 21 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), estabeleceu que todo alimento que passe por processamento alimentar deverá ser avaliado quanto a alterações em suas características: físicas (peso, cor, odor, textura, sabor, pH) e químicas (carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas, acidez titulável) e fitoquímicas (carotenóides, polifenóis, terpenóides, etc.)

Considerando o exposto, o presente estudo tem por objetivo avaliar os efeitos da irradiação gama na composição físico-química e fitoquímica de tomates. O trabalho encontra-se estruturado em três Capítulos. O Capítulo 1 aborda do referencial teórico e os Capítulos 2 e 3 referem-se, respectivamente, aos artigos: **Influência da radiação gama na composição de licopeno e β -caroteno presentes em tomates *in natura* em dois estágios de maturação,** e; **Influência da radiação gama na composição química e físico-química de tomate (*Solanum lycopersicum*) *in natura*.**

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Avaliar os efeitos da irradiação gama na composição físico-química e fitoquímica de tomates, para fins de aumento do tempo de prateleira.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Analisar os teores de licopeno e β -caroteno, antes e após a irradiação, de tomates, *in natura*, em dois estágios de maturação, a saber, verde e vermelha;
- ✓ Analisar os efeitos da irradiação gama nos teores de licopeno e β -caroteno, vitamina C, pH, acidez titulável e no controle de coliformes e *Salmonella sp.*, em tomates *in natura*, no estágio salada.

1.3. Referencial teórico

1.3.1 Técnica de irradiação de alimentos como alternativa de conservação

Diariamente diversos alimentos são descartados por não está adequado para o consumo humano. Este fato é decorrente de diversos fatores dentre estes o processo de amadurecimento dos frutos, contaminação por fungos e bactérias. O desenvolvimento de técnicas de conservação de alimentos vem chamando a atenção dos estudiosos ao longo dos tempos, para promover a redução ou eliminação dos agentes que alteram a qualidade do alimento por meio de reações químicas e microbiológicas. Técnicas como o emprego da temperatura, umidade, liofilização, desidratação, irradiação, dentre outras são utilizadas para melhorar a qualidade do alimento (GOMES, 2007).

Ao contrário dos métodos que usam substâncias químicas, as quais podem ser prejudiciais à saúde humana, a técnica de irradiação de alimentos não traz toxicidade ao ser humano, o que caracteriza a irradiação de alimentos como um método versátil, seguro, ambientalmente limpo e energeticamente eficiente. Durante o processo de irradiação, desde que não sejam utilizadas doses muito altas, o alimento não irá sofrer alteração significativa em seu valor nutricional, uma vez que os macronutrientes são relativamente estáveis. Os micronutrientes, em especial as vitaminas, podem sofrer redução em pequenas proporções pelo emprego da irradiação, porém, a sensibilidade das vitaminas no processo é variada, dependendo das condições nas quais se irradiam os alimentos, sendo que as vitaminas hidrossolúveis mais sensíveis são a vitamina C e B1 em relação às vitaminas lipossolúveis, as quais se verificam uma maior sensibilidade, principalmente, para as vitaminas A e E (CASTRICINI et al., 2004; MIRANDA et al., 2006).

A técnica de irradiação de alimentos compreende a utilização de uma fonte de energia oriunda de raios gama, raios-X, ou feixes de elétrons. Durante este processo, o alimento é aquecido, como ocorre, por exemplo, quando este é submetido à radiação de micro-ondas. Este processo é um método efetivo e muito difundido mundialmente, devido à vantagem que apresentam, em relação

aos métodos convencionais de processamento tais como a desidratação (SANTOS et al., 2003; FDA, 2011, COSTA, et al., 2013).

A radiação gama (γ), é uma onda eletromagnética, proveniente do núcleo excitado de alguns elementos radioativos. Devido ao fato de possuir uma alta energia é capaz de penetrar na matéria de modo mais intenso que as radiações alfa e beta. Assim, os processos que utilizam a radiação gama têm crescido significativamente em todo o mundo. Essas radiações podem ser obtidas, por meio da emissão de um isótopo radioativo, tais como, por exemplo, o Cobalto-60, o Irídio-192 e o Césio-137 (SEGRÈ, 1980; VENTURA, et al., 2010).

Quando empregada na descontaminação de produtos alimentícios, os raios gama atuarão, por exemplo, na eliminação dos microrganismos patogênicos, tais como, a *Salmonella Typhimurium*. Este processo possibilita meios para que não haja a divisão de células vivas, bactérias e células de organismos superiores, alterando assim, as suas estruturas moleculares, garantindo a qualidade e a segurança alimentar (FARKAS et al., 2006; COSTA, et al., 2013).

A fonte radioativa mais utilizada no processo de irradiação de alimento, é a fonte de Co-60, por produzir raios gama com energia adequada, além de apresentar boa disponibilidade e de baixo custo em relação às demais fontes (ROBERTS, 2014).

O uso da radiação gama como tecnologia de conservação de alimentos está basicamente ligado a três fatores: tipo de alimento a ser irradiado, a dose a ser aplicada e o tempo de exposição do alimento à fonte (VIEITES, 1998). Em 1989, o cientista Beine descreveu que, no processo de irradiação de alimentos, apenas os raios gama entram em contato com o alimento, sem qualquer risco de contaminação radioativa. As doses de radiação são quantificadas em termos de energia absorvida pelo produto irradiado, sendo que as doses normalmente aplicadas aos alimentos variam entre 0,1 e 100 kGy, porém o valor da dose a ser aplicada varia de acordo com o alimento e a necessidade, conforme Tabela I. Cia et al. (2000) recomendam doses de

radiação gama entre 0,5 e 2 kGy, para o controle de um fungo conhecido por *Botritis cinerea*, em uva 'Itália', o qual da origem a chamada "podridão cinzenta" dos vegetais e este tipo de fungo é favorecido por ambientes com precipitação pluviométrica elevada e alta umidade relativa do ar.

Tabela 1- Identificação dos alimentos e respectivas doses de radiação utilizadas nas diversas finalidades

Alimento	Dose (kGy)	Finalidade
Batatas, cebolas, inhame, dentre outros.	0,05 – 0,15	Inibição de brotamento
Cereais, frutas, feijões, pescado cru, carne seca dentre outras	0,15 – 0,75	Desinfestação de insetos
Frutas e vegetais, como manga, mamão, banana, dentre outras.	0,25 – 1,0	Retardo no processo fisiológico
Eliminação de microorganismos patogênicos.	1,0 – 5,00	Frutos do mar, carnes cruas, produtos de ovos, dentre outros
Ervas e especiarias, condimentos	3,0 – 10,0	Eliminação de esporos e microorganismos patogênicos
Carnes, aves, frutos do mar, alimentos preparados	30 – 100	Esterilização industrial
Ervas e especiarias, condimentos	10 – 50	Descontaminação de aditivos e ingredientes

Fonte: Delinceé, 1996

A comissão conjunta do *Codex Alimentarius* (do latim, Lei ou Código dos Alimentos) estabelece o Programa Conjunto da FAO/OMS sobre Normas Alimentares, a fim de determinar códigos de práticas, diretrizes e outras medidas recomendadas para o uso da irradiação dos alimentos, garantindo assim, um alimento de boa qualidade, possibilitando também o comércio internacional. Mundialmente, mais de 41 países aprovaram a utilização da irradiação para mais de 60 produtos alimentares. Nos Estados Unidos a

irradiação de alimentos tem sido amplamente utilizada, principalmente para tratar carnes vermelhas, a fim de reduzir a contaminação por *Escherichia coli*, uma bactéria responsável por muitas intoxicações, que podem causar sérios danos aos rins e, eventualmente, conduzir à morte (ROBERTS, 2014; SANTOS, 2013).

No Brasil, a regulamentação da irradiação de alimentos existe desde 1973, e posteriormente foram editadas portarias complementares, em 1985 e 1989. A Portaria nº 30 de 02 de agosto de 1989, da Divisão de Alimentos do Ministério da Saúde, determina o limite superior da irradiação em 10 kGy, proíbe a re-irradiação, como também, lista os produtos aprovados para irradiação e as suas respectivas doses (LEAL et al., 2004).

As doses de radiação são quantificadas em termos de energia absorvida pelo produto irradiado. A dose de 1 Kilogray (kGy) corresponde à absorção de 1 Kilojoule por quilograma de produto irradiado (NEVES et al., 2003). Jong-il et al. (2011), investigaram o efeito de radiação na distribuição do peso molecular das proteínas. Estes autores observaram que as principais proteínas com alto peso molecular foram degradadas pela irradiação gama e que a degradação das proteínas era dependente da dose absorvida.

Damayanti et al. (1992), realizaram estudos de radiação gama com abacaxis com doses variando entre 0,05 e 0,25 kGy e conseguiram prolongar o período de conservação pós-colheita, pelo controle de fungos causadores de podridões. Gemanó et al. (1996), trabalhando com abacates da variedade 'Fortuna', conseguiram através da aplicação de radiação gama, um incremento no armazenamento refrigerado de quatro dias para dose de 0,08 kGy e de oito dias para dose de 0,1 kGy.

Em estudo com irradiação gama sobre cenouras Lima et al., (2004) avaliaram o teor de carotenóides nas doses 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 kGy, em cenouras minimamente processadas e com condições atmosféricas das embalagens modificadas, estando o primeiro grupo (CMP5) com a atmosfera composta de 5% de O₂ e 10% CO e um segundo grupo (CMP21) com 21% de O₂ (ar sintético super seco). Os autores constataram que no tempo zero houve

uma redução de aproximadamente 55% na concentração de carotenóides totais para os produtos CMP5 e CMP21 em comparação com a amostra controle.

Com o objetivo de avaliar a influência da radiação gama com fonte de ^{60}Co na composição de polifenóis de extratos hidroalcoólicos de cascas e folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale* Linn.) Santos et al., (2013) irradiaram os extratos com dose de 10 kGy, sendo mantidos os controles de 0 kGy e controles positivo (CaCO_3) e negativo (H_2O). Os autores constataram que a radiação gama provocou alterações importantes nos teores dos polifenóis para os extratos das folhas evidenciada pelo aumento da toxicidade deste extrato frente aos embriões e adultos de *Biomphalaria glabrata*.

A irradiação gama com fonte de ^{60}Co possibilitou a Todokori et al., (2009) evidenciarem que a bactéria *Listeria monocytogenes* são eliminadas de tomates – cereja quando são empregadas doses a partir de 1,25 kGy. Enquanto que Prakash et al., (2002) trabalharam com tomates do cultivar Roma picados com as doses de 0,39kGy, 0,50kGy, 0,56kGy, 1,24 kGy, 1,82 kGy e 3,70 kGy e constaram uma redução significativa na carga microbiana. Evidenciaram também que a cor, os sólidos solúveis e a acidez titulável não sofreram alterações significativas. Porém, a firmeza dos tomates em análise diminui em função do aumento da dose, mas não com o tempo de armazenamento.

Um alimento que apresenta grandes perdas tanto no período antes como pós – colheita é o tomate. Em estudos desenvolvido por Zambrano, et al., (1996), Prakash et al., (2002), Mattedi et al., (2007), dentre outros, foram evidenciadas as perdas deste fruto. Autores como Lima et al., (2011), Damayanti et al. (1992), Ventura et al., (2010), Zanão et al., (2009) apontam o uso da irradiação como solução para promover reduções nas perdas deste fruto.

Estudos realizados por vários autores mostraram resultados divergentes com relação à ação da radiação ionizante nas concentrações de compostos fitoquímicos. Autores como Mechi et al. (2005); Miranda et al. (2006); Bhat et

al. (2007) e Santos et al. (2013), observaram que a radiação provocou o aumento dos teores de compostos fitoquímicos com o aumento da dose de radiação empregada. Já Pinn (1992); Villavicencio et al. (2000); Brigide et al. (2006); Toledo et al. (2007); Zhu et al. (2010); relatam que ocorreu uma diminuição nos teores desses compostos. Enquanto que outros estudos, como os de Koseki et al. (2002); Jeong et al. (2009); Santos et al. (2013); ElShazali et al. (2011), observaram que a radiação gama não influenciou nos teores desses compostos.

Estudos realizados entre as décadas de 50 e 70 utilizaram doses de radiação muito altas, variando de 3 a 10 kGy para conservação de tomates. Porém, os efeitos observados indicaram que a radiação inibiu os teores de alfa-caroteno e licopeno em tomates maduros e verdes, apesar de o mesmo efeito não ser observado para o β -caroteno. Também foram relatadas variações na textura, e cor (VILLEGAS *et al.*, 1972).

1.3.2 O tomate e suas características

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é originário da América do Sul. Pesquisas apontam que já era cultivado pelos incas e astecas há cerca de 1300 anos. Países como a Bolívia, Chile, Equador e Peru destacam-se como centros de distribuição desta hortaliça, sendo o fruto do tomate a parte comestível, e que apresenta uma excelente palatabilidade nas diversas maneiras em que é consumido (GOMES, 2002).

As características organolépticas e nutricionais do tomate dependem de vários componentes físico-químicos dos frutos. Este vegetal apresenta uma elevada constituição nutricional, tais como vitaminas, minerais, flavonoides e carotenóides, como também possui em sua composição cerca de 93 a 95% de água, conforme a Tabela 2. Os 5 % restantes são destinados aos compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos, de acordo com a Tabela 3 (GIORDANO; RIBEIRO, 2000; FILGUEIRA, 2008).

Tabela 2 - Composição nutricional do tomate em 100 gramas.

Nutriente	Tomate fresco
Água (%)	93,5
Calorias (kcal)	22,00
Proteína (g)	1,10
Carboidrato Total	4,70
Fibra	0,50
Ácido Ascórbico (mg)	23,00

Fonte: EMBRAPA, 2009.

O tomate é a hortaliça muito utilizada nas mesas dos brasileiros, podendo ser consumida na forma in natura, em saladas e sanduíches, ou industrializada, nas formas de suco, molho, pasta, desidratado, doce dentre outros. É uma planta que pertence à ordem Tubiflorae e famíliaolanaceae, dicotiledônea, da espécie *Solanumly copersicum*. Pesquisas apontam que o tomate apresenta propriedades que colaboram para a diminuição de índices de câncer de pâncreas, cervical e próstata, além de proteger o organismo de infecções bacterianas, assim como de perturbações digestivas e pulmonares (MATTEDI et al., 2007; FILGUEIRA, 2008). Os carotenóides mais abundantes no tomate são o licopeno e o β -caroteno, responsáveis, respectivamente, pelas variações de coloração que representam diferentes fases de maturação do fruto (STAHL; SIES, 1999; KRINSKY, 1994, AGRIANUAL, 2007).

Tabela 3 - Composição dos frutos maduros do tomate (% na matéria seca).

Tipos de Compostos	Composição	(%) matéria seca
	Glicose	22,00
Açúcares	Frutose	25,00
	Sacarose	1,00
	Proteínas	8,00
Sólidos insolúveis em álcool	Substâncias pécnicas	7,00
	Hemicelulose	4,00
	Celulose	6,00
Minerais	Principalmente: K, Ca, Mg e P	8,00
Ácidos orgânicos	Ácido cítrico	9,00
	Ácido málico	4,00
	Ácido ascórbico	0,50
Outros	Lipídios	2,00
	Pigmentos	0,40
	Aminoácidos dicarboxílico	2,00
	Voláteis	0,10
	Outros aminoácidos, vitaminas e polifenóis	1,00

Fonte: EMBRAPA, 2009.

Para ocorrer o desenvolvimento total do tomate no campo, é necessário um período de sete a nove semanas. Paula et al. (2011), trabalhando com três estágios de maturação do tomate afirmaram que os frutos colhidos quando em estágio “verde” possui uma maior vida pós-colheita e maior resistência ao transporte; entretanto, na maioria das vezes, colhem-se frutos de qualidade inferior àqueles colhidos em um estágio de maturação mais avançado. Porém, no estágio de maturação mais avançado, é alta a produção de etileno o que, juntamente com o aumento do PH, podem favorecer o aparecimento de fungos e outros micro-organismos deteriorantes, inviabilizando um maior tempo de prateleira durante a comercialização.

Segundo Giordano e Ribeiro (2000), Fao (2009) e Silva (2010) os principais benefícios do tomate para o ser humano, são:

- Apresenta uma grande quantidade de antioxidantes, característica que ajuda a manter as células jovens e a retardar o envelhecimento. Vale salientar que os antioxidantes são eficazes para reduzir alguns tipos de câncer: próstata, pulmão, trato intestinal. Sendo assim, é importante usá-lo na alimentação diária;
- Contêm vitamina A, sendo importante para melhorar o sentido da visão;
- Melhoram a circulação do sangue, por isso reduzem o risco do ser humano sofrer problemas cardiovasculares, como exemplo, os infartos do miocárdio;
- Contêm licopeno, o qual pode reduzir os níveis de colesterol e triglicérides no sangue, devido à sua elevada quantia presente na composição do tomate;
- Apresentam propriedades diuréticas, ou seja, ajudam a eliminar as toxinas e evita a retenção de líquidos;
- Mantêm o balanço natural da água no organismo, devido à presença do potássio;

- Contribui para a contração muscular, tendo em vista que o tomate contém sódio e magnésio;
- Contêm vitamina C, proporcionando assim, resistência aos ossos.

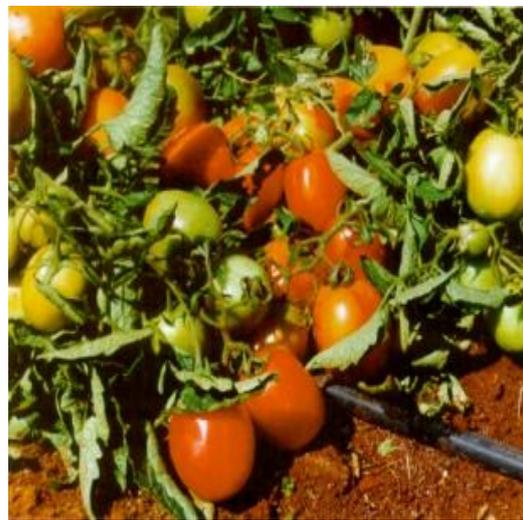
O tomate pode ser cultivado em regiões tropicais e subtropicais no mundo inteiro, tanto para consumo *in natura*, no cultivo envarado, quanto para a indústria de processamento, através do cultivo rasteiro, destacando-se como a segunda hortaliça mais cultivada no mundo, superada apenas pela batata (FAO, 2009). Porém, antes de ganhar todo esse destaque, o tomate foi considerado por um bom tempo como venenoso, sendo cultivado apenas como planta ornamental (GOULD, 1992; MATTEDI et al., 2007).

O tomate passou a ganhar espaço na Europa na primeira metade do século XVI e no ano de 1554 surgiram na Itália os primeiros registros do uso deste fruto como alimento. A partir da virada do século XIX, esses frutos foram introduzidos no Brasil, sendo utilizados inicialmente para fins de consumo *in natura*. A sua produção em território brasileiro gira em torno de 3,2 milhões de toneladas, por ano. O Estado de São Paulo, Pernambuco, Espírito Santo e Rio de Janeiro destacam-se entre os grandes produtores internos das variedades mais tradicionais. A partir da década de 1970, as lavouras do tomate rasteiro ou industrial, plantado sem escoras e usado na produção de suco e massa, tomaram grande impulso, como por exemplo, em Goiás e no vale do rio São Francisco (FAO, 2009). As Figuras 1A e 1B mostram os tomates plantados com e sem escoras.

A região Sudeste, hoje, assume o primeiro lugar como a maior produtora de tomate do Brasil, sendo responsável por mais de 47% do total produzido, com destaque para o Estado de São Paulo, que contribui com 22,29% da produção nacional, e Minas Gerais, que contribui com 13,37%. A segunda maior região produtora corresponde o Centro-Oeste, que contribuiu com 24% da produção nacional no mesmo ano. Sendo assim, a maior área cultivada de tomate industrial é a região do Centro-Oeste e o Sudeste. O Brasil ocupa o primeiro lugar na produção do tomate em relação à América do Sul, com aproximadamente 52,42 %; em segundo lugar encontra-se o Chile, com 19,8

%, seguido da Argentina, com 10,6% ocupa a terceira colocada e em quarto lugar encontra-se a Colômbia com 6,1% (SILVA, 2014).

Figura 1- Métodos de plantio



(A) plantio do tomate com escoras

(B) plantio do tomate sem escoras.

Fonte: NAIKA, *et al.*, 2006

Durante o processo de amadurecimento do tomate, conta-se como principal referência a nível macroscópico, a mudança de cor, conforme a Figura 2. Segundo a EMBRAPA (1993), este tomate pode ser coletado quando apresenta o estado verde maduro, ou seja, momento em que apresenta uma coloração verde clara. Porém, em seu interior para que esse ciclo se complete, ocorre uma série de transformações físico-química, caracterizado por alterações fisiológicas e bioquímicas.

As plantações de tomate são extremamente susceptíveis aos agentes causadores de doenças, tais como bactérias, vírus e fungos, que reduzem ou até mesmo eliminam a qualidade do produto. Muitos desses danos são ocasionados quando o tomate se encontra na planta, em virtude dos ataques de insetos. No Brasil são perdidos por ano aproximadamente trinta milhões de toneladas na safra agrícola, sem contar com os prejuízos causados à saúde da população por meio da contaminação por microrganismos (FERREIRA, 2004; EMBRAPA, 2009).

Figura 2- Processo de amadurecimento do tomate



Fonte: EMBRAPA, 2009 (modificado).

Sabe-se que a produção de tomate no Brasil é considerada como a segunda cultura com maior consumo de agrotóxico por unidade de área. Neves (2003) atribui esse fato, à grande incidência de pragas e doenças na cultura. Assim, é crescente a necessidade de promover meios para obter alimentos produzidos de forma a valorizar a diversidade biológica, livre de agressões ao meio ambiente, e, sobretudo, isento de resíduos nocivos à saúde. Segundo Gomes (2007), a produção de tomate orgânico, além de gerar benefícios sociais e ambientais, é uma forma de agregar valor ao produto e ingressar em um mercado cuja oferta é muito inferior à demanda na maior parte do território brasileiro.

1.3.2.1 Antioxidantes versus tomate

Com o advento da revolução industrial, a população passou a aderir um padrão de vida, que em teoria devia promover vantagens que contribuíssem para a qualificação e desenvolvimento da vida. Mas, o que se tem visto é que as pessoas se tornaram produto dessa corrida pela ampliação da tecnologia. Assim, a extrema urbanização altera os padrões de vida e de consumo alimentício da população (INCA, 2014).

Como consequências das alterações globais, destacam-se o desenvolvimento de doenças, tais como, câncer, estresse, envelhecimento precoce, mutações, aterosclerose, artrite, doenças autoimunes, dentre outras. E quando se trata de câncer, podem-se encontrar diferentes tipos. Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o câncer de cólon e reto são um dos mais prevalentes. No Nordeste do Brasil, desconsiderando os tumores da pele não melanoma, o Câncer Color Retal (CCR) está sendo observado nos homens, como o quinto tipo de câncer mais frequente (6,2/100 mil habitantes). Nas mulheres é o terceiro mais frequente (7,8/100 mil habitantes) (INCA, 2011).

O desenvolvimento de doenças, tais como, câncer de pele, assim como também, doenças cerebrais (Alzheimer e Parkinson) e aterosclerose, que eleva o risco de infarto, também podem ter ligação com a oxidação realizada pelos radicais livres. Os tipos de câncer que surgem provenientes das pessoas que fumam cigarro podem causar enfisema pulmonar. Há ainda radicais livres que participam das lesões celulares, devido à produção excessiva destes radicais livres no corpo (MARNETT, 2000; DUTTA, 2005).

Nas últimas décadas, foram realizadas inúmeras pesquisas para esclarecer o papel destes radicais nos processos fisiopatológicos, porém uma parcela da população não possui o conhecimento sobre a atuação dos radicais no organismo e como estes radicais alteram o sistema do corpo, contribuindo para o desenvolvimento destas doenças. Portanto, o termo radical livre refere-se ao átomo ou molécula altamente reativos, que contêm um número ímpar de elétrons em sua última camada eletrônica (HALLIWELL, 1993).

Estudos relatados por pesquisadores mostram a necessidade de pesquisar os antioxidantes e como esses atuam no combate oxidativo no corpo humano. Assim, a oxidação ocorre praticamente em todos os tipos de moléculas, sejam inorgânicas ou orgânicas, sendo as reações de oxirredução extremamente importantes nos sistemas vivos, pois destes dependem a troca de elétrons, a transmissão de informação no cérebro, dentre outras atividades (RAMALHO; JORGE, 2006b).

Os ácidos graxos presentes nos óleos e gorduras sofrem com os efeitos da oxidação, devido à presença do oxigênio do ar. Neste caso ocorre um ciclo, onde os subprodutos gerados pela oxidação são altamente reativos e sendo assim, responsáveis por acelerar os processos oxidativos, propiciando uma reação em cadeia. É nesse momento que os antioxidantes são de fundamental importância por atuarem como removedores ou sequestradores desses elétrons, sem que haja a formação de um novo radical reativo, promovendo assim, o fim do processo de oxidação ou reduzindo a sua velocidade (YEN; CHEN, 2001; SABATO et al., 2009).

Os antioxidantes atuam em diferentes formas na proteção dos organismos: o primeiro mecanismo de defesa contra os radicais livres é impedir a sua formação, principalmente pela inibição das reações em cadeia com o ferro e o cobre. Essas considerações apontam a importância do estudo das especiarias como antioxidantes naturais, de modo a minimizar os processos oxidativos e prevenir alterações metabólicas no organismo. O ser humano produz algumas enzimas antioxidantes que reparam 99% dos danos causados pela oxidação, sendo essas o superóxido dismutase, a catalase e a glutathione. O superóxido dismutase catalisa a dismutação do superóxido em oxigênio e peróxido de hidrogênio. A catalase, por sua vez, decompõe o peróxido de hidrogênio em água e oxigênio. A glutathione é um agente de desintoxicação, que se liga com diferentes toxinas (STAHL; SIES, 2006).

Outros agentes antioxidantes são encontrados nos alimentos, como vegetais folhosos, frutas, legumes, hortaliças e cereais integrais. Há aqueles que se obtém por meio da dieta, são estes: as vitaminas C, E e A; os flavonóides e carotenóides, os quais são extremamente importantes por não só combater enfermidades, como também, atuar na interceptação dos radicais livres. Dentre os carotenóides, destacam-se o licopeno e o β -caroteno (KLAROD et al., 2011).

Os processos metabólicos não são a única fonte de radicais livres, pois fatores externos podem contribuir para o aumento da formação dessas moléculas. Entre esses fatores estão: poluição ambiental, Raios-X, radiação ultravioleta, cigarro, álcool, resíduos de pesticidas, substâncias presentes em

alimentos e bebidas (aditivos químicos, hormônios, entre outros), estresse, consumo excessivo de gorduras saturadas, dentre outros (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1999; AUGUSTO, 2006; KLAROD et al., 2011).

1.3.2.2 Importância da Vitamina C na composição do tomate

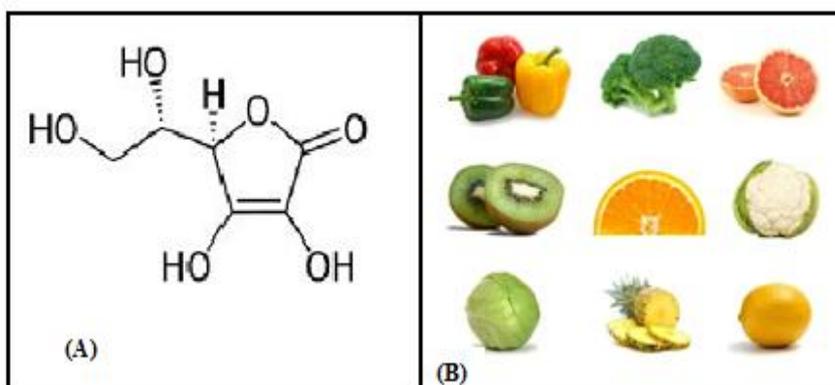
A vitamina C ou ascorbato são nomes populares para o ácido ascórbico, cujo fórmula química está descrita na Figura 3A, sendo uma lactona ($C_6H_8O_6$), cujo peso molecular é $176,12 \text{ g mol}^{-1}$. Este composto foi isolado pela primeira vez em 1928, pelo bioquímico Szent-Gyorgyi. Em seu estado natural, essa aparece na forma de cristal ou pó, e pode apresentar uma tonalidade desde o branco ao amarelo. No organismo humano a sua deficiência causa o escorbuto, sendo essa uma doença caracterizada por mudanças patológicas nos dentes e gengivas. Com a sua deficiência os mucopolissacarídeos responsáveis pela formação do colágeno são produzidos de forma irregular ou insatisfatória, provocando mudanças significativas na natureza das fibras de colágeno produzidas (GONZÁLEZ, et al., 2005; FUCHS; WANNMACHER, 2010).

A vitamina C é hidrossolúvel e encontra-se nos frutos (Figura 3B), principalmente os pertencentes à família dos citrinos, tais como, laranjas, limões, limas e tangerinas, sendo também abundante nos vegetais verdes foliformes. No caso do tomate, estudos apontam para a sua capacidade em conter um grande teor do Ácido Ascórbico, atuando como um antioxidante facilmente oxidável e cujas ligações podem ser quebradas pelo oxigênio, por bases alcalinas e temperaturas elevadas, sendo assim, um importante agente redutor, pois mantém o estado de oxidação do ferro e do cobre na degradação da tirosina, auxilia a absorção de ferro e inibe a formação de nitrosaminas durante a digestão (MURRAY et al., 2002).

Portugal (2008) em seus estudos afirma que a Vitamina C funciona também como um importante cofator para diversas enzimas como a prolil e lisil hidroxilase, enzimas responsáveis pela hidroxilação da prolina e lisina,

respectivamente. Essas enzimas são essenciais durante a síntese do colágeno e, devido à ausência do ascorbato, ocorre uma síntese alterada dessa proteína e o escorbuto se desenvolve caracterizado por hemorragias subcutâneas, fraqueza muscular, gengivas edemaciadas e amolecimento nos dentes (FUCHS & WANNMACHER, 2010).

Figura 3 - (A): Representação da formula Química da vitamina C; **(B)** Alimentos ricos em vitamina C.



Fonte: DREAMSTIME (adaptado).

O ser humano não consegue sintetizar a vitamina C, neste caso, é necessário a sua obtenção por meio da ingestão, em pequenas concentrações, para o cumprimento das funções fisiológicas normais. Vale salientar, que se deve fazer o uso moderado dessa substância, mesmo sendo esta de grande importância para diversas funções e excelente por apresentar propriedades antioxidantes. De acordo Pimentel et al. (2005), os citros, ricos em ácido ascórbico, apresentam substâncias antioxidantes que ajudam a diminuir a incidência de doenças degenerativas, tais como, o câncer, as doenças cardiovasculares, inflamações, disfunções cerebrais e retardamento do envelhecimento precoce, mas o seu excesso pode causar indigestão, particularmente quando ingerida de estômago vazio.

A vitamina C quando é ingerida em altas doses, pode ocasionar a diarreia em adultos saudáveis. Assim como, sinais de intoxicação pelo seu excesso podem propiciar náusea, vômito, dor de cabeça, rubor na face

(vermelhão súbito), fadiga, perturbação no sono, cálculos renais, distúrbios gastrointestinais e incômodos na bexiga, visto que acidifica a urina, por isso, provoca irritação. Como esta vitamina contribui para uma melhor absorção de ferro, o envenenamento por esse mineral no organismo humano é possível em pessoas com desordens raras de acúmulo de ferro, como hemocromatose (GUILLAND; LEQUEU, 1995).

Uma cultura foi se desenvolvendo ao longo dos tempos, na qual o indivíduo deve ingerir dez gramas de vitamina C por dia, proporcionando a “cura” da gripe, sendo seu uso comum para tratar resfriado, porém em revisão sistemática publicada no “BMJ Clinical Evidence”, destacou que é improvável que esta vitamina reduza a duração ou intensidade dos sintomas (FUCHS & WANNMACHER, 2010). Mas, essa cultura passou a ser difundida por meio das recomendações de Linus Pauling (Ganhador do Prêmio Nobel de Química e da Paz), por ser um grande cientista, e, sua recomendação tinha influência especial, porém, Linus Pauling não era médico, mesmo assim, os laboratórios multinacionais que produzem vitamina C fazem propaganda sugestiva afirmando que essa vitamina melhora a resistência física e ajuda a curar gripes e resfriados. Assim, o limite para a capacidade que o intestino tem em absorver o ácido ascórbico é de aproximadamente 1200 mg/24h, podendo ainda ultrapassar esse valor até 1,5g, sem ser prejudicial a saúde, ou seja, um valor relativamente inferior a recomendação dos laboratórios que a produzem (YWASSAKI LA; CANNIATTI, 2011).

Uma das funções básicas e conhecidas da Vitamina C é o fato desta ser um doador de elétrons, função que acelera as reações de hidroxilação, na regulação do sistema nervoso através da biossíntese da carnitina (aminoácidos de ocorrência no homem e demais vertebrados), da dopamina, da noradrenalina e da adrenalina, no metabolismo da tirosina, do ácido fólico e triptofano, assim como, na amidação de hormonas peptídicas.

A Vitamina C é capaz de exercer diversas funções no sistema nervoso, podendo-se destacar a influencia na formação da bainha de mielina por células de Schwann, isso ocorre, devido a sua ausência, diminuindo drasticamente a formação de colágeno do tipo IV, que é essencial para a formação da lâmina

basal e a formação dessa estrutura é fundamental para a mielinização dos axônios. Esta vitamina também apresenta funções específicas na retina, e, o seu íon foi descrito como protetor contra o dano causado à dopamina pela luz, além de ser importante na prevenção da oxidação extracelular da dopamina induzida pelo óxido nítrico (NO) na retina de mamíferos (ELDRIDGE, 1987; NEAL et al.,1999).

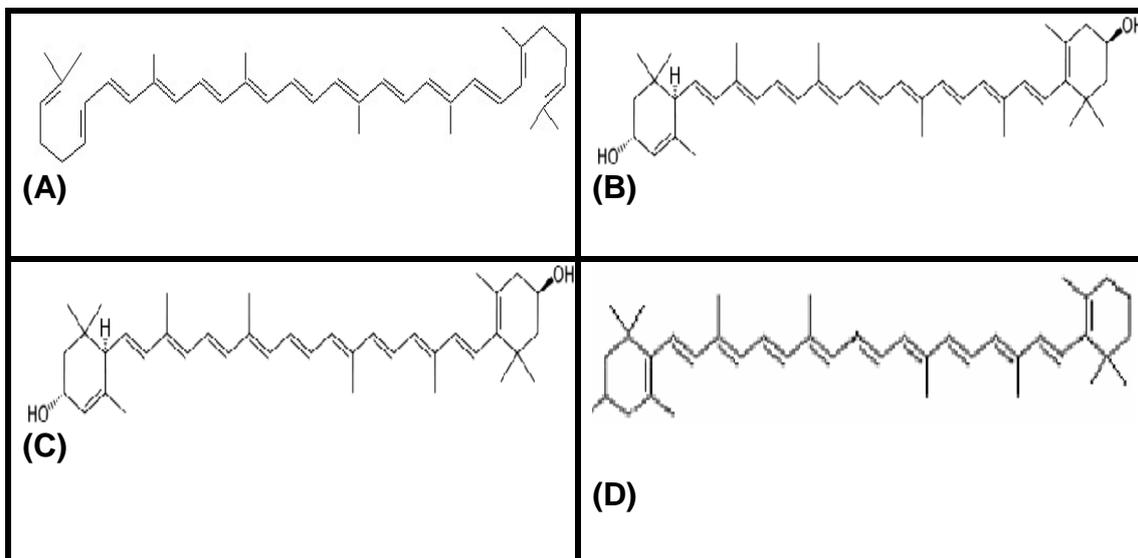
1.3.2.3 Carotenóides nos tomates

Os carotenóides são corantes naturais, sendo esses compostos abundantemente encontrados na natureza, dos quais mais de 600 variantes estruturais estão reportadas e caracterizadas, a partir de bactérias, algas, fungos e plantas superiores. Aproximadamente cinquenta (50) destes são consumidos na dieta humana, sendo 12 carotenóides consumidos pela dieta são encontrados em concentrações mensuráveis no sangue e nos tecidos humanos. Estes compostos são os responsáveis pela cor da maioria das frutas e vegetais (cenouras, tomates, espinafre, laranjas, pêssegos, entre outros), podendo variar de amarelo até o vermelho vivo, tendo uma estrutura química composta por ligações duplas conjugadas, que são responsáveis por sua cor e por algumas de suas funções biológicas. Pesquisas têm demonstrado que os carotenóides atuam como antioxidante, protegendo as células dos danos oxidativos e, conseqüentemente, reduzindo o risco de desenvolvimento de algumas doenças crônicas (STAHL; SIES, 1999; KRINSKY, 2001; WALISZEWSKI; BLASCO, 2010).

A produção natural dos carotenóides a nível mundial é de aproximadamente 100 milhões de toneladas por ano e é encabeçada pela fucoxantina das algas fotossintéticas marrons. O corpo humano não é capaz de produzi-los, sendo assim, depende da alimentação para adquiri-los. As cenouras e abóboras apresentam os carotenóides α e β -caroteno, já os tomates e produtos derivados, como extrato, polpa e molhos apresenta o carotenóide licopeno, enquanto que, o espinafre possui o carotenóide luteína, sendo estas algumas das principais fontes desse composto. A Figura 4 traz a

estrutura química destes quatros compostos naturais (LATSCHA, 1990; BAKÓ, 2002; SILVA & NAVES, 2009).

Figura 4- Exemplos de carotenóides: (A) licopeno, (B) luteína ou lucorpomo, (C) α -caroteno e (D) β -caroteno.



Fonte: disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n3/21.pdf>> acesso em: 02-mar-2016

Estudos afirmam que o consumo de alimentos ricos em carotenóides promove a diminuição no risco de várias doenças. Em estudos realizados por Olson (1999), estes carotenóides atuam sequestrando o oxigênio singlete, removendo os radicais peróxidos, modulando o metabolismo carcinogênico, passando a inibir a proliferação celular, estimulando a comunicação entre células e elevando a resposta imune (RUSSO; SANT'ANNA, 2013).

Dentre os carotenóides destaca-se o licopeno ($C_{40}H_{56}$), sendo predominante no plasma e nos tecidos humanos. Este composto é um excelente antioxidante de cor avermelhada encontrado em vegetais como tomate, goiaba, pitanga, melancia, entre outros alimentos (LEMOS JÚNIOR et al., 2011). Segundo Waliszewski e Blasco (2010) o licopeno apresenta uma estrutura simétrica e acíclica, constituído por átomos de carbono e hidrogênio, com onze (11) ligações duplas conjugadas e duas (02) ligações não conjugadas, sendo ainda considerado um pigmento sem atividade provitamina A (ARABL; STECK, 2000).

O licopeno é famoso por prevenir câncer de próstata, e também por afastar riscos de doenças cardiovasculares, ajuda a retardar também o envelhecimento das células e pode assim proteger contra os danos causados pelos raios ultravioletas. Os tomates e derivados aparecem como as maiores fontes de licopeno, estes quando cortados em fatias para ser consumido, apresenta um tempo de meia-vida entre dois a três dias (DJURIC & POWELL, 2008).

Cada 100 g de tomate maduro podem fornecer até 20 mg de licopeno. O suco de tomate tem cerca de 150 mg de licopeno/litro e o “*catchup*” tem cerca de 100 mg/kg do produto. Aproximadamente 30mg da substância, também encontrada na goiaba, pimenta e pimentão vermelhos, morango e melancia, já são capazes de beneficiar a saúde no organismo humano. O tomate quando cozido se torna também de grande eficiência, por isso é recomendado o uso dos molhos de tomates naturais, variando a sua quantidade, conforme o tipo e o grau de amadurecimento dos mesmos. Vale salientar que o tomate vermelho maduro contém maior quantidade de licopeno que de β -caroteno, sendo responsável pela cor vermelha predominante (GARTNER; STAHL 1997; GIOVANNUCCI, 1999; TAKEOKA et al., 2001).

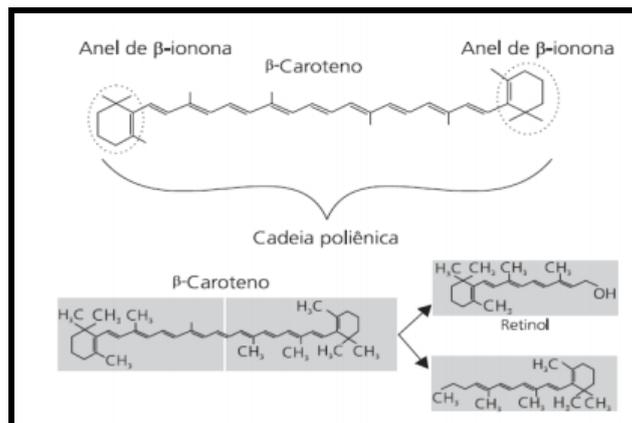
Os níveis de licopeno no plasma sanguíneo são afetados por vários fatores biológicos e estilo de vida da população. Os seus benefícios são variados, e, além dos citados acima, destaca-se a sua contribuição na prevenção de danos relacionados com a idade, tais como, a degeneração macular e a catarata. Pesquisas tem associado o licopeno com um aumento da contagem de esperma em homens com baixas taxas de fertilidade. Assim, não há diferença significativa entre os níveis plasmáticos em homens e mulheres, porém, acredita-se que os níveis plasmáticos de licopeno em mulheres possam ser afetados pelas fases do ciclo menstrual (RAO; AGARWALS, 2000; SESSO et al., 2003).

Diversos fatores interferem no valor da concentração do licopeno presente nos tomates, tais como, tempo de colheita, pH, temperatura. Segundo Naika *et al*, (2006), a biodisponibilidade de licopeno em tomates *in natura* fica em torno de 13%, enquanto que nos tomates cozidos ou processados é de

70%. Porém, a quantidade de licopeno depende das condições de processamento e composição dos alimentos de origem (CAMARGO, 2005). O tomate, além de conter licopeno, apresenta também em sua composição química, o β -caroteno, embora durante o processo de amadurecimento deste fruto, os níveis de β -caroteno vão reduzindo e conseqüentemente ocorre uma elevação nos teores de licopeno, de acordo com Davies e Hobson (1981).

O β -caroteno é um antioxidante encontrado em alguns alimentos de origem vegetal, principalmente, os de cor alaranjada e amarelada, como exemplo, a cenoura, o damasco e a manga. Algumas frutas como, a maçã, a goiaba, a acerola e determinados legumes, como, o pimentão e os brócolis, por exemplo, apresentam também teores deste carotenóide, os quais promovem melhorias no sistema imune do organismo humano, fortalecendo e ajudando a melhorar também o bronzeamento. Este composto, também pode ser obtido através de diversas espécies de fungos, leveduras e algas, porém algumas espécies é que são capazes de sintetizar este produto em quantidade suficiente para permitir a sua produção em escala industrial (ESTEVES, 2009; VILLAMOR, 2005).

O β -caroteno é um pigmento carotenóide natural, sendo o caroteno mais abundante nos alimentos e de grande interesse econômico, pois apresenta maior atividade vitamínica, e por esse motivo é um precursor da vitamina A. Aksu e Eren (2007) aborda em suas pesquisas, que somente uma pequena quantidade do β -caroteno é transformada em vitamina A, e segundo as suas estimativas, a cada 6 mg deste carotenóide ingerido pelo homem irá originar apenas 1 mg de vitamina A. Este é o único carotenoide, que apresenta dois radicais β -ionona, que ao se romper origina duas moléculas de pró-vitamina A, conforme representado na Figura 5. A biodisponibilidade do β -caroteno é maior quando ingerido junto com alimentos graxos, e a sua absorção pelo organismo humano depende da presença da bile no intestino, a qual é lipossolúvel. O consumo de grandes quantidades deste carotenóide não é perigoso, porém, pode propiciar o surgimento de uma coloração amarelada na pele, embora esta macha desapareça se houver a redução do consumo do alimento que contém este carotenóide (AMBROSIO et al., 2006).

Figura 5 - Estrutura química e clivagem do β -caroteno

Fonte: Ambrosio et al., (2006).

Thayer et al, (1992) observaram que o teor de β -caroteno e a vitamina A em amostra de manteiga de leite que foram expostos a fonte de radio de 150 mCi por 48 horas em uma temperatura de 45°C foi completamente eliminado. Sendo o β -caroteno um precursor da vitamina A, esse apresenta em sua estrutura química dois anéis de β - ionona, que conseqüentemente pode na sua metabolização fornecer duas moléculas de vitamina A. Segundo Oliveira (1998) apenas 1/6 do β -caroteno é transformado em vitamina A. Enquanto que, para outros carotenóides, a proporção diminui para 1/12, Cerca de 10 a 50% do total de β -caroteno consumido pelo ser humano é absorvido através do trato gastrointestinal e quando presente na parede do intestino é parcialmente convertido em vitamina A por ação enzimática (GARCÍA et al., 2000).

1.3.2.4 pH e Acidez Titulável nos tomate

O pH e a acidez são indicadores importante para avaliar a qualidade de tomates, outras propriedade físico-química como aparência, cor, teor de sólidos solúveis, nitratos e nitritos, dentre outras contribuem para a manutenção da qualidade do fruto. A acidez titulável quantifica o teor de ácidos orgânicos que pode estar relacionado à adstringência do tomate. É um importante parâmetro para diagnosticar o seu estado de conservação, estes encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células, de modo livre ou combinado com sais,

ésteres e glicosídeos (VILAS-BOAS, 2000; SILVA; GIORDANO, 2000; BORGUINI; SILVA, 2005).

Frutos do tomate quando apresentar teor inferior a 0,35 g/100g de tomate para ser processado é necessário que o processamento ocorra em maiores escala de tempo e temperatura para garantir maior durabilidade nas prateleiras. Um fator determinante para a acidez titulável é o tempo em que o tomate passa na planta mãe. De acordo com Ferreira (2004) os tomates quando colhidos maduro iram apresentar maior acidez em comparação aos retirados em estado de maturação verde, porém, estes teores iram depender de outros fatores tais como, temperatura, solo, umidade.

Para Kader, et al., (2002) os tomates que apresentam uma acidez titulável superior a 0,32% são considerados de boa qualidade. Porém há variação nos teores de acidez titulável de espécie para espécie, em estudo com tomates do cultivar Walter Zambrano et al., (1996) obtiveram valor máximo de 0,40%, enquanto que ao analisar tomates do cultivar Rio Grande os mesmos autores obtiveram um teor máximo de 0,42%, ambos os cultivares estavam em estagio de coloração vermelha. Já os tomates do cultivar Diva em atmosfera controlada apresentam uma variação de 0,35% a 0,46%, em seu teor de acidez titulável (GÓMES, et al., 2002).

O pH (Potencial Hidrogeniônico) consiste num índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. O pH é uma característica de todas as substâncias determinado pela concentração de íons de Hidrogênio (H^+). Quanto menor o pH de uma substância, maior a concentração de íons H^+ e menor a concentração de íons OH^- . Nos tomates o pH é ácido, sendo desejável que seu valor seja inferior a 4,3 para impedir a proliferação de microorganismos, tais como *Bacillus coagulans*, *Clostridium botulinum* e *C. butircum* que podem se proliferar quando apresenta este valor, onde estes microorganismos tornam o tomate inapropriado para consumo (EMBRAPA, 2009).

Porém, estudos realizados posteriormente por Monteiro et al, (2008) afirmam que esses valores de pH podem chegar até 4,50 os quais afirmam que

em valores superiores a estes requeria períodos mais extensos para promover a esterilização em processos térmicos, prolongando o consumo de energia e promovendo maior custo para realização de tal procedimento. Os valores encontrados por Monteiro e colaboradores (2008) corroboram para os dados que foram apresentados pelos autores Yamaguchi et al (1960) no qual afirmam em seus trabalhos que os valores para o pH em tomates podem variar até no máximo 4,6 sendo para estes a quantidade máxima para evitar a proliferação microbiano.

Lisiewska & Kmiecik (2000) observaram que tomates cv. Micra RS em cor vermelha na escala de maturação encontraram valores de 4,5. Nos estudo realizado por Borguini & Silva (2005) em tomates cv. Carmem convencional obtiveram um valor igual a 4,4. Em seu trabalho com irradiação de tomates de mesa Débora Borguini e Silva (2003) encontrou para as suas amostras controle uma variância de pH de 4,38 até 4,70. Enquanto que a variação do pH dos tomates para a dose de 0,5 kGy compreenderam uma faixa de 4,32 a 4,46 e para a dose de 1,0 kGy observou uma variação de 4,31 a 4,50 em um período de vinte dias de análise.

1.4 Referencias

AGRIANUAL Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comercio, p. 436-442. 2007.

AKSU, Z.; EREN, A. T. Production of carotenoids by the isolated yeast of *Rhodotorula glutinis*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 35, p. 107-113. 2007

AMBROSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 233-243. 2006.

ARABL, STECK S. Lycopene and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*; 71(6):1691-5. 2000

AUGUSTO, O. **Radicais livres: bons, maus e naturais**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

- BAKÓ, E.; DELI, J.; TÓTH, G.; **HPLC study on the carotenoid composition of Calendula products.** J Biochem Biophys Methods. Oct-Nov;53(1-3):241-50. 2002
- BHAT, R.; SRIDHAR, K. R.; TOMITA-YOKOTANI, K. Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*), **Food Chemistry**, v. 103, p. 860-866. 2007
- BORGUINI, R. G.; OETTERER, M.; SILVA, M. V. Qualidade nutricional de hortaliças orgânicas. **Boletim da SBCTA**. Campinas. v. 37. n. 1. p. 28-35. jan./jun. 2003.
- BORGUINI, R. G.; SILVA, M. V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. **Ver. Aliment. Nutr.** V. 16, n. 4. p. 355-361. 2005
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) **Resolução – RDC nº 21, de 26 de Janeiro de 2001.** Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. 2001. Disponível em <[HTTP://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/701ccc8004a9b6b1b9672d64600696f00/resolucao_RDC_n_21_de_26_janeiro_de_2001.pdf?mod=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/701ccc8004a9b6b1b9672d64600696f00/resolucao_RDC_n_21_de_26_janeiro_de_2001.pdf?mod=AJPERES)> Acesso em: 03-12-2016
- BRASIL. Perspectivas para a agropecuária, V. 2 Brasília 2014. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf> Acesso em 10/05/2016
- BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Antinutrients and “in vitro” availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**, v. 98, p. 85-89. 2006
- CAMARGO, G. A. Novas tecnologias e pré-tratamentos: tomate seco embalado a vácuo. Campinas: UNICAMP, **Tese Doutorado**. 2005
- CASTRICINI, A.; MEDEIROS, S.F.; CONEGLIAN, R.C.C.; VITAL, H.C. Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill) em estágio maduro. **Rev. Univ. Rural.**, v. 24, n. 1, jan.- jun., p. 85-91, 2004.

CIA, P.; BENATO, E.A.; ANJOS, V.D.A.; VIEITES, R.L. Efeito da irradiação na conservação de uva 'Itália'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n. esp. p.62-67, 2000.

COSTA, L. F.; SILVA, E.B. ; OLIVEIRA, I. S. Irradiação gama em amendoim para controle de *Aspergillus flavus*. **Scientia Plena**, v. 9, p. 1-12, 2013.

DAMAYANTI, M.; SHARMA, G.J., KUNDU, S. C. Gamma radiation influences postharvest disease incidence of pineapple fruits. **HortScience**, Alexandria, v.27, n.7, p.807-808, 1992.

DAVIES, J. N.; HOBSON, G. E. The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition and genotype. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 3, p. 205-208, 1981.

DELINCÉE, H. Detection methods for irradiated foods: an overview . **Radiation Physics Chemistry**, v. 48, n. 3, p. 378 -379, 1996.

DJURIC Z., POWELL L.C. Antioxidant capacity of lycopene-containing foods. **Int J Food Sci Nutr**; 52:143-9. 2008

DUTTA D.; CHAUDHURI, U.R.; CHAKRABORTY, R. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. **African Journal of Biotechnology**, Calcutá, v. 4, n. 13, p. 1510-1520, Dec. 2005.

ELDRIDGE, C. F. Differentiation of axon-related Schwann cells in vitro. I. Ascorbic acid regulates basal lamina assembly and myelin formation. *The Journal of Cell Biology*, v.105, n.2, p.1023-1034. 1987.

ELSHAZALI, A. M.; NASHID, A. A. SALMA, H. A.. ELFADIL, E.B. Effect of radiation process on antinutrients, protein digestibility and sensory quality of pearl millet flour during processing and storage. **International Food Research Journal**, v. 18:4, p. 1401- 1407. 2011

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A cultura do tomateiro (para a mesa). Brasília: EMBRAPA – SPI. 2003

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura do tomateiro**. Brasília: EMBRAPA – SPI. 2009

ESTEVEES FAM, FIGUEIROA EO. Detecção de Enteroparasitas em Hortaliças comercializadas em feiras livres do município de Caruaru-PE. **Rev Baiana Saúde Pública** 33: 38-47, 2009.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. 2009 Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>>. Acesso em 07/11/2015

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Food Losses and Food Waste. **Study conducted for the international Congress-Interpack**, Germany, 2011.

FAO - FOOD IRRADIATION A **Guidebook**: agricultural service division. 2 ed., Rome Italy: FAO, Technomic Publishing. 232p. 2013

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 148 – 152, 2006

FDA – Food and Administration. Food irradiation – What you need to know. **Food from the U. S. Food and Drug Administration**, 2011. Disponível em <<http://www.fda.gov/default.htm>>; Acesso em 30/12/2015

FERREIRA, S.M.R. Características de qualidade de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum Mill*) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2004.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008.

FUCHS FD, WANNMACHER L. Farmacologia Clínica: Fundamentos da Terapêutica Racional. 4a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2010.

GARTNER C., STAHL W., SIES H. Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. **Am J Clin Nutr**; 66(1):116-22. 1997

GARCIA, E.R.M.; MURAKAMI, A.E.; BRANCO, A.F. et al. Efeito da suplementação enzimática em rações com farelo de soja e soja integral extrusada sobre a digestibilidade de nutrientes, o fluxo de nutrientes na digesta ileal e o desempenho de frangos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1414-1426, 2000.

GERNANO, R.M.de A.; ARTHUR, V.; WIENDL, F.M. Conservação póscolheita de abacates Pérsia americana MILL., variedade Fortuna e Quintal, por irradiação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 2/3, n. 53, p.249-53, 1996.

GIORDANO. L.B. de; RIBEIRO. C.S.C.. Origem. Botânica e Composição Química do fruto. In: **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa/ Comunicação para Transferência de Tecnologia (Embrapa Hortaliças). P. 12-17. 2000

GIOVANNUCCI E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. **J Natl Cancer Inst**. 1999

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P. VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 3, n. 3. P. 212-226, 2007

GÓMEZ, P. A.; CAMELO, A. F. L. Calidad postcosecha de tomates almacenados em armósferas controladas. **Hort. Bras.**, Brasília, v. 20, n. 1. p. 38-43, mar. 2002.

GONZÁLEZ MICHAEL J. [et al.] Orthomolecular oncology review: ascorbic acid and 25 years later [Jornal]. - [s.l.] **Integrative Cancer Therapies**, - Vol. 4 (1). 2005.

GOULD, W. A. **Tomato Production, Processing & Technolgy**; 3 ed.,; CTI Pub. Inc.; Baltimore, 1992.

GUILLAND JC, LEQUEU B. As vitaminas do nutrielimante ao medicamento. São Paulo: Santos, 1995.

HALLIWELL B. The role of oxygen radicals in human disease, with particular reference to the vascular system. *Haemostasis*; 23(suppl 1): 118-26. 1993

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. *Free Radical in Biology and Medicine*. 3 ed. Oxford: Oxford University Press, 1999.

INCA: Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Estimativa 2014: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: Inca; 2014.

IPEA. Desperdício- Custo para todos - Alimentos apodrecem enquanto milhões de pessoas passam fome. Revista de Informações e Debates Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Ano 6 . Edição 54. 2009. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=1256:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 17/09/2016

JEONG, I. Y. LEE, H.J.; PARK, Y.D.; JIN, C. H.; CHOI, D. S.; BYUN, M. W. Effects of gamma Irradiation on total polyphenols, radical scavenging activities and decolourization of *Nelumbo Nucifera* extracts, **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, p. 575 – 577. 2009

JÚNIOR, A. P. S.; FARIAS, L. M. Efeito do licopeno do tomate na prevenção do câncer de próstata. **Revista Interdisciplinar NOVAFAPI**, Teresina. v.5, n.2, p.50-54, Abr-Mai-Jun. 2012.

KADER, A. A.; MORRIS, M. A.; STEVENS, M. A. ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v. 103, n. 1, p. 6-11, 2002

KLAROD K, HONGSPRABHAS P, KHAMPITAK T, et al. Serum antioxidant levels and nutritional status in early and advanced stage lung cancer patients. **Nutrition**. 2011

KOSEKI, P. M.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; BRITO, M. S.; NAHME, L. C.; SEBASTIÃO, K. I.; RELA, P.R.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. MANCINI-FILHO, J. FREITAS, P. C. D. Effects of irradiation in medicinal and edible herbs, **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 681 – 684. 2002.

KRINSKY N.I. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition* 17:815-7. 2001

KRINSKY, N.I. The biological properties of carotenoids. **International Union of Pure and Applied Chemistry**, Geneva, v. 66, n. 5, p. 1003-1010, Jan. 1994.

LATSCHA, T. **Carotenoids their nature and significance in animal feeds**, Department of Animal Nutrition and Health, F. Hoffmann-La Roche Ltd., Basel, Switzerland, 1990.

LEAL, A.S.; KRAMBROCK, K; GUEDES, K. RODRIGUES, R.R. Ressonância paramagnética eletrônica – RPE aplicada à análise de especiarias irradiadas

(com radiação gama). **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, p. 427 – 430. 2004.

LEMOs JÚNIOR, H. P.; BRUNELLI, M. J.; LEMOs, A. L. A. Licopeno. Diagn Tratamento. São Paulo, v. 16, n.2, p.71-74, out.-dez, 2011.

LIMA, K.S.C.; LIMA, A.L.S.; FREITAS, L.C.; Della-Modesta, R.C.; Godoy, R.L. O Efeito de Baixas Doses de Irradiação nos Carotenóides Majoritários em Cenouras Prontas para o Consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2): 183-193. 2004

LIMA, K.S.C.; LIMA, A.L.S.; FREITAS, L.C.; DELLA-MODESTA, R.C.; GODOY, R.L. O Efeito de Baixas Doses de Irradiação nos Carotenóides Majoritários em Cenouras Prontas para o Consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2): 183-193. 2011.

LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. **Food Chemistry**, v. 70, n. 2, p. 167-173, 2000.

MARNETT, L.J. Oxyradicals and DNA damage. **Carcinogenesis**, v.21, p.361-370, 2000.

MATTEDI, A. P.; SOARES, B. O.; ALMEIDA, V.S.; GRIGOLLI, J. F. J.; SILVA, L. J. da; SILVA, D. J. H. da. In: SILVA, D. J. H. da; VALE, F. X. R. de. Tomate: tecnologia de produção. Viçosa: UFV, 2007.

MECHI R.; CANIATTI – BRAZACA S. G.; ARTHUR V.; Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciêntecnol Aliment**. v. 2, n. 1 Campinas Jan/mar. 2005.

MIRANDA, M. B.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Estudo do efeito da irradiação gama (⁶⁰Co) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26:4, p. 772-778, 2006.

MONTEIRO, R. T. R. et al. Projeto Políticas Públicas. In: TAUk-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. (Org.). **Bacia do Rio Corumbataí**: aspectos socioeconômicos e ambientais. Rio Claro: Universidade Estadual de São Paulo, 2008.

MURRAY, R. K., D. K. GRANNER, P. A. MAYES, V. W. RODWELL, E. WAISBICH, F. S. MORENO E R. NAJJAR. Harper: bioquímica: Atheneu. 2002

NAIKA, S.; JEUDE, J.V.L.; GOFFAU, M.; HILMI, M.; DAM, B.V. A Cultura do tomate. **Agrodok 17. Fundação Agromisa e CTA, Wageningen, 2006.**

NEAL, M. J., J. R. Cunningham e K. L. Matthews. Release of endogenous ascorbic acid preserves extracellular dopamine in the mammalian retina. **Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.**, v.40, n.12, p.2983-2987. 1999.

NEVES, E. M.; RODRIGUES, L.; DAYOUB, M.; DRAGONE, D.S.. Bataticultura: Dispêndio com defensivos agrícolas no quinquênio 1997-2001. Batata Show, n6 p.22-23. 2003

OLIVEIRA, J.E.D. Ciências Nutricionais. São Paulo: Sarvier; 1998.

OLSON J.A. Carotenoids and human health. **Arch Latinoam Nutr** v.3 p. 33-42. Caracas – VE. 1999

PALOMO, I. MOORE-CARRASCO, R.; CARRASCO, G.; VILLALOBOS, P.; GUZMÁN, L. El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Idesia*. Chile, v. 28, n. 3, p.121- 129, set.- dez. 2010

PAULA, J.T.; GONÇALVES, N.B.; RESENDE, F.V.; ALBUQUERQUE, J.O.; PAULA, L.C.; MEERT, L.; RESENDE, J.T.V. Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro orgânico, colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, 29: S.5182-S5189, 2011

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. Substâncias bioativas em alimentos funcionais. São Paulo: Varela, p.95, 2005.

PINN, A. B. R. **O Efeito das radiações gama sobre a disponibilidade do ferro em feijões (*Phaseolus vulgaris*)** São Paulo, Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo – São Paulo 1992

PORTUGAL , C. C. captação e liberação de ácido ascórbico em células de retina em cultura: modulação por receptores ionotrópicos de glutamato. Dissertação. Universidade Federal Fluminense - NITERÓI 2008

POLIZEL, G. G. O uso da radiação no controle microbiológico dos alimentos de origem animal. 2006. 38 f. Monografia (Especialização em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária e Alimentos)-Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, 2006.

PRAKASH, A.; MANLEY, J.; COSTA, S.; CAPORASO, F.; FOLEY, D. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. **Rad. Physics and Chemistry**. Vol. 63, Issues 3- 6, March. P. 387 – 390. 2002.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RAO A.V, AGARWAL S. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. **J Am Coll Nutr.**;19(5):563-9. 2000

RAUPP, D. S.; GARDINGO, J. R.; SCHEBESKI, L. S.; AMADEU, C. A.; BORSATO, A. V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 2, p. 415-422, 2009.

RAMALHO, V.C.; JORGE, N. Atividade antioxidante do α - tocoferol e do extrato de alecrim em óleo de soja purificado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.65, n.1, p15-20, 2006b.

ROBERTS, P. B. Food Irradiation is Safe: Half a Century of Studies. Radiation Physics and Chemistry. **Radiation Physics and Chemistry**, 105 p. 78 – 82, 2014

RUSSO, A.; SANT'ANNA, M. **Uso racional da Vitamina C (Ácido Ascórbico)**. Cebrim Informa, 2013.

SABATO, S. F.; SILVA, J. M.; CRUZ, J. N.; BROISLER, P.O.; RELA, P. R.; SALMIERI, S.; LACROIX, M. Advances in commercial application of gamma radiation in tropical fruits in Brazil. **Rad. Chem.**; 2009.

SANTOS, G. H. F.; BORGES, E. ; MELO, A. M. M. A.; AMORIM, E. L.A C.; PEIXOTO SOBRINHO, T.J.S.; LIMA, C. S. A.. Influência da radiação gama na ação moluscicida de extratos de cajueiro em *Biomphalaria glabrata*. Scientia Plena, v. 9, p. 081012-1-0810012-10, 2013.

SANTOS, G.H.F., SILVA, E.B., SENA, K.X.F.R., SILVA, B.L., LIMA, C.S.A. The influence of ^{60}Co gamma radiation on the action of phenolic compounds of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan in the microbiological control of crude extracts. **International Journal Low Radiation**, v. 7, p. 223-235. 2003.

SEGRÈ, E.; Dos Raios X aos Quarks - Físicos Modernos e Suas Descobertas, Ed. UnB: Brasília, p. 20-21. 1980

SESSO HD, LIU S, GAZIANO JM, *et al.* Dietary lycopene, tomato-based food products and cardiovascular disease in women. *J Nutr.*;133(7):2336-41. 2003

SILVA CRM, NAVES MMV. Suplementação de vitaminas na prevenção de câncer. **Rev Nutr**; 14(2):135-43. 2009

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças, 2010

SILVA, S. I. Densidades populacionais e espaçamentos duplos de dois híbridos de tomate para processamento industrial no cerrado goiano. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás - Goiânia, 2014

STAHL W, SIES H. Carotenoids: occurrence, biochemical activities, and bioavailability. In: Packer L, Hiramatsu M, Yoshikawa T. Antioxidant food supplements in human health. **San Diego: Academic Press**; 2006

STAHL, W.; SIES, H. Antioxidant defense: vitamins E, C and carotenoids. *Diabetes*. v. 46, n. 2, p.14-8, 1999.

TAKEOKA GR, DAO L, FLESSA S, GILLESPIE DM, JEWELL WT, HUEBNER B, *et al.* Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. **J Agric Food Chem**; 49(8): 3713-7. 2001

THAYER, D.W.FOX J.B.,LAKRITZ. L. Effect of Ionizing Radiation on vitamins. In: THORNE, S. **Food irradiation**. London: Elsevier Applied Science, 1992.

TODORIKI, S.; BARI, L.; KITTA, K. OHBA, M.; ITO, Y.; TSUJIMOTO, Y.; KANAMORI, N.; YANO, E. MORIYAMA, T.; KAWAMURA, Y.; KWAMOTO, S. Effect of gamma-irradiation on the survival of *Listeria monocytogenes* and allergenicity of cherry tomatoes. **Rad. Phys. And Chem.** v.78, Issues 7-8, July-august, p. 619-621. 2009

TOLEDO, T. C. F. CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V. PIEDADE, S.M.S. Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tannin inhibition in soybean grains. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1653 – 1656. 2007

VENTURA, D.; RUFINO, J.; NUNES, C.; MENDES, N. UTILIZAÇÃO DA IRRADIAÇÃO NO TRATAMENTO DE ALIMENTOS - Processamento Geral De Alimentos – MÓDULO II. Escola Superior Agrária de Coimbra. Coimbra – 2010. Disponível em < http://www.esac.pt/noronha/pgs/0910/trabalho_mod2/irradiacao_grupo4_T2_word.pdf> Acesso em 17/09/2015

VIEITES, R.L. **Conservação pós-colheita do tomate através do uso da radiação gama, cera e saco de polietileno, armazenados em condições de refrigeração e ambiente.** 131f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998

VILAS BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B., MALUF, W. R.; CHITARRA, M. I. F. Modificações textuais de tomates heterozigotos no loco *Alcobaça*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V. 35, n. 7. p. 1447 – 1453. 2000

VILLAMOR, E. FAWZI W. W.; Effects of vitamin A supplementation on immune responses and correlation with clinical outcomes. **ClinMicrobiolRev** v. 11, n.3, 2005.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; MANCINI-FILHO, J.; DELINCEE, H.; GREINER, R. E. Effect irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. **Radiation Physics Chemistry**, v. 57, p. 289 – 293. 2000

VILLEGAS, M.A.; BECERRIL, A.E.R.; AGUILAR, M.A.C. Respuesta in vitro de três cultivares de fresa a niveles de NH₄ NO₃. In: CONGRESO NACIONAL DE FITOGENETICA, Chiapas. 1972

WALISZEWSKI KN, BLASCO G. [Nutraceutical properties of lycopene]. *Salud Publica Mex.*;52(3):254-65. 2010

YAMAGUCHI, M.; HOWARD, F. D.; LUH, B. S.; LEONARD, S. J. Effect of ripeness and harvest of fresh canning tomatoes. **Proc. Amer Soc. Hort. Sci.** v. 76, p. 565 – 566, 1960.

YEN, G.; CHEN, H. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.43, n.1, p.27-32, 2001.

YWASSAKI LA, CANNIATTI-BRAZACA SG. Ascorbic acid and pectin in different sizes and parts of citric fruits. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V. 31(2) p; 319–26. 2011

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. **Agronomía Tropical**, v. 46, n. 1, p. 61-72, 1996.

ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SARMENTO, S.B.S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.46-55, 2009.

ZHU, X.G.; LONG, S.P.; ORT, D.R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v.61, p. 235-261, 2010.

Capítulo 02

Influência da radiação gama na composição de licopeno e β -caroteno presentes em tomates *in natura* em dois estágios de maturação

2.1 Resumo

O tomate é uma hortaliça bastante utilizada nas mesas dos brasileiros, podendo ser consumida na forma *in natura* ou processada. Este fruto é altamente perecível, ou seja, do plantio até chegar à mesa dos consumidores apresenta grandes perdas. Diversos estudos emergem com o objetivo de estender o tempo de prateleira e evitar perdas durante o período de plantio, dentre estas técnicas destaca-se o emprego da irradiação de alimentos. Esta técnica é considerada versátil, segura, ambientalmente limpa e energeticamente eficiente. Assim, o presente estudo tem por finalidade avaliar a ação da radiação ionizante nas concentrações de licopeno e β -caroteno em tomates irradiados a 0,5 e 1,0 kGy em dois estágios de maturação e coloração, a saber, “verde” (cor verde) e “maduro” (cor vermelha). Pode-se constatar que a radiação ionizante provocou uma diminuição nos teores de licopeno e β -caroteno, tanto nos tomates na cor verde quanto vermelha, evidenciando ser esta uma técnica eficaz para aumentar o tempo de prateleira do tomate.

Palavras-chave: conservação, licopeno, β -caroteno

2.2 Abstract

The tomato is a vegetable widely used in the tables of Brazilians, can be consumed as fresh or processed. This fruit is highly perishable, that is, from planting to reach the table of consumers presents great losses. Several studies emerge for the purpose of extending shelf life and to avoid losses during the cultivation period, from among these techniques we highlight the use of food irradiation. This technique is considered versatile, safe, environmentally clean

and energy efficient. Thus, this study aims to assess the action of ionizing radiation in lycopene concentrations and β -carotene in tomatoes irradiated at 0.5 and 1.0 kGy in two stages of ripeness and coloring, namely "green" (color green) and "mature" (red). It can be seen that the ionizing radiation resulted in a decrease in lycopene content and β - carotene, both in the green tomatoes as red, thus demonstrating that is an effective technique to increase the shelf life of tomatoes.

Keywords: conservation, lycopene, β -carotene

2.3 Introdução

A irradiação de alimentos é uma técnica esta que consiste em utilizar a radiação ionizante para aumentar o tempo de prateleira de alimentos de origem vegetal, promovendo a inibição do brotamento e retardamento do processo de maturação, além de, uma forma geral para todos os alimentos, reduzir a proliferação de microrganismos patogênicos (POLIZEL, 2006). A técnica, é considerada versátil, segura, ambientalmente limpa e energeticamente eficiente, sendo autorizada por instituições como a Organização Mundial de Saúde (OMS), Food and Agricultural Organization (FAO), U.S.Food and Drugs Administration e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (BRIGIDE et al., 2006; SABATO *et al.*, 2009; CAMPOS, 2012).

Durante o processo de irradiação, o alimento processado não sofre nenhum tipo de contaminação radioativa, uma vez que é exposto à radiação sem que haja contato com a fonte radioativa. Porém, assim como em qualquer outro método de conservação, algumas características dos alimentos podem ser alteradas (POLIZEL, 2006).

Foi considerando essas alterações, que a ANVISA, através de sua RDC nº 21 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), estabeleceu que todo alimento que passe por processamento alimentar deverá ser avaliado quanto a alterações em suas características: físicas (peso, cor, odor, textura, sabor) e químicas (carboidratos, proteínas, lipídeos) e fitoquímicas (carotenóides, polifenóis, terpenoides, etc.).

A versatilidade da técnica permite que a mesma possa ser utilizada em alimentos de origem vegetal, a exemplo de hortaliças e frutas, as quais são facilmente perecíveis, necessitando de métodos de conservação que permitam um maior tempo de conservação, após a sua colheita. As perdas no pós-colheita, se dão, principalmente, devido às injúrias (mecânicas, patológicas e fisiológicas) que sofrem esses produtos (FAO, 2011). As consequências dessas perdas são o aumento dos preços dos produtos e prejuízos ao produtor, comerciante e, por fim, o consumidor.

Segundo relatório divulgado pela FAO, em 2013, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos foram desperdiçadas no mundo, o que equivale a um desperdício de 750 bilhões de dólares. No Brasil, segundo dados divulgados pela ONG Banco de Alimentos, cerca de 26,5 de toneladas de alimentos são desperdiçados. Destes, a maior perda, cerca de 11,92 milhões, são de hortifrúti, o que corresponde a 45% dos produtos desperdiçados. No Brasil, o desperdício de alimentos está presente em toda a cadeia produtiva, sendo que 10% ocorre no campo; 50% no manuseio e transporte; 30% comercialização e abastecimento e 10% varejo (supermercados) e consumidor final (CARVALHO, 2009).

Entre as hortaliças, pode-se citar o tomate, fruto do tomateiro, planta que pertence à ordem Tubiflorae e famíliaolanaceae, dicotiledônea, da espécie *Solanum lycopersicum*. O tomate é uma hortaliça muito utilizada nas mesas dos brasileiros, podendo ser consumida na forma *in natura*, em saladas e sanduíches, ou industrializada, nas formas de suco, molho, pasta, desidratado, doce dentre outros. Porém, esse fruto tem sido amplamente estudado, uma vez que contém diversos antioxidantes, como carotenoides, além de tocoferóis e flavonoides, todos com ação de prevenção de cânceres, tais como de pâncreas, cervical e próstata, e de outras doenças crônicas, além de proteger o organismo de infecções bacterianas, assim como de perturbações digestivas e pulmonares (CARIS-VEYRAT et al., 2004; FRUSCIANTE et al., 2007; LIU & WU, 2007; MATTEDI et al., 2007; FILGUEIRA, 2008).

Os carotenóides mais abundantes no tomate são o licopeno e o β -caroteno, responsáveis, respectivamente, pelas variações de coloração

vermelha e alaranjada, as quais representam diferentes fases de maturação do fruto (STAHL & SIES, 1999).

O presente trabalho pretende avaliar a ação da radiação ionizante nas concentrações de licopeno e β -caroteno em tomates irradiados em dois diferentes estágios de maturação e coloração, a saber, “verde” (cor verde) e “maduro” (cor vermelha).

2.4 Metodologia

Material vegetal: Os experimentos foram realizados utilizando tomates da cultivar Débora, estando nos estágios de coloração verde e vermelha, aproximadamente 3 dias após a colheita. As amostras foram adquiridas no Centro de abastecimento e logística de Pernambuco (CEASA), em Recife – PE, sendo considerados apenas tomates sem danos aparentes em sua superfície e que se enquadraram nos critérios de uniformidade de tamanho e coloração, ou seja, tomates de ± 30 g, e que se apresentavam nas colorações verde e vermelha.

Foram utilizados 144 tomates divididos em dois grupos um verde (72 tomates) e outro vermelho (72 tomates). Os dois grupos foram divididos em três subgrupos, um controle e dois a ser irradiados com dose de 0,5 kGy e 1,0 kGy. Os tomates foram irradiados com Gammacell ^{60}Co , modelo 220 Excel-MDS Nordion, com taxa de dose de 2,629 kGy/h, pertencente ao Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Após a irradiação, os tomates foram armazenados em geladeira, com temperatura de $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, seguindo a metodologia de Castricini et al., (2004), a qual permite ao fruto manter as suas características fisiológicas durante o período de estudo.

As análises para determinação das concentrações de licopeno e β -caroteno, iniciaram-se 24 horas após a exposição à radiação, sendo estas realizadas no laboratório de Química da Universidade Católica de Pernambuco

(UNICAP). As análises foram realizadas em triplicatas, sendo realizadas nos 1^o, 3^o, 5^o, 7^o, 9^o, 11^o, 13^o e 15^o dias após a exposição.

Procedimento para determinação de Licopeno e β -caroteno

Considerando que o tecido vegetal do tomate contém elevada porcentagem de água e que os carotenoides são lipossolúveis, foi utilizada a acetona como solvente extrator, visto que, esse é um solvente orgânico miscível em água.

Foram utilizados 3 (três) tomates para as determinações das concentrações de licopeno e β -caroteno, para cada dia de avaliação e para cada estágio de amadurecimento. O procedimento de determinação das concentrações destes compostos seguiu a metodologia proposta por Rodriguez e Amaya (2004).

Inicialmente, os tomates, previamente higienizados, foram homogeneizados em liquidificador, obtendo-se uma formação pastosa. Dessa massa homogeneizada, foi retirada uma alíquota de 08 gramas, a qual foi acondicionada em um Becker, onde foram adicionados 40 mL de acetona. A solução obtida (acetona + tomate) foi transferida para um liquidificador e novamente homogeneizada por três minutos. Em seguida, a segunda solução homogeneizada passou por uma filtragem a vácuo, em filtro de papel Whatmann número 4, com o auxílio de um kitassato protegido com papel alumínio, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. Após a filtragem, o filtrado obtido foi transferido para um balão volumétrico, tomando-se o cuidado de promover a lavagem das paredes do kitassato com 50 mL de acetona, para o aproveitamento de todo o material. Ao conteúdo do balão volumétrico, foram adicionados 45 mL de hexano e esperou-se cerca de 20 minutos para que ocorresse a separação entre as fases acetona e hexano.

Após a separação, foi realizada a lavagem da solução, para a retirada da acetona, com 100 mL de água destilada. Em seguida, a solução obtida,

contendo hexano-pigmentos foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, sendo completando o seu volume com hexano.

Após a sua obtenção, alíquotas de 3 mL da solução hexano-pigmento foram levadas ao espectrofotômetro, modelo CINTRA 10 UV – Visible Spectrometer, para leitura das absorbâncias, em dois comprimentos de onda: (i) 503 nm (máximo de absorção para licopeno) e 451 nm (máximo de absorção para β -caroteno e próximo ao mínimo para licopeno).

Os valores de concentração de licopeno e β -caroteno foram obtidos a partir das equações (01) e (02) (Rodriguez e Amaya, 2004):

$$C_{\text{licopeno}} = 3,956 \times A_{451} - 0,805 \times A_{503} \quad (01)$$

$$C_{\beta\text{-caroteno}} = 4,624 \times A_{451} - 3,091 \times A_{503} \quad (02)$$

Onde

- C corresponde às concentrações de licopeno (C_{licopeno}) e β -caroteno ($C_{\beta\text{-caroteno}}$), em micro grama por grama de tomate e;
- A corresponde às absorbâncias para o licopeno (A_{503}) e β -caroteno (A_{451}).

Análise estatística

Para comparação entre as médias dos teores de licopeno e β -caroteno, antes e após a irradiação, e durante o período de observação, foi utilizado o teste de múltiplas comparações de Duncan, em um nível de significância de 5%.

Também foi utilizada a técnica estatística de análise multivariada denominada Análise de Componentes Principais (ACP), para avaliar qual ou quais entre as doses aplicadas e o tempo de observação teve maior influência nos teores de licopeno e β -caroteno para os tomates verdes e vermelhos.

A ACP é uma técnica da estatística multivariada que tem a finalidade de transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Esses componentes principais têm propriedades importantes, tais como: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A ACP tem como objetivo reduzir a massa de dados, com menor perda possível de informação (Varella, 2008).

2.5 Resultados e Discussão

Na Tabela 01 são apresentados os valores dos teores de licopeno obtidos a partir de amostras de tomates de cores verde e vermelha, antes e após a exposição às doses 0,5 e 1,0 kGy de radiação. Percebe-se que a radiação provocou uma diminuição nos teores de licopeno, tanto para os tomates verdes quanto os vermelhos, sendo essas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%.

É possível observar que, independentemente do tratamento aplicado, os teores de licopeno foram aumentando no decorrer do período de observação, sendo as diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%. Tanto os tomates de coloração verde quanto os de coloração vermelha alcançaram os maiores teores de licopeno no 15º dia de armazenamento, porém, todos os valores de licopeno diferiram significativamente entre si em todos os dias de observação ($p < 0,05$). Resultados semelhantes foram obtidos por Villegas *et al.* (1972).

Tabela 1: Valores de licopeno em tomates verdes e maduros durante 15 dias de armazenamento, sob refrigeração, em três diferentes tratamentos (não irradiados e irradiados a 0,5 e 1,0 kGy).

Dia de avaliação	TOMATES VERDES			TOMATES VERMELHOS		
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy
1	0,191 ^{Bh} ± 0.003	0,219 ^{Ag} ± 0.002	0,044 ^{Cf} ± 0.007	1,104 ^{Ah} ± 0.002	0,156 ^{Ch} ± 0.005	0,408 ^{Bh} ± 0.001
3	0,965 ^{Af} ± 0.003	0,413 ^{Bc} ± 0.003	0,108 ^{Ce} ± 0.002	2,947 ^{Af} ± 0.002	0,924 ^{Bf} ± 0.002	0,687 ^{Cg} ± 0.002
5	0,788 ^{Ag} ± 0.001	0,261 ^{Bf} ± 0.001	0,109 ^{Ce} ± 0.001	2,261 ^{Ag} ± 0.001	0,811 ^{Cg} ± 0.002	1,489 ^{Be} ± 0.001
7	1,464 ^{Ae} ± 0.001	0,265 ^{Cf} ± 0.002	0,284 ^{Bc} ± 0.001	5,196 ^{Ae} ± 0.002	1,204 ^{Ce} ± 0.001	1,475 ^{Bf} ± 0.001
9	1,964 ^{Ad} ± 0.003	0,289 ^{Be} ± 0.002	0,273 ^{Cd} ± 0.001	5,584 ^{Ad} ± 0.001	1,213 ^{Cd} ± 0.002	1,501 ^{Bd} ± 0.002
11	2,534 ^{Ac} ± 0.002	0,315 ^{Bd} ± 0.001	0,318 ^{Bb} ± 0.002	7,356 ^{Ac} ± 0.002	1,435 ^{Cc} ± 0.002	1,541 ^{Bc} ± 0.001
13	3,031 ^{Ab} ± 0.003	0,480 ^{Bb} ± 0.001	0,403 ^{Ca} ± 0.002	8,488 ^{Ab} ± 0.001	1,635 ^{Cb} ± 0.001	1,685 ^{Bb} ± 0.002
15	3,688 ^{Aa} ± 0.001	0,503 ^{Ba} ± 0.002	0,285 ^{Cc} ± 0.002	10,317 ^{Aa} ± 0.015	1,937 ^{Ba} ± 0.003	1,803 ^{Ca} ± 0.002

Letras maiúsculas (^{ABC}) diferentes na horizontal do tomate na mesma coloração e diferentes tratamentos diferem entre si; e letras minúsculas (^{abc}) diferentes na vertical na mesma coloração e tratamento, diferem entre si. As análises foram realizadas utilizando teste estatístico de Duncan, ao nível de 5% de significância.

De forma geral, ocorre uma diminuição dos teores de licopeno com a exposição à radiação, o que é comprovado estatisticamente ao nível de 5% (Tabela 03). As variações das diminuições dos teores de licopeno foram bastante expressivas após a exposição à radiação, no decorrer do período de armazenamento, sendo elas:

- (i) Tomates verdes, irradiados a 0,5 kGy: variação de 0% a 99,9 %, em comparação ao controle. Para esta dose, a radiação ionizante na dose de 0,5 kGy inibiu aproximadamente 67% do teor de licopeno até o quinto dia. A partir disso, a inibição foi quase total, chegando a 99,9 %.
- (ii) Tomates verdes, irradiados a 1,0 kGy: variação de 77% a 99,99% Para 1,0 kGy, o comportamento se repetiu, porém, as perdas nos primeiros 5 dias foram mais acentuadas, variando de 77 % a 86 %.
- (iii) Tomates vermelhos, irradiados a 0,5 kGy: variação de 76,83% a 99,98%. Para esta dose, a redução foi quase total nos primeiros cinco dias. Porém, houve uma tendência a aumentar a produção de licopeno a partir do sétimo dia.
- (iv) Tomates vermelhos irradiados a 1,0 kGy: variação de 34,14% a 99,98%. Para esta dose, a redução foi quase total nos primeiros três dias. Porém, houve uma tendência a aumentar a produção de licopeno a partir do quinto dia.

As reduções observadas podem indicar uma provável inibição da síntese desse composto ou a oxidação devido à irradiação (Lima *et al.*, 2004). Como o aumento do teor de licopeno está relacionado ao amadurecimento do tomate, inibir a sua síntese implicará no aumento do tempo de prateleira do fruto. O amadurecimento do tomate inicia-se com o processo de decomposição da clorofila por meio de alterações químicas, e enzimáticas, sendo que inicialmente esse processo de degradação é iniciado por fatores externos. Segundo Heaton e Marangoni (1996) estes fatores são estresse hídrico,

luminosidade, alterações térmicas, níveis aumentados de etileno ou a combinação destes fatores.

Em seguida inicia-se a decomposição da clorofila inicialmente ocorre à quebra da oxigenolítica do macrocicloporfirínico do feoforbídeo seguido por uma redução na intensidade fluorescente do catabólito da clorofila. Este processo ocorre devido à atuação da enzima a oxigenasse que é encontrada apenas durante a senescência e da enzima redutase a qual sua via depende da ferrodopina. A oxigenasse atua na degradação da clorofila, em quanto que os níveis de carotenóides em células de folhas e frutas mantem-se relativamente constantes até o início dessorocência. Quando a quantidade de clorofila começa a diminuir, as outras cores começam a sobressair (PRUZINSKÁ et al., 2003).

A clorofila ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) difere do Licopeno quanto a sua estrutura molecular compostas por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e magnésio, em quanto que já o licopeno é um hidrocarboneto que quando comparado com os demais carotenóides, é o que mais se destaca por possuir uma maior capacidade sequestrante do oxigênio singlete, por apresentar onze duplas ligações conjugadas e duas não conjugadas, proporcionado a essa molécula lipossolúvel uma maior reatividade (ANGUELOVA & WARTHESEN, 2000).

De acordo com Ribeiro e Seravalli, (2004), o efeito da luz, da temperatura e da oxidação têm papel importante na degradação de carotenóides. Durante a exposição à radiação, pode ocorrer o aumento da temperatura, além do que, ao interagir com o meio a radiação produz radicais livres que promovem a oxidação do material. Portanto, a radiação pode está provocando a degradação dos carotenóides presentes nos tomates irradiados, o que pode explicar a diminuição dos teores de licopeno nas amostras irradiadas observados no presente trabalho (Tabela 03).

Segundo Coseteng e Lee (1987), após irradiado, a taxa de respiração de todos os frutos aumentou cerca de duas vezes, enquanto que a taxa de produção de etileno foi quase metade do observado durante o amadurecimento

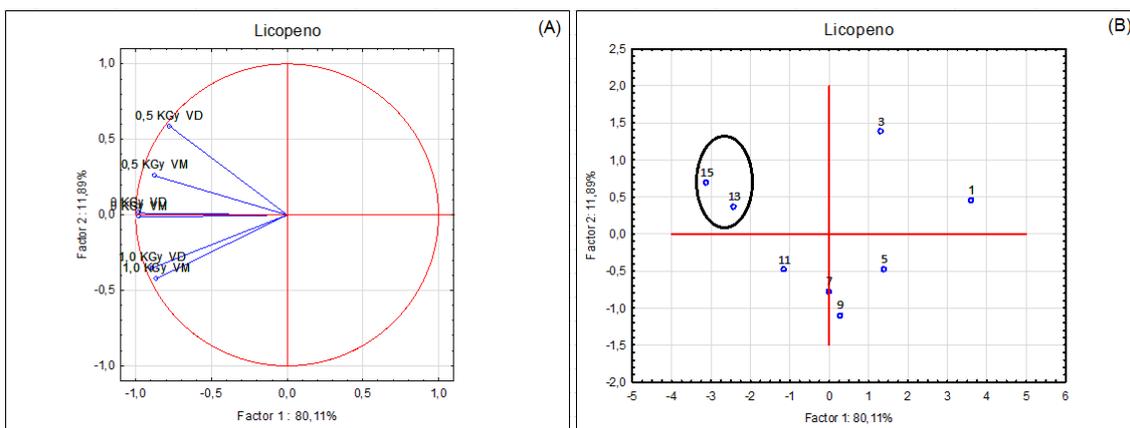
de tomates não irradiados. Villegas *et al.* (1972) afirmam que a radiação geralmente retarda o processo de carotenogênese, sendo esse efeito mais acentuado em altas doses de radiação e em frutos menos maduros. Isto está de acordo com o observado no presente trabalho, onde é possível observar (Tabela 1) que os teores de licopeno para os tomates na cor verde são menores que aqueles na cor vermelha e que os teores de licopeno na dose de 1,0 kGy, comparados com o controle, foram sensivelmente menores para os tomates verdes.

Damayanti, *et al.*, (1992) ao estudarem abacaxis do cultivar ‘Queen’ submetidos a dose que variaram de 0,05 kGy a 0,25 kGy mantidos a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C}\pm 3$ obtiveram resultado semelhante ao apresentado neste trabalho, os quais divulgaram que a radiação gama foi eficaz para prolongar o período de conservação do pós- colheita. Neves *et al.*, (2002) com o objetivo de avaliar o comportamento da radiação gama, na conservação pós-colheita da nectarina cv. ‘Sunred’ um tipo de pêsego de origem Chinesa submetem o fruto a doses de 0,2 kGy, 0,4 kGy, 0,6 kGy e 0,8 kGy os quais foram armazenados em câmara fria com temperaturas de 0°C . Os autores observaram que os frutos irradiados estenderam o tempo de prateleira e que após 28 dias de armazenamento os frutos submetidos à dose de 0,4 kGy apresentaram o melhor aspecto visual, as menores perdas de massa fresca, e a maior firmeza de polpa.

A ACP permitiu avaliar como as doses de radiação e o período de observação influenciara nos teores de licopeno. Os resultados estão apresentados na Figura 01 o qual é possível observar os comportamentos das doses de radiação. A figura indica que tanto o controle quanto as doses de radiação tiveram importâncias semelhantes para a composição da variância (Fator 1: 80,11%) nas determinações dos teores de licopeno dos tomates verdes e vermelhos. As retas que representam as doses se aproximam da linha que representa o círculo unitário, o qual delimita as variáveis mais representativas do fator. Os posicionamentos das retas de 0,5 e 1,0 kGy para os tomates verdes e vermelhos (Figura 1A), indicam que as diminuições dos teores de licopeno foram proporcionais entre as doses, sendo a dose de 0,5 kGy para os tomates verdes, e a dose de 1,0 kGy, para os tomates vermelhos,

as que apresentaram as menores cargas fatoriais, ou seja, afetam menos os teores de licopeno.

Figura 1 (A) Influência da dose de radiação e do (B) dia de avaliação sobre os teores de licopeno para os tomates verdes e vermelhos, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VD referem-se aos tomates verdes e VM aos tomates vermelhos.



Na Figura 1B, o posicionamento dos pontos referentes aos 13^o e 15^o dias de observação, os quais se encontram mais distantes do 0 da linha vertical referente ao Fator 1, indicam que as concentrações de licopeno foram os mais representativos para formação da componente maior nestes dias, independente da dose, tanto para os tomates verdes quanto vermelhos.

Na Tabela 02 são apresentados os valores dos teores de β -caroteno obtidos a partir de amostras de tomates de cores verde e vermelha, antes e após a exposição às doses 0,5 e 1,0 kGy de radiação. Percebe-se que a radiação provocou uma diminuição nos teores de β -caroteno, tanto para os tomates verdes quanto para os vermelhos, sendo essas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%.

Tabela 2: Valores de β - caroteno em tomates verdes e maduros durante 15 dias de armazenamento sob refrigeração em três diferentes tratamentos (não irradiados e irradiados a 0,5 kGy e 1,0 kGy).

Dia de avaliação	TOMATES VERDES			TOMATES VERMELHOS		
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy
1	0,242 ^{Ah} ± 0.0006	0,042 ^{Bh} ± 0.0006	0,032 ^{Ch} ± 0.0006	1,242 ^{Ag} ± 0.0598	0,590 ^{Bg} ± 0.0021	1,308 ^{Ac} ± 0.0006
3	0,998 ^{Af} ± 0.0017	0,256 ^{Be} ± 0.0011	0,088 ^{Cg} ± 0.0017	3,327 ^{Af} ± 0.0012	0,804 ^{Bf} ± 0.0001	1,419 ^{Ba} ± 0.0017
5	0,803 ^{Ag} ± 0.0001	0,192 ^{Bg} ± 0.0015	0,130 ^{Cf} ± 0.0010	4,682 ^{Ah} ± 0.0015	0,368 ^{Bh} ± 0.0006	1,224 ^{Cf} ± 0.0010
7	1,353 ^{Ae} ± 0.0015	0,203 ^{Bf} ± 0.0020	0,211 ^{Cd} ± 0.0021	5,784 ^{Ae} ± 0.0006	0,878 ^{Be} ± 0.0017	1,218 ^{Ce} ± 0.0001
9	1,551 ^{Ad} ± 0.0036	0,293 ^{Bd} ± 0.0017	0,174 ^{Ce} ± 0.0001	6,312 ^{Ad} ± 0.0010	0,935 ^{Bd} ± 0.0010	1,254 ^{Cd} ± 0.0015
11	1,745 ^{Ac} ± 0.0015	0,327 ^{Bc} ± 0.0006	1,130 ^{Cc} ± 0.0017	7,502 ^{Ac} ± 0.0010	1,045 ^{Bc} ± 0.0006	1,305 ^{Cc} ± 0.0026
13	2,016 ^{Ab} ± 0.0010	0,471 ^{Bb} ± 0.0010	1,536 ^{Cb} ± 0.0006	8,138 ^{Ab} ± 0.0006	1,132 ^{Bb} ± 0.0010	1,317 ^{Cc} ± 0.0006
15	2,452 ^{Aa} ± 0.0006	0,602 ^{Ba} ± 0.0020	1,853 ^{Ca} ± 0.0010	9,271 ^{Aa} ± 0.0015	1,316 ^{Ba} ± 0.0025	1,345 ^{Cb} ± 0.0015

Letras maiúsculas (^{ABC}) diferentes na horizontal na mesma coloração e diferentes tratamentos diferem entre si; e letras minúsculas (^{abc}) diferentes na vertical na mesma coloração e tratamento, diferem entre si. As análises foram realizadas utilizando teste estatístico de Duncan, ao nível de 5% de significância.

Assim como ocorreu para o licopeno, é possível observar que, independentemente do tratamento aplicado, os teores de β -caroteno foram aumentando no decorrer do período de observação, sendo as diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5%. Tanto os tomates de coloração verde quanto os de coloração vermelha alcançaram os maiores teores de β -caroteno no 15º dia de armazenamento, porém, todos os valores de β -caroteno diferiram significativamente entre si em todos os dias de observação ($p < 0,05$), com exceção dos tomates vermelhos irradiados a 1,0 kGy os quais apresentaram teores semelhantes de β -caroteno no 1º, 11º e 13º dias de armazenamento.

Villegas *et al.* (1972) observaram que as maiores alterações nos teores de β -caroteno ocorreram para as maiores doses. Porém, no presente trabalho, observa-se a dose de 0,5 kGy promove uma diminuição desses teores, mas a dose de 1,0 kGy promoveu até uma maior produção de β -caroteno (após a diminuição inicial com 0,5 kGy), principalmente nos 5 últimos dias de armazenamento para os tomates verdes e desde o primeiro dia de observação para os tomates vermelhos, o que sugere que esta dose seria mais eficiente em conservar os tomates vermelhos após a colheita, uma vez que diminui mais acentuadamente os teores de licopeno e menos acentuadamente os teores de β -caroteno.

De forma geral, ocorre uma diminuição dos teores de β – caroteno com a exposição à radiação, o que é comprovado estatisticamente ao nível de 5% (Tabela 02). As variações das diminuições dos teores de β -caroteno foram bastante expressivas após a exposição à radiação, no decorrer do período de armazenamento, sendo elas:

- (i) Tomates verdes, irradiados a 0,5 kGy: variação de 74,3% a 99,9%, em comparação ao controle. Para esta dose, a radiação ionizante inibiu entre 74,3 % a 82,6 % do teor de β -caroteno até o quinto dia. A partir daí os tomates indicaram uma inibição na produção desse composto.
- (ii) Tomates verdes, irradiados a 1,0 kGy: variação de 24,4% a 99,9%. Para esta dose, a inibição da produção de β -caroteno foi

mais acentuada até o nono dia. A partir daí os tomates começaram a produzir β -caroteno.

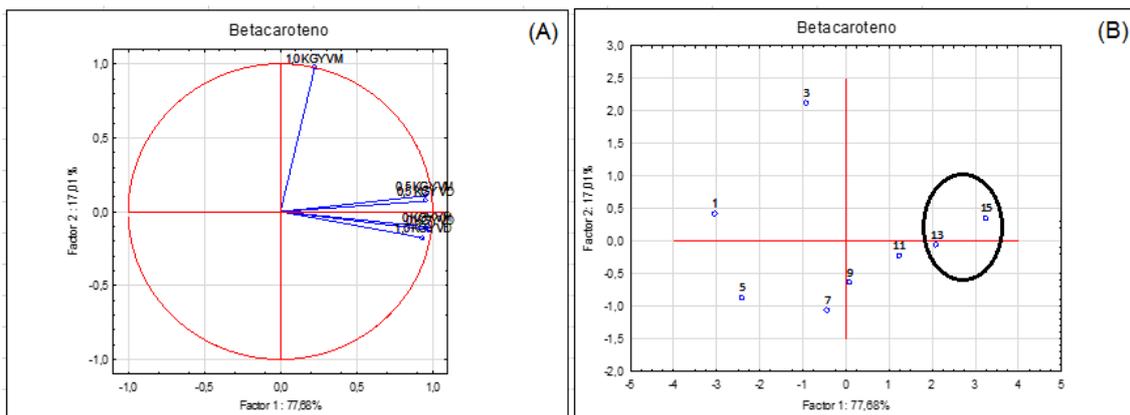
- (iii) Tomates vermelhos, irradiados a 0,5 kGy: variação de 85,8% a 99,9%. Para esta dose, a inibição da produção de β -caroteno foi quase total até o nono dia, e a partir daí percebe-se uma tendência à produção desse composto.
- (iv) Tomates vermelhos irradiados a 1,0 kGy: variação de 0% a 85,5%. Para esta dose, não houve inibição na produção de β -caroteno no primeiro dia de observação. A partir do terceiro dia, a inibição foi de 57 % e foi aumentando até atingir 85,5 % no último dia de observação.

Lima et al. (2011), avaliaram os teores de carotenóides e ácido ascórbico em frutos irradiados, com doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy e constataram com os seus resultados que a dose de 1,0 kGy apresentou uma redução nos teores de β – caroteno. Taipina e Mastro (2003), ao estudarem a influencia da radiação gama sobre os teores de Vitamina A e de β – caroteno alimentos de origem animal comercializados, sendo este o fígado bovino especificamente fresco e carne de porco do tipo “*pâté de foie*”, foram constatados que para essas amostras existiu uma retenção completa no teor destes compostos para dose de 3 kGy e que houve uma perda de cerca de 60% β – caroteno quando a dose foi de 30 kGy.

Na Figura 2 são apresentados os resultados da ACP a qual permitiu avaliar como as doses de radiação e o período de observação influenciaram nos teores de β -caroteno. A partir da Figura 2A, é possível observar os comportamentos das doses de radiação. As figuras indicam que tanto o controle quanto as doses de radiação tiveram importâncias semelhantes para a composição da variância (Fator 1: 77,66%) nas determinações dos teores de β -caroteno dos tomates verdes e vermelhos. As retas que representam as doses se aproximam da linha que representa o círculo unitário, o qual delimita as variáveis mais representativas do fator. Os posicionamentos das retas de 0,5 e 1,0 kGy para os tomates verdes e vermelhos (Figura 2A), indicam que a dose

de 1,0 kGy para os tomates vermelhos, apresentou a menor carga fatorial, ou seja, afetou menos os teores de β -caroteno para esses tomates.

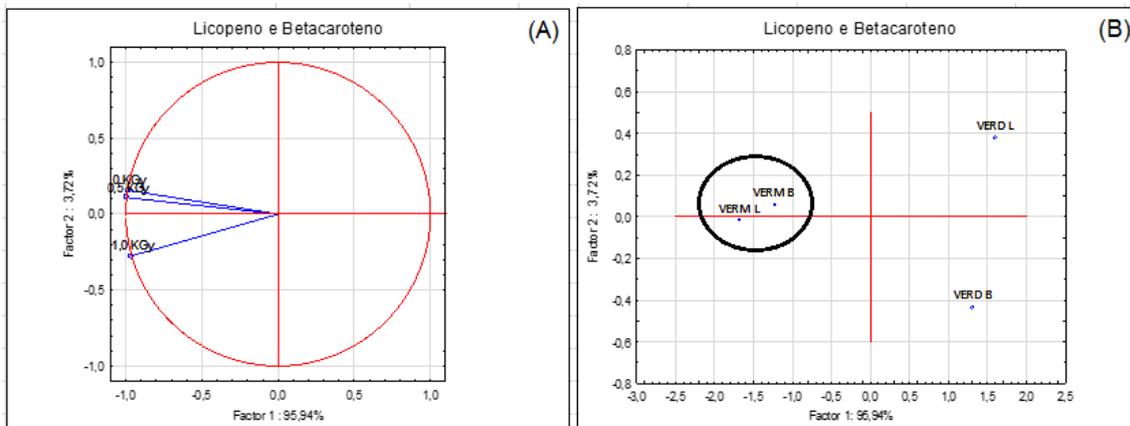
Figura 2: (A) Influência da dose de radiação e do (B) dia de avaliação sobre os teores de β -caroteno para os tomates verdes e vermelhos, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VD referem-se aos tomates verdes e VM aos tomates vermelhos.



Na Figura 2B, o posicionamento dos pontos referentes aos 13^o e 15^o dias de observação, os quais se encontram mais distantes do 0 da linha vertical referente ao Fator 1, indicam que as concentrações de β -caroteno foram maiores nestes dias, independente da dose, tanto para os tomates verdes quanto vermelhos.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da ACP a qual permitiu avaliar quem, entre os teores de licopeno e β – caroteno foi mais influenciado pelas doses de radiação. Como discutido acima, observa-se que o controle e as doses tiveram igual importância na composição das variâncias dos fatores analisados. Porém, fica mais evidente que os tomates vermelhos foram os mais afetados pela radiação com relação às variações dos teores de β -caroteno e de licopeno (Figura 3B).

Figura 3: (A) Influência da dose de radiação nos teores de licopeno e β – caroteno e (B) tomates mais afetados pela dose de radiação, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP). VERD L e VERD B e VERM L e VERM B, referem-se às determinações de licopeno e β - caroteno



Os resultados evidenciam que as doses de radiação provocaram a inibição do licopeno e β – caroteno nos tomates, porém agiu de forma diferente entre os tomates verdes e vermelhos. Na dose de 0,5 kGy os tomates verdes sofreram uma diminuição menos intensa de licopeno até o quinto dia, a partir daí a inibição foi quase total, chegando a 99,9%. Já para os tomates vermelhos, o licopeno foi imediatamente inibido e passou a ser produzido a partir do quinto dia de armazenamento, porém em baixas quantidades. Esta inibição dos teores de licopeno e β – caroteno possivelmente estão associados ao fato de que a radiação está inibindo o processo de amadurecimento do fruto, ou seja, estendo o tempo de prateleira, que do ponto de vista econômico é viável para evitar, por exemplo, perdas durante o transporte.

Já para o β - caroteno, na dose de 0,5 kGy, os resultados evidenciaram que a radiação promoveu a inibição desse composto nos tomates verdes até o quinto dia, mas essa inibição tornou-se quase total a partir do sétimo dia. Para os tomates vermelhos, foi observado uma inibição quase total até o nono dia, e, a partir daí observou-se uma tendência à produção desse composto, porém em baixas concentrações.

Na dose de 1,0 kGy, os tomates verdes sofreram uma inibição mais intensa que a provocada pela dose de 0,5 kGy nos teores de licopeno até o

quinto dia. A partir daí a inibição foi quase total, chegando a 99,9%. Já para os tomates vermelhos, o licopeno foi imediatamente inibido até os três primeiros dias de armazenamento, mas passou a ser produzido a partir do quinto dia de armazenamento, porém em baixas concentrações.

Já para o β -caroteno, na dose de 1,0kGy, os resultados evidenciaram que a radiação promoveu a inibição desse composto nos tomates verdes até o nono dia, mas não evitou que o mesmo passasse a ser produzido em quantidades significativas a partir do décimo primeiro dia. Para os tomates vermelhos, observou-se que não houve alteração nos teores de β -caroteno no primeiro dia de avaliação. Porém, esses teores foram diminuindo progressivamente, chegando a 85,5% no décimo quinto dia de armazenamento.

Vale salientar como destaca Von Elbe (2000) que o pH interfere na decomposição. Quando se tem o pH básico (9,0), a clorofila se torna mais estável ao calor, quando comparada ao pH ácido (3,0). Como os carotenóides acumulam-se em cloroplastos de todas as plantas verdes, quando a molécula de clorofila se quebra dá origem ao β -caroteno e ao licopeno, os quais permitem que o tomate adquira as cores laranja e vermelha, referentes aos tomates em amadurecimento e maduro, respectivamente.

Ao analisar a concentração de β – caroteno em tangerina e abacaxi após estes receberem uma dose de 2,45 kGy Who (1994) observou que estes não apresentaram alteração significativas em seus teores. Kilcast (1992) observou que a exposição de mangas a uma radiação de 2,0 kGy não promoveu alterações na concentração de β -caroteno, enquanto que Cia et al. (2000) recomendam doses de radiações gama entre 0,5 e 2 kGy, no controle de *Botritis cinerea*, em uva 'Itália'.

Em estudo com abacates do cultivar 'Fortuna', submetidos a doses de radiação gama possibilitou a Germano et al. (1996), constarem que a dose de 0,08 kGy e a de 0,1 kGy promovem um aumento no período de armazenamento sob refrigeração. As amostras de abacates controle se

mantiveram firmes por sete dias em quanto que os irradiados obtiveram quatro e oito dias a mais respectivamente para cada dose.

2.6 Conclusão

A radiação ionizante provocou uma diminuição nos teores de licopeno e β -caroteno, tanto nos tomates na cor verde quanto vermelha. No entanto, análise multivariada de Componentes Principais (ACP) mostrou que os tomates que mais sofreram influência da radiação foram os tomates verdes, sendo a dose de 1 kGy a mais efetiva na conservação dos tomates. A ACP também mostrou que o tempo teve maior influência na composição dos fatores analisados.

2.7 Referencias

ANGUELOVA T. Y WARTHESEN J.. Lycopene Stability in Tomato Powders. **Journal of Food Science** Vol. 65. No. 1 pp. 67 – 70. 2000

BRASIL. Perspectivas para a agropecuária, V. 2 Brasília 2001. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf> Acesso em 08/03/2016

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Antinutrients and “in vitro” availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Chemistry**. v. 98, p. 85–89, 2006.

CAMPOS, S. – Radiação / Ambiente 2012 - Acessado em 14 – março-2016, em: <http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/258>. 2012

CARIS-VEYRAT C, AMIOT MJ, TYSSANDIER V, GRASSELLY D, BURET M, MIKOLJOZAK M, GUILLAND JC, BOUTELOUP-DEMANGE C, BOREL P. Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans. **J Agric Food Chem**. 2004

CARVALHO, D., Desperdício- Custo para todos - Alimentos apodrecem enquanto milhões de pessoas passam fome. IPEA - **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. nº 6 . Edição 54. 2009

CASTRICINI, A.; MEDEIROS, S.F.; CONEGLIAN, R.C.C.; VITAL, H.C. Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa ((*Lycopersicum esculentum* Mill) em estágio maduro. **Rev. Univ. Rural.**, v. 24, n. 1, jan.- jun., p. 85-91, 2004.

CIA, P.; BENATO, E.A.; ANJOS, V.D.A.; VIEITES, R.L. Efeito da irradiação na conservação de uva 'Itália'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n. esp. p.62-67, 2000.

COSETENG, M. Y.; LEE, C. Y. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. **Journal of Food Science**, New York, v.52, n.4, p.985-989, 1987.

DAMAYANTI, M.; SHARMA, G.J., KUNDU, S. C. Gamma radiation influences postharvest disease incidence of pineapple fruits. **HortScience**, Alexandria, v.27, n.7, p.807-808, 1992.

FAO - FOOD IRRADIATION A **Guidebook**: agricultural service division. 2 ed., Rome Italy: FAO, Technomic Publishing. 232p. 2013

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Food Losses and Food Waste. **Study conducted for the international Congress-Interpack**, Germany, 2011

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008.

FRUSCIANTE L, CARLI P, ERCOLANO MR, PERNICE R, DI MATTEO A, FOGLIANO V, PELLEGRINI N. Antioxidant nutritional quality of tomato. **Mol Nutr Food Res**. 2007.

GERNANO, R.M.de A.; ARTHUR, V.; WIENDL, F.M. Conservação póscolheita de abacates Pérsia americana MILL., variedade Fortuna e Quintal, por irradiação. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 2/3, n. 53, p.249-53, 1996.

HEATON, J.W. et al. Kinetic model for chlorophyll degradation in green tissue. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v.44, p.399-402, 1996.

- KILCAST, D. Effect of Irradiation on Vitamins UK.Pat.KT227RY. **LEATHERHEAD FOOD RESEARCH ASSOCIATION**. Nov. 24, 1992.
- KRINSKY, N.I. The biological properties of carotenoids. International Union of Pure and Applied Chemistry, Genebra, v. 66, n. 5, p. 1003-1010, Jan. 1994.
- LIMA, K.S.C.; LIMA, A.L.S.; FREITAS, L.C.; Della-Modesta, R.C.; Godoy, R.L. O Efeito de Baixas Doses de Irradiação nos Carotenóides Majoritários em Cenouras Prontas para o Consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2): 183-193. 2004
- LIMA, K.S.C.; LIMA, A.L.S.; FREITAS, L.C.; DELLA-MODESTA, R.C.; GODOY, R.L. O Efeito de Baixas Doses de Irradiação nos Carotenóides Majoritários em Cenouras Prontas para o Consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2): 183-193. 2011.
- LIU, Y. S.; WU, J. Y. Optimization of cell growth and carotenoid production of *Xanthophyllomyces dendrorhous* thorough statistical experiment desing. **Biocgemical Engineering Journal**, v. 36, p. 182 – 189, 2007
- MATTEDI, A. P.; SOARES, B. O.; ALMEIDA, V.S.; GRIGOLLI, J. F. J.; SILVA, L. J. da; SILVA, D. J. H. da. In: SILVA, D. J. H. da; VALE, F. X. R. de. Tomate: tecnologia de produção. Viçosa: UFV, 2007.
- NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES, R. L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina frigoconservada. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 3, p. 676-679, Dezembro 2002
- POLIZEL G. G. O uso da radiação no controle microbiológico dos alimentos de origem animal. 2006. 38 f. Monografia (Especialização em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária e Alimentos)- Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, 2006.
- PRUZINSKA, A. et al. Chlorophyll breakdown: Pheophorbide a oxygenase is a rieke-type iron- sulfur protein, encoded by the accelerated cell death I gene. **Plant Biology**, v.100, n.25, december, 2003.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 1ª edição, Instituto Mauá de Tecnologia, Editora: Edgard Blücher Ltda, São Paulo, p. 155-157, 2004

SABATO, S. F.; SILVA, J. M.; CRUZ, J. N.; BROISLER, P.O.; RELA, P. R.; SALMIERI, S.; LACROIX, M. Advances in commercial application of gamma radiation in tropical fruits ar Brazil. **Rad. Chem.**; 2009.

STAHL W, SIES H. Carotenoids: occurrence, biochemical activities, and bioavailability. In: Packer L, Hiramatsu M, Yoshikawa T. Antioxidant food supplements in human health. San Diego: Academic Press; p.183-98. 1999.

TAIPINA, M. S.; MASTRO, N. L.; Radiation effects on vitamin A and β -carotene contents in liver products. **NUKLEONIKA**, São Paulo, 2003.

VILLEGAS, M.A.; BECERRIL, A.E.R.; AGUILAR, M.A.C. Respuesta in vitro de três cultivares de fresa a niveles de NH₄ NO₃. In: CONGRESO NACIONAL DE FITOGENETICA, 1972

VARELLA, C. A. A. Análise de componentes principais. 2008. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/it.htm>>. Acesso em: 18/05/ 2016.

VON ELBE J.H. Colorantes. In: FENNEMA, O.W. Química de los alimentos. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin – Madison. Cap.10, p.782-799. 2000.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva: WHO, p. 140-141. 1994.

Capítulo 03

Influência da radiação gama na composição química e físico-química de tomate (*Solanum lycopersicum*) *in natura*

3.1 Resumo

A técnica de irradiação de alimentos apresenta-se como uma alternativa eficaz para conservação, durante a exposição o alimento não sofre nenhum tipo de contaminação radioativa, uma vez que é exposto à radiação sem que haja contato com a fonte radioativa. Porém, assim como em qualquer outro método de conservação, algumas características dos alimentos podem ser alteradas. Dentre os diversos alimentos que podem ser objetivo de estudo para analisar os efeitos da radiação gama, por exemplo, sobre o alimento destaca-se o tomate. O tomate (*Lycopersicon esculentum*) é um fruto rico em carotenóides, tocoferóis e flavonóides, poderosos antioxidantes que desempenham importantes funções para a saúde. Dentre os carotenóides encontra-se no tomate com maior abundância o licopeno e o β - caroteno, responsáveis, respectivamente, pelas variações de coloração vermelha e alaranjada. O presente estudo tem por finalidade avaliar a influência da radiação gama sobre os teores de licopeno, β – caroteno, Vitamina C, pH, acidez titulável, *salmonela* e *coliformes fecais*, em tomates de coloração vermelha em estado *in natura*. Pode-se constatar que a radiação gama promoveu a redução dos teores de licopeno, β -caroteno. Houve um aumento de pH e da acidez titulável, porém observou-se uma redução significativa da concentração da vitamina C principalmente na dose de 1,0 kGy. constatou-se a inibição de *salmonela* e *coliformes fecais*, para as amostras que foram mantidas sob refrigeração. Pode-se concluir que a técnica da radiação ionizante foi eficiente para aumento do tempo de prateleira do tomate.

Palavras-chave: irradiação, tempo de prateleira, análises

3.2 Abstract

The food irradiation technique is presented as an efficient alternative for conservation during exposure food does not suffer any radioactive contamination, since it is exposed to the radiation without making contact with the radioactive source. However, as any other method of preservation, some characteristics of foods can be changed. Among the many foods that can be objective study to analyze the effects of gamma radiation, for example, on the food stands out the tomato. The tomato (*Lycopersicon esculentum*) is a fruit rich in carotenoids, tocopherols and flavonoids, powerful antioxidants that play important roles for health. Among the carotenoid is found in tomatoes with greater abundance lycopene and β - carotene, responsible respectively for variations of red color and orange. This study aims to assess the influence of gamma radiation on the lycopene content, β - carotene, Vitamin C, pH, titratable acidity, salmonella and faecal coliforms in red color of tomatoes in a state in nature. It can be seen that gamma irradiation promoted the reduction of levels of lycopene, β -carotene. There was an increase of pH and titratable acidity, but there was a significant reduction of the concentration of Vitamin C especially at a dose of 1,0 kGy. It found the inhibition of salmonella and fecal coliforms in samples that were held under refrigeration. It can be concluded that the technique of ionizing radiation was effective in increasing the shelf life of tomatoes.

Keywords: irradiation, shelf life, analysis

3.3 Introdução

A característica de fácil deterioração de frutas e hortaliças, nas etapas que vão desde a colheita até a comercialização, tem levado ao emprego de métodos e técnicas de conservação, que objetivam a eliminação, parcial ou total, de microorganismos deteriorantes e a inibição de germinação, o que irá prolongar a vida útil desses alimentos. Normalmente, são utilizados processos de conservação que empregam técnicas tais como baixas temperaturas, concentração-desidratação, adição de aditivos, uso de compostos químicos e

uso da radiação ionizante através da técnica de irradiação de alimentos (GOMES, et al., 2007; MODANEZ, 2012)

A técnica de irradiação de alimentos contribui para elevar o tempo de vida útil de alimentos facilmente perecíveis, por promover o retardamento de processos fisiológicos tais como brotamento e maturação e a eliminação de microrganismos patogênicos. O processo consiste em submeter o alimento a uma dose específica de radiação ionizante, a qual dependerá do objetivo a ser alcançado e do alimento que será irradiado. Normalmente a fonte utilizada é a de ^{60}Co , no entanto, também podem ser utilizados Raios-X e feixes de elétrons de alta energia. Para conservação de frutas frescas e vegetais, as doses empregadas podem variar de 0,05 a 1,0 kGy, no processo de irradiação de alimentos denominado de radurização (VIEITES, 1998; XAVIER, et al., 2007; CALÇADA, et al., 2010; FDA, 2011; LEMOS, et al, 2013).

Apesar de autores como József e Mohá (2011) afirmarem que os alimentos expostos à radiação ionizante mantêm suas características nutricionais inalteradas, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, através de sua RDC nº 21 de janeiro de 2001, estabeleceu que todo alimento que passe por processamento alimentar deverá ser avaliado quanto às alterações em suas características físico-químicas (pH, acidez titulável, cor, condutividade, etc.), fitoquímicas e nutricionais (SANTOS, 2009; BRASIL, 2001).

Dentre as hortaliças que podem ser submetidas ao processo de irradiação, destaca-se o tomate (*Solanum lycopersicum*), alimento com elevada composição nutricional, sendo composto por vitamina C, minerais, flavonóides, carotenóides (licopeno, β -caroteno, xantofila), dentre outros, os quais são essenciais à manutenção da saúde humana (BORGUINI & OETTERER, 2003; FILGUEIRA, 2008, GARRIDO, et al., 2012).

O tomate é uma hortaliça altamente perecível, que apresenta grandes perdas no pós-colheita, pois é suscetível à contaminações por microrganismos patogênicos durante as etapas que vão do plantio, colheita e transporte até o armazenamento e conseqüente comercialização.

Normalmente, os tomates estão sujeitos à contaminação por *Salmonella* e coliformes fecais, bactérias altamente prejudiciais ao ser humano, as quais podem provocar, em casos mais graves, o óbito do consumidor (YOUSSEF, et al, 2011).

As características físico-químicas tais como a acidez titulável e pH (potencial hidrogeniônico) apresentam funções primordiais nos tomates. A acidez titulável contribui para diagnosticar o estado de conservação destes, pois os teores dos ácidos orgânicos interferem em seu sabor, odor e cor (GIL, et al., 2002). O pH apresenta a função de indicador de qualidade para a deterioração dos frutos e varia conforme as condições de temperatura e umidade relativa do ar, sendo importante no processo das atividades enzimáticas, controle de microrganismos, retenção de sabor e odor (CECCHI, 2003; FERREIRA, et al., 2003).

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a ação da radiação gama nas concentrações fitoquímica e físico-química do tomate, além de sua eficácia na eliminação de microrganismos patogênicos. Como objetivos específicos, pretende-se: (i) avaliar a ação da radiação gama nas concentrações de licopeno, β -caroteno e vitamina C; (ii) avaliar a influência da radiação ionizante nas características físico-químicas pH e acidez titulável e; realizar qualitativamente a eficácia da radiação gama na eliminação de coliformes e *Salmonella* do tomate submetidos e não submetidos à refrigeração.

3.4 Metodologia

Material vegetal:

Os experimentos foram realizados utilizando tomates Caqui (*Diospyros kaki* L.), adquirido comercialmente no Centro de abastecimento e logística de Pernambuco (CEASA), em Recife – PE. Sendo considerados apenas tomates sem danos aparentes em sua superfície e que se enquadraram nos critérios de uniformidade de tamanho e coloração, ou seja, tomates de ± 30 g, no estágio de coloração classificado como “colorido” (intermediário entre o verde e o

vermelho) cultivados com a adição de agrotóxicos e com aproximadamente três (03) dias após a colheita.

Irradiação dos tomates:

Os tomates foram separados em três grupos: controle, e submetidos a radiação gama com doses de 0,5 e 1,0 kGy. Os tomates foram colocados em bandejas e levados ao irradiador de ^{60}Co Gammacell, modelo 220 Excel-MDS Nordion, com taxa de dose de 2,629 kGy/h, pertencente ao Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). As doses utilizadas foram escolhidas levando-se em conta os dados da literatura.

Após a irradiação, os tomates foram armazenados em geladeira, com temperatura de $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, seguindo a metodologia de Castricini et al., (2004), a qual permite ao fruto manter as suas características fisiológicas durante o período de estudo.

As análises para determinação das concentrações de licopeno, β - caroteno, Vitamina C, pH, acidez titulável, foram realizadas no laboratório de Química Orgânica da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Para a realização dos testes para coliformes e *Salmonella spp.*, os tomates foram armazenados em levando-se em conta duas situações: geladeira com uma temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e a temperatura ambiente $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e foram analisados no Laboratório de Experimentação e Análises de Alimentos (LEAAL) do Departamento de Nutrição- UFPE. Todas as atividades foram realizadas em triplicatas as quais foram iniciadas 24 horas após a exposição à radiação conforme metodologia descrita abaixo:

Determinação das contrações de licopeno e β -caroteno

Neste experimento foram utilizados noventa (90) tomates de coloração vermelha dividido em três grupos (controle, irradiados a 0,5 e 1,0 kGy) as análises foram realizadas no 1^o, 3^o, 5^o, 7^o, 9^o, 11^o, 13^o, 15^o, 17^o, 19^o, 21^o, 23^o, 25^o, 27^o, e 29^o dias após a exposição.

Considerando que o tecido vegetal do tomate contém elevada porcentagem de água e que os carotenóides são lipossolúveis, foi utilizada a acetona como solvente extrator, visto que, esse é um solvente orgânico miscível em água. Foram utilizados dois (02) tomates para as determinações das concentrações de licopeno e β – caroteno em cada um dos três grupos. O procedimento de determinação das concentrações destes compostos seguiu a metodologia proposta por Rodriguez e Amaya (2004).

Inicialmente, os tomates, previamente higienizados, foram homogeneizados em liquidificador durante três minutos, obtendo-se uma formação pastosa. Dessa massa homogeneizada, foi retirada uma alíquota de 08 gramas, a qual foi acondicionada em um Becker, onde foram adicionados 40 mL de acetona. A solução obtida (acetona + tomate) foi transferida para um liquidificador e novamente homogeneizada por três minutos. Em seguida, a segunda solução homogeneizada passou por uma filtragem a vácuo, em filtro de papel Whatmann número 4, com o auxílio de um kitassato protegido com papel alumínio, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. Após a filtragem, o filtrado obtido foi transferido para um balão volumétrico, tomando-se o cuidado de promover a lavagem das paredes do kitassato com 50 mL de acetona, para o aproveitamento de todo o material. Ao conteúdo do balão volumétrico, foram adicionados 45 mL de hexano e esperou-se cerca de 20 minutos para que ocorresse a separação entre as fases acetona e hexano.

Após a separação, foi realizada a lavagem da solução, para a retirada da acetona, com 100 mL de água destilada. Em seguida, a solução obtida, contendo hexano-pigmentos foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, sendo completando o seu volume com hexano.

Após a sua obtenção, alíquotas de 3 mL da solução hexano – pigmento foram levadas ao espectrofotômetro, modelo CINTRA 10 UV – VisibleSpectrometer, para leitura das absorbâncias, em dois comprimentos de onda: (i) 503 nm (máximo de absorção para licopeno) e 451 nm (máximo de absorção para β – caroteno e próximo ao mínimo para licopeno).

Os valores de concentração de licopeno e beta-caroteno foram obtidos a partir das equações (01) e (02) (Rodriguez e Amaya, 2004):

$$C_{\text{licopeno}} = 3,956 \times A_{451} - 0,805 \times A_{503} \quad (01)$$

$$C_{\beta\text{-caroteno}} = 4,624 \times A_{451} - 3,091 \times A_{503} \quad (02)$$

Onde

- **C** corresponde às concentrações de licopeno (C_{licopeno}) e β -caroteno ($C_{\beta\text{-caroteno}}$), em micro grama por grama de tomate e;
- **A** corresponde às absorvâncias para o licopeno (A503) e β -caroteno (A451).

Determinação das concentrações de Vitamina C, pH e acidez titulável

Para a determinação de pH, acidez titulável e vitamina C foram utilizados senta e seis (66) tomates dividido em três grupos (controle, irradiados a 0,5 e 1,0 kGy) as análises foram realizadas no 1º, 3º, 5º, 7º, 9º, 11º, 13º, 15º, 17º, 19º e 21º dias após a exposição.

A concentração da vitamina C presente nos três grupos foi determinada de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizou-se a massa homogeneizada após a trituração de dois tomates em liquidificador por três minutos. Em seguida pesou-se 05 mg da massa do tomate e a transferiu para um Erlenmeyer de 300 mL com auxílio de aproximadamente 50 mL de água. Em seguida adicionou 10 mL de solução de ácido sulfúrico a 20%, 1 mL da solução de iodeto de potássio a 10% e 1 mL da solução de amido a 1%. Posteriormente iniciou-se a titulação com solução de iodato de potássio a 0,02 M até obtenção de coloração azul. A contração de vitamina C foi expressa em porcentagem por mg por m/m.

A determinações de pH foi realizado de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008), inicialmente adicionou em um beckers 10g do tomate triturado no liquidificador por três minutos e adicionou 50 mL de água

destilada e realizou a leitura em um pHmetro modelo devidamente padronizado com soluções tampões pH 4,0 e pH 7,0.

A determinação da acidez baseou-se na técnica padronizada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) no qual pesou 10 g do tomate e em seguida adicionou 100 mL de água destilada e homogeneizou no liquidificador por 3 minutos. A solução (tomate mais água) foi titulada com solução padrão de NaOH 0,1M. Sendo cessada quando o pH da solução atingiu 8,2, sendo este o ponto de viragem. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico por 100 g de polpa.

Análise de coliformes e *Salmonella spp*

Para a determinação de coliformes e *Salmonella spp* foram utilizados trinta e seis (36) tomates, sendo um conjunto controle com 12 unidades e dois grupos irradiados a 0,5 kGy (12 unidades) e 1,0 kGy (12 unidades). Os tomates foram divididos em dois grupos para avaliar o comportamento microbiológico destes a temperatura ambiente ($28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e armazenado em geladeira a uma temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. As análises foram realizadas no 1^o, 10^o e 21^o dias após a exposição.

Os padrões e critérios para análise dos resultados de coliformes foram os de acordo com a RDC 12/01 que estabelece que para os tomates que estejam em estado *in natura* ou refrigeradas, devem ser analisados os Coliformes a 45°C/g e a *Samonella sp/25g* sendo a tolerância de 10^2 e AUS. A análise dos coliformes será feita pelo método de NMP (Número Mais Provável) e a análise da *Salmonella* será feita pelo método ISO 6579 (2007) que indicara a presença ou ausência destes nas amostras.

Analises estatísticas

Foram utilizados os testes estatísticos ANOVA seguida de Tukey (AYRES et al., 2005), para a as análises de variância, e o teste de correlação

de Pearson para verificar a correlação entre as variáveis, quando aplicável. Todas as análises foram realizadas levando-se em consideração um nível de significância de 5%.

3.5 Resultados e Discussão

3.5.1 Concentrações de Licopeno

Na Tabela 1 são apresentados os valores de concentração de licopeno nas amostras controle (não irradiadas) e nas doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy para os tomates *in natura* analisados.

Como esperado, os teores de licopeno vão aumentando no decorrer do período de observação para os três tratamentos considerados, com os teores variando, para as amostras controle, de $1,1020 \pm 0,0012 \mu\text{g/g}$, no primeiro dia de observação, à $13,2100 \pm 0,0047 \mu\text{g/g}$, no último dia; para as amostras irradiadas a 0,5 kGy; observam-se os teores variando de $0,152 \pm 0,0008 \mu\text{g/g}$, no primeiro dia de observação, à $4,012 \pm 0,0017 \mu\text{g/g}$, no último dia; e, para as amostras submetidas à 1,0 kGy, os valores variaram de $0,413 \pm 0,0005 \mu\text{g/g}$, no primeiro dia de observação, à $4,201 \pm 0,0014 \mu\text{g/g}$, no último dia de observação. Lurei et al. (1996), reportam que as concentrações de licopeno aumentam consideravelmente durante o amadurecimento, o que corrobora com observado no presente estudo.

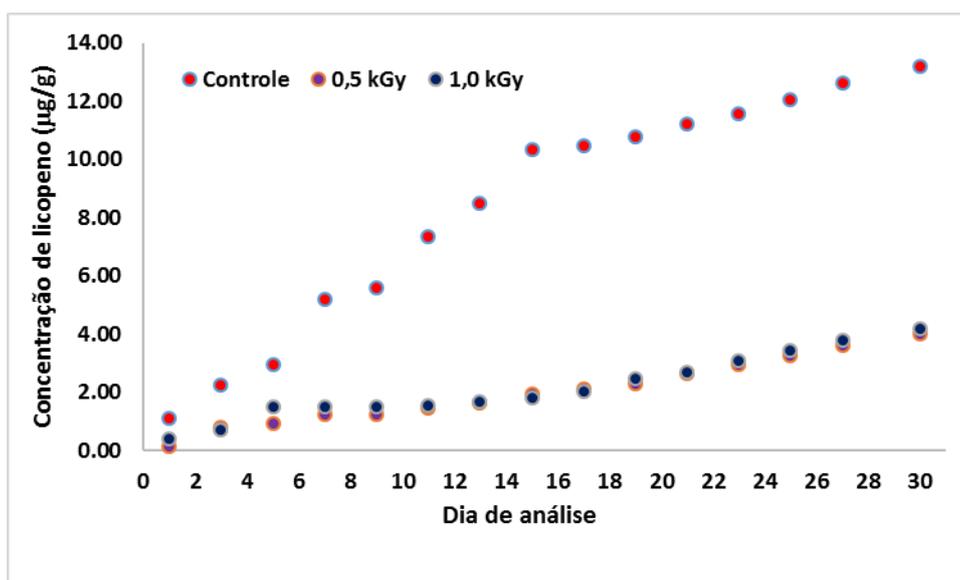
Tabela 1: Médias (n = 3) das concentrações de licopeno em tomates, irradiados e não irradiados, no período de avaliação de 30 dias.

Dia de avaliação	Tomates <i>in natura</i>		
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy
1 ^o	1,102 ± 0,0012 ^A	0,152 ± 0,0008 ^{B,C}	0,413 ± 0,0005 ^C
3 ^o	2,259 ± 0,0005 ^A	0,805 ± 0,0008 ^{B,C}	0,686 ± 0,0008 ^C
5 ^o	2,948 ± 0,0014 ^A	0,923 ± 0,0001 ^{B,C}	1,478 ± 0,0008 ^C
7 ^o	5,199 ± 0,0005 ^A	1,221 ± 0,0005 ^{B,C}	1,492 ± 0,0014 ^C
9 ^o	5,593 ± 0,0005 ^A	1,232 ± 0,0022 ^{B,C}	1,504 ± 0,0005 ^C
11 ^o	7,355 ± 0,0017 ^A	1,438 ± 0,0012 ^{B,C}	1,540 ± 0,0008 ^C
13 ^o	8,491 ± 0,0008 ^A	1,631 ± 0,0008 ^{B,C}	1,681 ± 0,0008 ^C
15 ^o	10,35 ± 0,0047 ^A	1,935 ± 0,0008 ^{B,C}	1,812 ± 0,0008 ^C
17 ^o	10,48 ± 0,0001 ^A	2,132 ± 0,0014 ^{B,C}	2,013 ± 0,0001 ^C
19 ^o	10,79 ± 0,0082 ^A	2,310 ± 0,0005 ^{B,C}	2,451 ± 0,0014 ^C
21 ^o	11,23 ± 0,0047 ^A	2,654 ± 0,0008 ^{B,C}	2,686 ± 0,0016 ^C
23 ^o	11,58 ± 0,0125 ^A	2,961 ± 0,0005 ^{B,C}	3,102 ± 0,0005 ^C
25 ^o	12,05 ± 0,0125 ^A	3,251 ± 0,0008 ^{B,C}	3,457 ± 0,0008 ^C
27 ^o	12,63 ± 0,0047 ^A	3,609 ± 0,0014 ^{B,C}	3,801 ± 0,0012 ^C
30 ^o	13,21 ± 0,0047 ^A	4,012 ± 0,0017 ^{B,C}	4,201 ± 0,0014 ^C

Valores expressos em médias ± desvios padrões. Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas entre os doses (p < 0,01), pela ANOVA, seguida de Tukey a 5% de significância.

É possível observar, pelos dados apresentados na Tabela 1, que os teores de licopeno nas amostras controles, são maiores ao longo do período de observação quando comparadas às outras amostras, indicando que a radiação influenciou nesses teores (Figura 1). Em média, foram observadas diminuições de 76 % dos teores de licopeno para a dose de 0,5 kGy, e de 72 %, na dose de 1,0 kGy. As diferenças entre os tratamentos foram comprovadas pelo teste da ANOVA, seguido de Tukey, o qual evidenciou que existe diferença significativa entre as amostras controles e aquelas submetidas às doses de 0,5 e 1,0 kGy ($p < 0,01$). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras submetidas à 0,5 e 1,0 kGy ($p = 0,7373$).

Figura.1: Concentrações de licopeno nas amostras de tomate in natura.



Os resultados aqui apresentados indicam que a radiação parece ter impedido o amadurecimento do tomate, levando em consideração que o aumento do teor de licopeno está associado ao amadurecimento do tomate, pois este ocorre com o processo de decomposição da clorofila por meio de alterações químicas e enzimáticas. Quando isto não ocorre, como observado no presente trabalho para os tomates irradiados, existe uma indicação de que houve uma diminuição na produção de licopeno. Segundo Lima *et al.*, (2009), isto pode estar associado a uma provável inibição da síntese desse composto ou a oxidação devido à irradiação.

Diversos fatores interferem no valor da concentração do licopeno presente nos tomates, tais como, tempo de colheita, pH, temperatura. Segundo Naika *et al*, (2006), a biodisponibilidade de licopeno em tomates *in natura* fica em torno de 13%, enquanto que nos tomates cozidos ou processados é de 70%. Porém, a quantidade de licopeno depende das condições de processamento e composição dos alimentos de origem (CAMARGO, 2005).

Estudos realizados pelos autores Stah e Sies (1999), Agarwal e Agarwal (2000), Richelle *et al.*, (2002), Fielding *et al.*, (2005) mostram em seus experimentos, um maior processamento na biodisponibilidade do licopeno, quando o suco de tomate é cozido com óleo de milho, o tomate é cozido com azeite de oliva e também no extrato de tomate, alguns estudos indicam que o cozimento do tomate em temperaturas acima de 100 °C já prejudica a atividade antioxidante do licopeno, Assim, os autores Nguyen e Schwartz (1998) destacam que a “desidratação de tomates a uma temperatura branda inferior a 100 °C, geralmente não causa perdas substanciais no conteúdo de licopeno total”. Em seus estudos, Cole e Kapur (1957) observaram reduções de 15 e 25% nos teores de licopeno em tomates quando submetidos ao aquecimento de 65 e 100°C, e destacam que a presença de cobre no tomate propiciou o aumento nas perdas, Servili *et al.*, (2000) destacam que quando o tomate é submetido ao tratamento térmico pode ocorrer à co-oxidação dos carotenóides e conseqüentemente a redução dos teores de licopeno.

Resultados semelhantes nas reduções dos teores de licopeno foram relatados por Burns e Desrosier, em 1957, os quais utilizaram doses próximas às utilizadas no presente estudo para irradiar tomates. Os presentes resultados também são semelhantes aos obtidos por Silva *et al.* (2009) em um estudo para a quantificação de carotenóides do buriti (*Maurita Flexuosa L.*) irradiados nas mesmas doses utilizadas aqui. LIMA *et al*, (2004), em um estudo que objetivou avaliar o efeito da radiação gama na concentração de carotenóides em cenouras minimamente processadas para o consumo, nas doses de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 kGy, mostrou que, apenas a dose 1,0 kGy apresentou uma maior inibição desses teores.

Farkas *et al.* (2010), observaram uma diminuição significativa de aproximadamente 40% no teor de licopeno em amostras irradiadas, quando comparadas com a amostra controle. Figueiredo *et al.*, (2014) observaram que os teores de carotenóides dos frutos de mamão aos 5^o, 7^o e 9^o dias pós-colheita, submetidos a uma dose de 0,8 kGy, apresentaram a influência da radiação apenas no 7^o dia de análise. Segundo os autores, esse fato pode estar relacionado a um atraso no processo de amadurecimento, associado a maior firmeza dos frutos irradiado.

Pelos resultados apresentados na Tabela 1, percebe-se ainda que existe um aumento dos teores licopeno com o tempo. Com isto, entende-se que o amadurecimento será apenas retardado, o que implicará no aumento do tempo de prateleira do fruto.

Vieites (2009) e ZANÃO *et al.*, (2009) destacam que o tratamento de frutas e vegetais com radiações ionizantes tem como principal finalidade assegurar a sua preservação, isto é, aumentar o tempo de conservação do alimento e o retardo da maturação, além reduzir a incidência de contaminações por micro-organismos, sendo considerado um método seguro. Isto é corroborado por CASP & ABRIL, 1998, apud VENTURA *et al.*, 2010, os quais relataram que a radiação ionizante permitiu prolongar a vida útil de algumas frutas tropicais, tais como banana, abacate, mamão e manga ao serem submetidos a irradiação em doses que compreendam uma faixa de 0,12 kGy a 0,75 kGy.

Em estudo que tinha por finalidade avaliar os efeitos da radiação gama em mamões, Carmago, *et al.*, (2007) constataram que a doses 0,5 e 1,0 kGy proporcionou um retardo de dois dias no amadurecimento destes, além de permitir uma melhora na textura a qual proporcionou uma maior maciez deste fruto, porém estes apresentaram maior firmeza em relação à amostra controle após o 21^o dia de estudo.

Mahto e Das (2013) avaliaram o efeito da irradiação em mangas, sendo estas submetidas a uma dose de 0,3 a 10 kGy. Os autores observaram que radiação prolongou o tempo de vida útil em, no mínimo quatro dias, e que estas

doses possibilitaram maior firmeza das mangas submetidas ao processo de radiação quando comparadas com as amostras controle.

3.5.2 Concentrações de β -caroteno

Na Tabela 2 são apresentados os valores de concentração de β -caroteno para as mesmas amostras tomates analisados anteriormente. Semelhantemente ao que ocorreu para o licopeno, pode-se observar que os teores de β -caroteno, estão aumentando no decorrer do período de observação. Porém, ocorre uma diminuição dessas concentrações, para as amostras controles, a partir do 23º dia. Este fato pode ser explicado de acordo com dados reportados por Davies e Hobson (1981), no qual afirmam que durante o processo de amadurecimento do tomate, o teor de β -caroteno atinge uma concentração máxima antes do final do amadurecimento.

Este comportamento é melhor observado a partir da Figura 2, onde se observa um declínio da curva para o tratamento controle. Na Figura 2 também é possível observar que, devido à provável inibição da síntese do β -caroteno pela radiação gama, as concentrações nas amostras irradiadas são menores. No entanto, essas amostras ainda estão produzindo β -caroteno, apesar de em menor quantidade, o que indica que, provavelmente, a inibição da síntese só terá início em período bem mais a frente, provavelmente no 46º dia de avaliação. A análise estatística mostrou que as concentrações de β -caroteno das amostras controle diferiram das concentrações desse composto nas amostras irradiadas ($p < 0,01$).

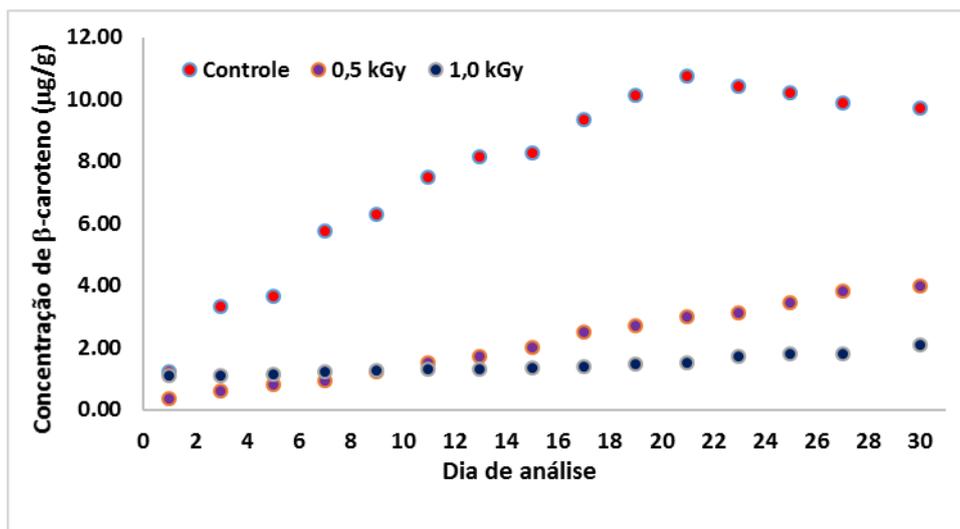
Tabela 2: Médias (n = 3) das concentrações de β -caroteno em tomates, irradiados e não irradiados, no período de avaliação de 30 dias.

Dia de avaliação	Tomates <i>in natura</i>		
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy
1 ^o	1,207 \pm 0,0014 ^A	0,369 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,109 \pm 0,0014 ^C
3 ^o	3,328 \pm 0,0005 ^A	0,601 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,120 \pm 0,0019 ^C
5 ^o	3,680 \pm 0,0011 ^A	0,809 \pm 0,0014 ^{B,C}	1,145 \pm 0,0012 ^C
7 ^o	5,784 \pm 0,0008 ^A	0,938 \pm 0,0014 ^{B,C}	1,219 \pm 0,0005 ^C
9 ^o	6,315 \pm 0,0001 ^A	1,244 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,256 \pm 0,0014 ^C
11 ^o	7,510 \pm 0,0009 ^A	1,530 \pm 0,0009 ^{B,C}	1,305 \pm 0,0008 ^C
13 ^o	8,139 \pm 0,0005 ^A	1,715 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,321 \pm 0,0005 ^C
15 ^o	8,272 \pm 0,0008 ^A	2,011 \pm 0,0008 ^{B,C}	1,346 \pm 0,0008 ^C
17 ^o	9,359 \pm 0,0005 ^A	2,489 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,371 \pm 0,0046 ^C
19 ^o	10,12 \pm 0,0026 ^A	2,701 \pm 0,0008 ^{B,C}	1,482 \pm 0,0080 ^C
21 ^o	10,78 \pm 0,0082 ^A	2,998 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,509 \pm 0,0050 ^C
23 ^o	10,45 \pm 0,0041 ^A	3,126 \pm 0,0005 ^{B,C}	1,708 \pm 0,0022 ^C
25 ^o	10,21 \pm 0,0047 ^A	3,450 \pm 0,0008 ^{B,C}	1,799 \pm 0,0005 ^C
27 ^o	9,902 \pm 0,0001 ^A	3,815 \pm 0,0001 ^{B,C}	1,807 \pm 0,0016 ^C
30 ^o	9,721 \pm 0,0008 ^A	4,010 \pm 0,0008 ^{B,C}	2,095 \pm 0,0001 ^C

Valores expressos em médias \pm desvios padrões. Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas entre os doses (p < 0,01), pela ANOVA, seguida de Tukey a 5% de significância

É possível observar na Figura 2 que os teores de β -caroteno no tomate *in natura*, irradiados na dose de 0,5 kGy tendem a ser maiores que aquelas irradiadas a 1,0 kGy. Isto é confirmado pelo teste estatístico, o qual mostrou haver diferença estatísticas entres essas amostras ($p < 0,5$).

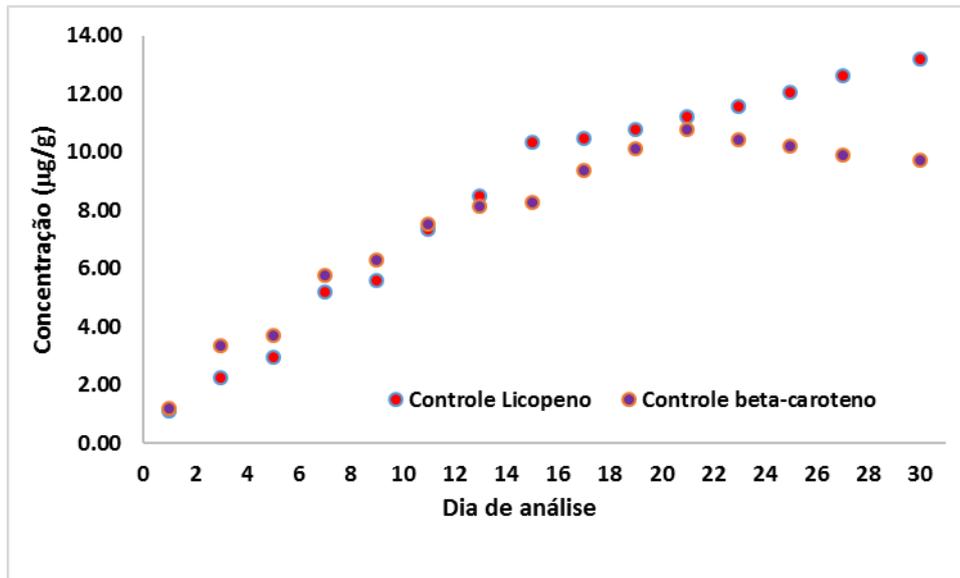
Figura 2: Concentrações de β -caroteno nas amostras de tomate *in natura*.



Segundo Giovannucci (2006), o tomate quanto mais maduro, ou seja, quanto maior for à intensidade da cor vermelha, maior será a quantidade de licopeno e, portanto, maior será a sua concentração em comparação ao β -caroteno. É possível observar isso quando são comparadas as concentrações desses compostos para as amostras controles (Figura 3). Durante o processo de amadurecimento, a partir do 23º dia de avaliação, os teores de β -caroteno começam a diminuir e os teores de licopeno continuam a aumentar.

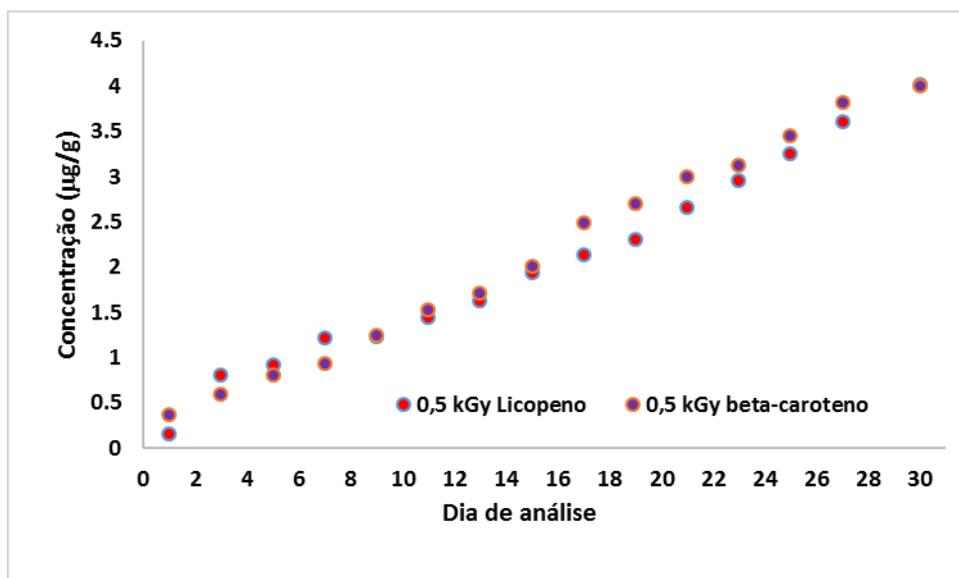
A análise estatística mostrou que até o 21º dia, não houve diferença estatística significativa entre os teores de licopeno e β -caroteno ($p = 0,9336$). Porém, a partir desse dia, a diferença entre estes teores foi estatisticamente significativa ($p < 0,01$), o que fortalece a ideia de que ocorre uma diminuição do β -caroteno após esse dia.

Figura 3: Comparação entre as concentrações de licopeno e β -caroteno nas amostras controles de tomates in natura.



Na Figura 4 é apresentada a comparação entre os teores de licopeno e β -caroteno para as amostras irradiadas a 0,5 kGy. Observa-se que os compostos apresentam as mesmas concentrações dentro do período de observação, o que é confirmado pela análise estatística ($p = 0,8034$). Provavelmente, a radiação agiu conservando os tomates ou inibindo a síntese desses compostos, os quais, no período avaliado, ainda não apresentam o comportamento esperado para as amostras não irradiadas.

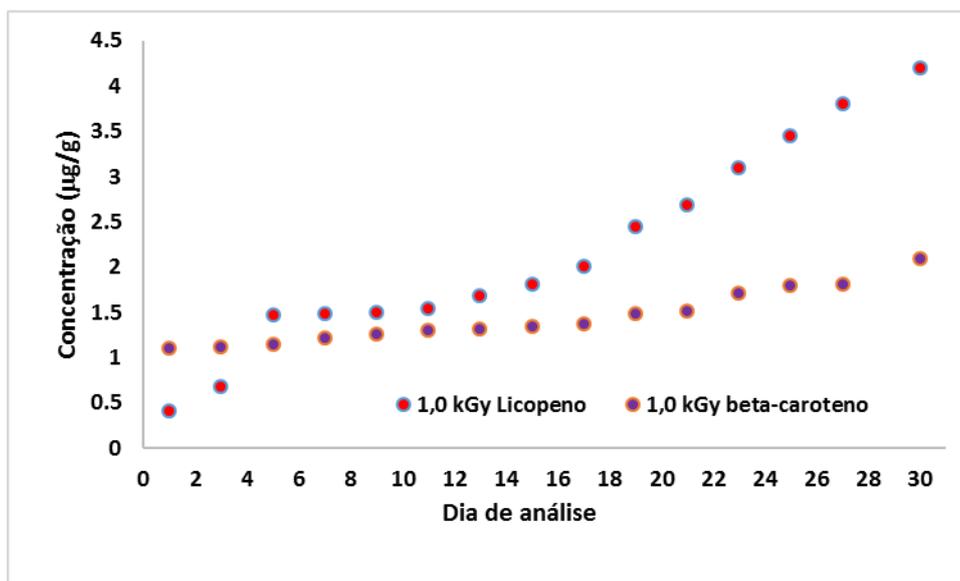
Figura 4: Comparação entre as concentrações de licopeno e β -caroteno nas amostras de tomates in natura irradiadas a 0,5 kGy.



Na Figura 5 é apresentada a comparação entre os teores de licopeno e β -caroteno para as amostras irradiadas a 1,0 kGy. Observa-se que os compostos apresentam concentrações diferentes dentro do período de observação, com a concentração de licopeno sendo maior que a do β -caroteno. Isto é confirmado pela análise estatística, a qual mostrou haver diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$). Provavelmente, a ação da radiação na dose de 1,0 kGy, foi mais intensa que a de 0,5 kGy para inibir esse composto. Logo, entende-se que a dose de 1,0 kGy age sobre os tomates inibindo a síntese desses compostos e provocando o amadurecimento mais cedo que aqueles irradiados a 0,5 kGy.

Resultados diferentes dos obtidos no presente trabalho foram reportados por Who (1994), o qual constatou que tangerinas e abacaxis irradiados a 2,45 kGy não apresentaram alterações significativas nos teores de β -caroteno. Kilcast (1994) observou que a exposição de mangas a uma dose de 2,0 kGy não promoveu alterações na concentração de β -caroteno.

Figura 5: Comparação entre as concentrações de licopeno e β – caroteno nas amostras de tomates in natura irradiadas a 1,0 kGy.



Taipina e Mastro (2003), ao analisarem a influência da radiação nos teores de Vitamina A e de β – caroteno em alimentos comercializados de origem animal, sendo este o fígado bovino especificamente fresco e carne de porco do tipo “*pâté de foie*”, foram constatados que para essas amostras existiu uma retenção completa no teor destes compostos para dose de 3 kGy e que houve uma perda de cerca de 60% no teor de β – caroteno quando a dose foi de 30 kGy,

Com objetivo de avaliar o efeito da irradiação gama sobre as características físicas e químicas no pós-colheita da cenoura (*Daucus carota* L.) da cultivar Nantes, Lima et al,(2001) utilizaram uma fonte de Césio, nas doses de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 kGy. Estes autores observaram uma variação na concentração de β – caroteno em faixa de 8,7 a 10 mg/100g do fruto. Ao comparar a concentração total dos carotenóides (licopeno e β – caroteno) evidenciaram que não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos, porém os autores destacam uma diminuição da concentração dos carotenóides totais com o aumento da dose de radiação. Os mesmos ainda destacam que dados semelhantes aos obtidos por eles foram observados por Pinheiro- Sant’ana et al., (1998) e Aubert (1981) para a mesma cultivar.

3.5.3 pH

Na Tabela 3 a seguir são apresentados os valores de pH determinados na análise de amostras controle e irradiadas nas doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy, para tomates *in natura*. As avaliações foram realizadas num período de vinte e um dias, em intervalos de dois em dois dias, período este onde ocorreu a estabilização dos valores de pH.

Tabela 3: Valores de pH em amostras de tomates controles e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.

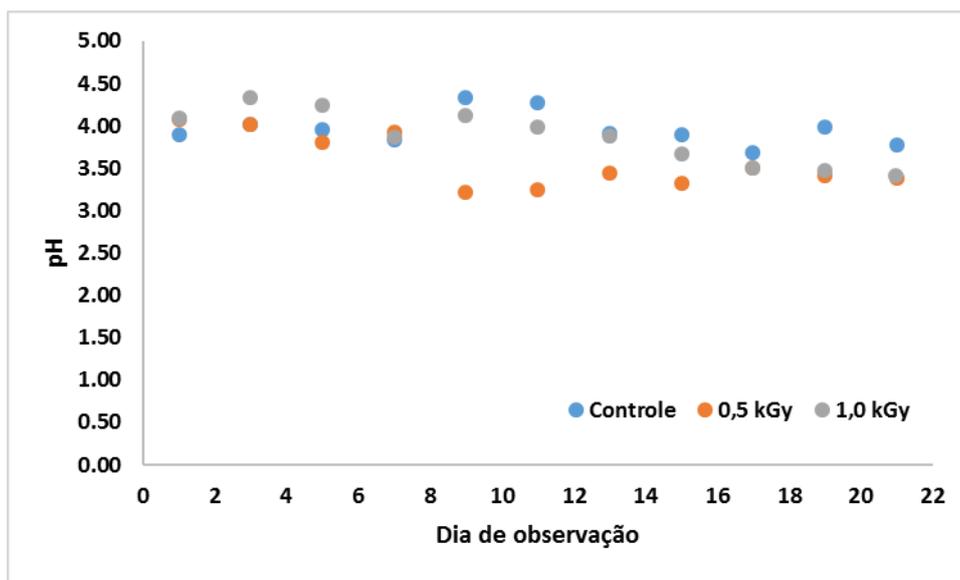
Dias	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy
1	3,89	4,08	4,09
3	4,01	4,01	4,34
5	3,95	3,81	4,25
7	3,84	3,92	3,86
9	4,33	3,21	4,12
11	4,27	3,25	3,99
13	3,91	3,44	3,88
15	3,89	3,32	3,67
17	3,69	3,51	3,51
19	3,98	3,41	3,47
21	3,78	3,38	3,41

A Figura 6 apresenta o comportamento do pH para os tratamentos. É possível observar que as amostras irradiadas à 0,5 kGy apresentam, em média, valores menores que aqueles obtidos para o controle e as irradiadas a 1,0 kGy. A análise estatística evidenciou que ocorreu diferença estatística significativa para os valores de pH entre as amostras controle e irradiadas a 0,5 kGy ($p < 0,01$) e entre as amostras irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy ($p < 0,05$). Não

ocorreu diferença significativa entre as amostras controles e aquelas irradiadas a 1,0 kGy ($p = 0,5411$), evidenciando que apenas a dose de 0,5 kGy foi capaz de provocar alterações nos valores de pH.

A redução dos valores de pH pela dose de 0,5 kGy permite que o tomate tenha uma maior resistência a contaminações por microorganismos tais como *Bacillus coagulans*, *Clostridium botulinum* e *C. butyricum* os quais podem se proliferar quando o tomate apresenta um valor de pH superior a 4,30 onde estes microorganismos tornam o tomate inapropriado para consumo (EMBRAPA, 2003).

Figura 6: Comparação entre os valores de pH nas amostras de tomates in natura controle e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.



Os valores obtidos no presente trabalho foram, em média, iguais a: $3,96 \pm 0,19$, para as amostras controles; $3,58 \pm 0,32$, para as amostras irradiadas a 0,5 kGy, e; $3,87 \pm 0,32$, para as amostras irradiadas a 1,0 kGy.

Estudos realizados por Monteiro *et al.* (2008) afirmam que os valores de pH em tomates superiores a 4,50 requer períodos mais extensos para promover a esterilização em processos térmicos, prolongando o consumo de energia e promovendo maior custo para realização de tal procedimento. Os

valores encontrados por Monteiro *et al.* (2008) corroboram para os dados que foram apresentados por Yamaguchi *et al.* (1960), os quais afirmam que os valores para o pH em tomates podem variar até no máximo 4,6 sendo para estes a quantidade máxima para evitar a proliferação de microorganismos.

Valores semelhantes de pH aos encontrados no presente trabalho, foram reportados por Costa *et al.* (2007), os quais apresentaram valores de pH variando entre 3,42 e 4,24. Lisiewka & Kmiecik (2000) em estudos com tomates da cultivar Micra RS, em cor vermelha na escala de maturação, encontraram valores em torno de 4,5. Nos estudos realizados por Borguini & Silva (2003) em tomates cv, Carmem convencional, foram relatados um valor médio igual a 4,4.

Com irradiação de tomates de mesa *Débora*, Borguini e Silva (2003) encontrou para as suas amostras controle uma variação de 4,38 até 4,70, Enquanto que a variação dos tomates para a dose de 0,5 kGy compreenderam uma faixa de 4,32 a 4,46 e para a dose de 1,0 kGy observou uma variação de 4,31 a 4,50 em um período de vinte dias de análise. Os valores obtidos no presente trabalho estão abaixo dos valores apresentados encontrado por esse autor. Esta diferença de pH, principalmente para a amostra controle, pode estar associada a qualidade dos tomates que diferem entre as cultivares, sendo influenciados por fatores tais como fertilidade do solo e condições climáticas, sendo a temperatura o fator ambiental de maior influência para o desenvolvimento do tomate. Assim, os valores encontrados para o pH seja dos tomates controles, quanto dos tomates irradiados nas doses de 0,5 kGy e 1,0 kGy encontra-se dentro dos valores considerados ideais para tomates de qualidade (WARNER *et al.*, 2004; CARVALHO & TESSARIOLI NETO, 2005; FERREIRA, *et al.*, 2010).

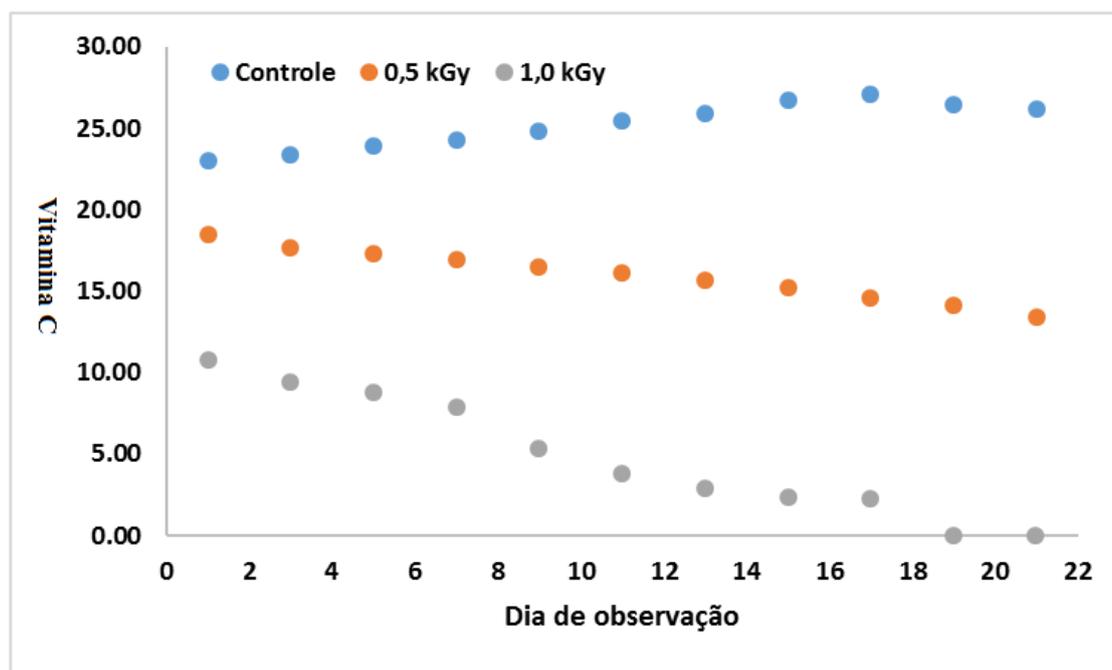
3.5.4 Vitamina C

Na Figura 7 é apresentado o comportamento da Vitamina C para os tratamentos empregados no presente trabalho. É possível perceber que ocorreram diminuições nos teores de vitamina C para as amostras irradiadas. O teste de correlação de Pearson mostrou uma forte correlação ($r = - 0,9985$)

entre a dose e a concentração de Vitamina C, mostrando a relação dose-dependente. O sinal negativo do coeficiente de correlação mostra que quanto maior a dose, menor será o percentual de vitamina C obtido.

A análise estatística provou que esta redução é estatisticamente significativa, para as comparações entre as amostras controles e irradiadas ($p < 0,01$) e entre as amostras irradiadas ($p < 0,01$). Além disso, é possível observar (Figura 7) comportamentos distintos dos percentuais de vitamina C para as amostras controles e irradiadas; enquanto existe uma tendência ao aumento desse composto com os dias, para as amostras controles, as amostras irradiadas mostram uma diminuição importante ao longo dos dias, chegando a 0,0% para as amostras irradiadas a 1,0 kGy, nos últimos dias de observação.

Figura 7: Teores de Vitamina C nas amostras de tomates in natura controles e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.



Analisando a Figura 7, observa-se que entre o décimo nono e vigésimo primeiro dias ocorreu uma redução dos teores da vitamina C, isto ocorre devido ao fato do tomate, quando entra em seu estado de senescência, iniciar o

processo de oxidação, promovendo assim, a redução dos teores do ácido ascórbico. Inicialmente observou-se até o décimo sétimo dia, para os tomates controles, um aumento em sua concentração, uma vez que este possivelmente encontrava-se em período de maturação, pois o seu aumento é evidenciado durante o seu período de maturação, quando ocorre uma maior síntese de intermediários metabólicos que proporcionam a formação do ácido ascórbico (TUCKER, 1993; SMIRNOFF *et al.*, 2004)

A redução dos teores de vitamina C se deve ao fato de que a radiação ionizante promove a formação de radicais livres, e a vitamina C, sendo um antioxidante, irá “trabalhar” no sentido de eliminá-los, sendo consumida nesse processo (SINGH & PAL, 2003; FARKAS, 2006; BECKLES, 2012).

Foi possível observar, a partir dos dados aqui apresentados, que os efeitos da radiação foram diferentes daqueles encontrados por Harder *et al.*, (2007). Esses autores observaram que a radiação ionizante, nas doses de 0,5 e 1,0 kGy, em kiwi, promoveu uma redução de 50% nos percentuais de vitamina C, enquanto que no presente trabalho foram determinadas reduções médias de 36 %, para os tomates irradiados a 0,5 kGy, e de 71 % para os tomates irradiados a 1,0 kGy.

Segundo informações da literatura, os teores de ácido ascórbico em tomates podem variar de 7,20 a 45,60 mg por 100g de tomate. Os dados obtidos no presente trabalho indicam que os tomates controles e aqueles irradiados a 0,5 kGy encontram-se ainda dentro dessa faixa, porém, o mesmo não ocorre com aqueles tomates irradiados a 1,0 kGy, os quais apresentam teores abaixo desses limites, a partir do 9 dia de observação (FONTES, *et al.*, 2000; Harder *et al.*, 2007).

De acordo com os autores Davey *et al.*, (2000), Beckles, (2012) e Ferreira *et al.*, (2012) em seus estudos constataram que a vitamina C é um dos nutrientes mais sensíveis ao armazenamento e processamento. O seu teor nos tomates pode variar de acordo com o processo de manejo do solo, da genética do cultivar, do período de plantação, a temperatura e a luminosidade. Segundo

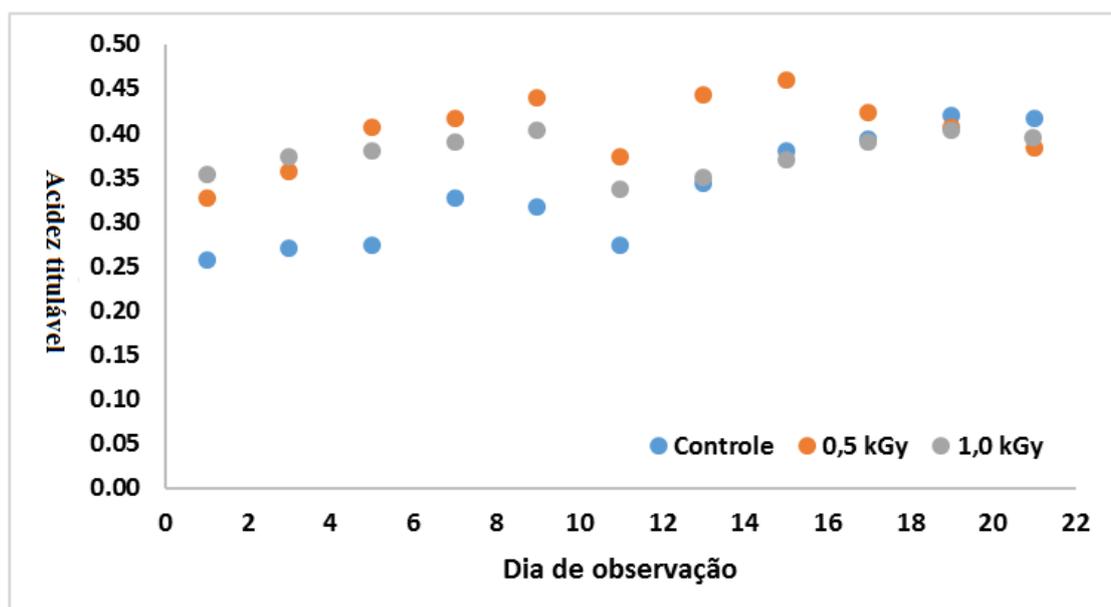
Lee & Kader (2000) o teor de luminosidade influencia na biossíntese do ácido ascórbico sintetizado pelos açúcares que são produzidos pela fotossíntese.

Segundo Davey *et al.*, (2000), o pH apresenta uma relação no teor de vitamina C, uma vez que apresenta característica de reter o ácido ascórbico, assim frutos de baixo pH, são mais ou menos estáveis em relação a sua perda oxidativa.

3.5.5. Acidez titulável

Na Figura 8 são apresentados os comportamentos dos valores de acidez titulável. Percebe-se comportamentos distintos dessa propriedade no decorrer dos dias de observação. Até o 11º dia, existe um claro comportamento que mostra a acidez titulável para as amostras controle são menores que as das amostras irradiadas, o que foi comprovado pela análise estatística que mostra haver diferença significativa entre os controles e os irradiados (a 0,5, $p = 0,0025$; e a 1,0 kGy, $p = 0,0020$), mas o mesmo não acontecendo entre as amostras irradiadas ($p = 0,2356$). A partir do 11º dia, não existe diferença significativa entre as amostras controles e as irradiadas ($p = 0,0877$).

Figura 8: Acidez titulável das amostras de tomates in natura controle e irradiadas a 0,5 e 1,0 kGy.



Os valores obtidos neste estudo são semelhantes aos obtidos por Paula et al., (2011) os quais encontraram uma variação de 0,33% a 0,41% para amostras de tomates controle. Segundo Kader (2002) os tomates que apresentam uma acidez titulável superior a 0,32% são considerados de boa qualidade. Portanto, os valores obtidos no presente trabalho indicam que a radiação ionizante pareceu melhorar esta característica, uma vez que após irradiados, a acidez tendeu a aumentar.

Para VILAS-BOAS (2005) os teores dos ácidos orgânicos iram influenciar a acidez e o aroma nos tomates, sendo um fator determinante para o seu tratamento em escala industrial, pois quando encontra-se com o teor inferior a 0,35 g/100g de tomate é necessário que o processamento ocorra em maiores escalas de tempo e temperatura para garantir maior durabilidade nas prateleiras (SILVA & GIORDANO, 2000).

Outro fator determinante que afeta a acidez titulável é o tempo em que o tomate passa na planta mãe. Segundo Ferreira (2004), tomates quando colhidos maduros (vermelhos) irão apresentar maior acidez que os retirados em estado de maturação anterior (ou verde). Além disso, esses teores irão depender de outros fatores tais como, temperatura, solo e umidade.

Ferreira et al., (2010) estudaram tomates Convencional (SC), da cultivar Raísa (Longa Vida - LV), plurilocular do grupo redondo e tomates Orgânico (SO) da cultivar Santa Clara rústica, bilocular do grupo oblongo E observaram que a amostra convencional se manteve constante, em torno de 0,21%, durante o período do armazenamento, enquanto a amostra orgânica apresentou um leve declínio de 0,20%, para 0,19%.

Zambrano *et al.* (1996) estudaram tomates do cultivar Walter e obtiveram um valor máximo de 0,40%, enquanto que ao analisar tomates do cultivar Rio Grande os mesmos autores obtiveram um teor máximo de 0,42%, ambos os cultivares estavam em estágio de coloração vermelha, indicando que também a variedade de tomate também pode ser um fator determinante para o teor de acidez titulável.

Em estudos com tomates irradiados com as mesmas doses empregada neste trabalho (0,5 kGy e 1,0 kGy) possibilitou a Castricini *et al.*, (2004) constatar que a temperatura ambiente permitiu uma variação de 0,14 a 0,33% de ácido cítrico.

3.5.6 Contaminação por microrganismos

As determinações microbiológicas foram apenas qualitativas, sendo determinada a ausência ou presença de *Salmonella sp* e coliformes fecais. As amostras dos tomates acondicionados em geladeira apresentaram ausência de coliformes e *Salmonella sp.*, para os três tratamentos.

Segundo Youssef *et al.*, (2011), a análise microbiológica de suco de tomate submetidos à radiação gama em doses de 1,5, 3,0 e 4,5 kGy evidenciou que a dose de 3,0 kGy é a que proporcionou maior segurança microbiológica e prolongou a seu tempo de prateleira em cerca de 15 dias que o período estabelecido para amostras não irradiadas.

Em estudo que tinham por objetivo avaliar a ação da irradiação gama sobre bactérias aeróbias e coliformes em amostras de suco cenoura e couve armazenados a 10 °C, Song *et al.*, (2007) constataram que a dose de 3 kGy é suficiente para eliminar estes microorganismos no suco de cenoura, enquanto que para o suco de couve a dose para eliminação foi de 5 kGy.

As amostras que não foram refrigeradas durante as três análises apresentaram ausência de salmonela, porém o resultado para coliformes foram superior a 10^2 NMP, extrapolando a tolerância desde a primeira análise e se mantendo nas seguintes. Prakash (2002) avaliou a influências da irradiação gama em tomate "Roma" nas doses 0,50, 1,24 e 3,70 kGy mais a amostra controle e constatou que no nono dia, para as doses de 0,5 e 1,24 kGy, os tomates apresentaram coliformes em menor quantidade em relação a amostra controle com diferença de aproximadamente 60%, enquanto que na dose de 3,7 kGy não foram encontrados microorganismos.

Com o objetivo de avaliar os efeitos da radiação gama na conservação da polpa de amora Nascimento (2013) irradiaram a polpa com fonte de cobalto 60 nas doses de 0,75 kGy; 1,5 kGy e 3 kGy, posteriormente armazenando à temperatura de 4°C. As análises para coliformes e *Salmonella* foram determinadas nos dias 0, 7, 15, 30 e 60 após a exposição e constataram que a dose de 1,5 kGy foi o que apresentou a menor contagem de microrganismo e garantiu a qualidade microbiológica por mais tempo.

3.6 Conclusão

A radiação gama foi capaz de promover a diminuição nos teores de licopeno, β -caroteno. Isto, somado ao aumento do pH e aumento da acidez titulável e a inibição de salmonela e coliformes fecais, das amostras mantidas sob refrigeração, indica que a radiação ionizante foi eficiente no aumento o tempo de prateleira do tomate. No entanto, é importante frisar que, junto com o aumento do tempo de prateleira, existe uma perda importante, dose-dependente, nos teores de vitamina C.

3.7 Referências

- AGARWAL S, Rao AV. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*. 2000. Albino D. Radicais Livres. Disponível: Acesso em: 23.03.2016.
- AUBERT, S. La carotte. *Cahiers de Nutrition et Dietetique*, v.16, n.3, p.173-188, 1981.
- AYRES, M., AYRES JÚNIOR, M., AYRES, DL. and SANTOS, AS. BioEstat: Aplicações estatísticas nas áreas das Ciências biomédicas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá. p. 334. 2005.
- BECKLES, D. M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v.63. 2012

BORGUINI, R. G.; OETTERER. M.; SILVA, M.V. Qualidade nutricional de hortaliças orgânica, **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 37. n.1, p.28-35. Jan/jun.2003

BORGUINI. R. G.; OETTERER. M. V. **Qualidade nutricional de hortaliças orgânicas**. Boletim da SBCTA. Campinas . V. 337. n.1. p. 28-35. Jan/jun. 2003.

BRASIL. Perspectivas para a agropecuária, V. 2 Brasília 2001. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf> Acesso em 10/05/2016

BURNS. E. E. AND N. W. DESROSIER. 'Maturation changes in tomato fruits induced by ionizing radiation. Food Tech. 11: 313-316. 1957.

CALÇADA, A.; AMARAL, A.; MARTINS, I.; JORDÃO, L.; MENDES, M. **Preservação de Alimentos por Irradiação**. Escola Superior Agrária de Coimbra, 2010.

CAMARGO, G. A. Novas tecnologias e pré-tratamentos: tomate seco embalado a vácuo. Campinas: UNICAMP, Tese Doutorado. 2005

CAMARGO, R.J.; TADINI, C.C.; SABATO, S.F. Physical-chemical analyses of irradiated papayas (*Carica papaya* L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v.76, p. 1866-1868, 2007.

CARVALHO, LA; TESSARIOLI NETO, J. Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Horticultura Brasileira** 23: 986-989. 2005.

CASP, A.; ABRIL, J. – Procesos de Conservación de Alimentos. 13ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa,. 1998

CASTRICINI, A.; MEDEIROS, S.F.; CONEGLIAN, R.C.C.; VITAL, H.C. Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill) em estágio maduro. **Rev. Univ. Rural.**, v. 24, n. 1, jan.- jun., p. 85-91, 2004.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**.

COLE, E. R., CAPUR, N. S. The stability of lycopene. 1. degradation by oxygen. **Journal Food Science and Technology**, v.8, n.6, p.360-365, 1957(a).

DAVEY, M.W., M.V. MONTAGU, D. INZE, M. SANMARTIN, A. KANELIS, N. SMIRNOFF, I.F.F. BENZIE, J.J. STRAIN, D. FAVELL AND J. FLETCHER, 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **J. Sci. Food Agr.**, 80: 825-860. 2000

DAVIES, J. N.; HOBSON, G. E. The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Cleveland, v. 3, p. 205-208, 1981.

EMBRAPA -- Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, p.8-11, 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/cultivares.htm>> Acesso em: 23.06.2016.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 148 – 152, 2006

FDA – Food and Administration. Food irradiation – What you need to know. **Food from de U. S. Food and Drug Administration**, 2011. Disponível em <<http://www.fda.gov/default.htm>>; Acesso em 30/12/2015

FERREIRA, M. D. Perda da cadeia produtiva do tomate de mesa. In: WORKSHOP:

FERREIRA, R. M. A.; LOPES, W. A. R.; MENDES, E. M. M. A.; MANO, N. C. S. M.; SOUSA, C. M. G. S. Caracterização física e química de híbridos de tomate em diferentes estádios de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. **Rev. Ceres vol.59 no.4 Viçosa July/Aug. 2012**

FERREIRA, S. M. R., QUADROS, D. A., KARKLE, E. N. L., LIMA, J. J., TULLIO, L. T., FREITAS, R. J. S. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 30(4): 858-864, out.-dez. 2010

FERREIRA, S.M.R. Características de qualidade de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum Mill*) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2004.

FIELDING J. M., ROWLEY K. G., COOPER P., O. DEA K. Increases in plasma lycopene concentration after consumption of tomatoes cooked with olive oil. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2005

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. p. 412. Viçosa: UFV, 2008.

FONTES PCR; SAMPAIO RA; FINGER FL. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 35: 21-25. 2000.

GARRIFO, M. GONZALES-FLORES, D.; MARCHENA, N. M.; PRIOR, E.; GARCIA-PARRA, J.; BARRIGA, C.; MORATINOS, A.B.R. A lycopene-enriched virgin olive oil enhances antioxidant status in humans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2012.

GIL, M. I.; CONESA, M.A.; ARTÉS, F. Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 25, p. 199-207, 2002.

GIOVANNUCCI E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: **review of the epidemiologic literature**. *J Natl Cancer Inst*. 2006

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P. VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 3, n. 3. P. 212-226, 2007

HARDER, M. N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; COELHO, A. A. D.; SAVINO, V. J. M.; FRANCO, C. F. O. Cholesterol and iron availability in yolk of laying hens feed with annatto (*Bixa orellana*). **Animal**, Cambridge, v. 1, n.1, p. 477-482, 2007

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, v. 1. 3ª ed. São Paulo, 2008.

JÓZSEF, F.; MOHÁ, C. F. C. History and future of food irradiation. **Trends in Food Science & Technology**, v.22, p. 121 – 126, 2011.

KADER, A. A.; MORRIS, M. A.; STEVENS, M. A. ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v. 103, n. 1, p. 6-11, 2002

KILCAST, D. Effect of Irradiation on Vitamins UK.Pat.KT227RY. **LEATHERHEAD FOOD RESEARCH ASSOCIATION**. Nov. 24, 1992.

LEE, S.K.; KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, p.207-220, 2000.

LE MOS, S. G.; BORGES, E. S.; NASCIMENTO, M. S.; OLIVEIRA, I. S. Irradiação do chá verde para controle de fungos *Aspergillus* sp.. *Scientia Plena* , v. 9, 2013

LIMA, A.L.S; LIMA, K. S. C.; COELHO, M. J.; SILVA, J; M.; GODOY, R.L.O.; PACHECO, S. Avaliação dos efeitos da Radiação Gama nos teores de Carotenoides, ácido ascórbico e açúcares do fruto Buriti do Brejo (*Mauritia flexuosa* L.) **Acta Amazônica**, v. 39, p. 649-654, 2009

LIMA, K. S. C.; LIMA, A. L.S.; FREITAS, L.C. DELLA-MODESTA, R. C.; GODOY, R. L. O. Efeitos de baixas doses de irradiação nos carotenóides majoritários em cenouras prontas para o consumo. **Ciências e tecnologia de Alimentos**, v.24, p. 183- 193, 2004.

LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. **Food Chemistry**, v. 70, n. 2, p. 167-173, 2000.

LURIE, S.; HANDOS, A.; FALLIK, E.; SHAPIRA, A.; Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature; **Plant Physiology** 110; 1996

MAHTO, R.; DAS, M. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), c.v “Dushehri” and “fazli” stored at 20 °C. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 447-455, 2013

MODANEZ, L. Aceitação de Alimentos Irradiados: uma questão de educação, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012. Disponível em <

http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Leila%20Modanez_D.pdf

Acessado em 05/12/2015

MONTEIRO, C.S.; BALBI, M.E. MIGUEL, O. G. PENTEADO, P.T.P.S.; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano” **Alim.Nutr.**, Araraquara v. 19, n.1 p.25-31. Jan/mar.2008

NAIKA, S.; JEUDE, J.V.L.; GOFFAU, M.; HILMI, M.; DAM, B.V. A Cultura do tomate. Agrodok 17. Fundação Agromisa e CTA, Wageningen, 2006.

NASCIMENTO AR; SOARES JÚNIOR MS; CALIARI M; FERNANDES PM; RODRIGUES JPM; CARVALHO WT. Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. **Horticultura Brasileira** 31: 628-635. 2013

NGUYEN, M.L., SCHUWARTZ, S.J., Lycopene stability during food processing. **Proc Soc Exp Biol Med.** 1998

PAULA, J.T.; GONÇALVES, N.B.; RESENDE, F.V.; ALBUQUERQUE, J.O.; PAULA, L.C.; MEERT, L.; RESENDE, J.T.V. Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro orgânico, colhidos em diferentes estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, 29:S.5182-S5189, 2011.

PINHEIRO- SANT’ANA, H. N.; STRINGHETA, P.C.; BRANDÃO, S. C. C. Avaliação de carotenóides totais, α e β caroteno em cenoura (*Daucus carota* L.) durante processamento a nível doméstico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Vol. 18, nº1, p.39-44, jan/abr 1998

PRAKASH, A.; MANLEY, J.; COSTA, S.; CAPORASO, F.; FOLEY, D. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. **Rad. Physics and Chemistry.** Vol. 63, Issues 3- 6, March. P. 387 – 390. 2002.

RICHELLE M, BORTLIK K, LIARDET S, HAGER C, LAMBELET P, BAUR M, et al. A food-based formulation provides lycopene with the same bioavailability to humans as that from tomato paste. *J Nutr.* 2002;

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Critical review of provitamin A determination in plant foods. **Journal Micronutritio Anal.** v.5., p. 191-225, 2004

SERVILI, M.; SELVAGGINI, R.; TATICCHI, A.; BEGLIOMINI, A.L.; MONTEDORO, G. Relationships between the volatile compounds evaluated by solid phase microextraction and the thermal treatment of tomato juice: optimization of the blanching parameters. *Food Chemistry*, Barking, v.71, n.3, p.407-415, 2000.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças, 2000

SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.B. Cultivo de tomate para industrialização. EMBRAPA HORTALIÇAS, 2009. Disponível em: <[http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/tomate /index.htm](http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/tomate/index.htm)>. Acesso em: 26/06/16.

SILVA, M. P., GOMES, F. S., FREIRE-JUNIOR, M., CABRAL, L. M.. Avaliação dos efeitos da radiação gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (*Rubus spp. L.*) **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 36, n. 3, p. 620-627, Setembro 2014

SINGH, S.P. PAL, R. K. Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and life and maintain quality of fresh guava fruit. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 2 p.28-35.jan/jun. 2003

SMIRNOFF N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-facetted molecule. **Current Opinion in Plant Biology**. 2004;

SONG, H.; BYUN, M.; JO, C.; LEE, C.; KIM, K.; KIM, D. Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice. **Food Control**, Guildford, v.18, p.5-10, 2007.

STAHL W, SIES H. Carotenoids: occurrence, biochemical activities, and bioavailability.In: Packer L, Hiramatsu M, Yoshikawa T. Antioxidant food supplements in human health. San Diego: Academic Press; 1999

TAIPINA, M. S.; MASTRO, N. L.; Radiation effects on vitamin A and β -carotene contents in liver products. **NUKLEONIKA**, São Paulo, 2003.

TOMATE NA UNICAMP, 2003, Campinas. **Anais do workshop: Tomate na**

TUCKER GA. Introduction. In: SEYMOUR GB; TAYLOR JE; TUCKER GA (Eds.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall. p.01-51. 1993

VENTURA, D.; RUFINO, J.; NUNES, C.; MENDES, N. Utilização da irradiação no tratamento de alimentos] [processamento geral de alimentos – Escola Superior Agrária de Coimbra- Portugal, 2010

VIEITES, R.L. **Conservação pós-colheita do tomate através do uso da radiação gama, cera e saco de polietileno, armazenados em condições de refrigeração e ambiente.** 131f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

VIEITES, R.L. **Conservação pós-colheita do tomate através do uso da radiação gama, cera e saco de polietileno, armazenados em condições de refrigeração e ambiente.** 131f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998

VILAS BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B., MALUF, W. R.; CHITARRA, M. I. F. Modificações textuais de tomates heterozigotos no loco *Alcobaça*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V. 35, n. 7. p. 1447 – 1453. 2005

WARNER J; ZHANG TQ; HAO X. 2004. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science* 84: 865-871

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva: WHO, p. 140-141. 1994.

XAVIER, A. M. LIMA, A.G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F.M.; BORTOLETO, G. G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1. p. 83-91, 2007.

YAMAGUCHI, M.; HOWARD, F. D.; LUH, B. S.; LEONARD, S. J. Effect of ripeness and harvest of fresh canning tomatoes. **Proc. Amer Soc. Hort. Sci.** v. 76, p. 565 – 566, 1960

YOUSSEF, E. Y.; GARCIA, C. E. R.; FIGUEIREDO, B.; SHIMOKOMAKI, M. Níveis residuais de sais de cura e seu efeito antioxidante em jerked beef. *Semina: Ciências Agrárias Londrina*, v. 32, n. 2, p. 645-650, 2011.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. **Agronomia Tropical**, v. 46, n. 1, p. 61-72, 1996.

ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SARMENTO, S.B.S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.46-55, 2009.