

Francine Oliveira Batista

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS DOSES DE RADIAÇÃO UV-C NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL INSTRUMENTAL DE MORANGO

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Alimentos da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia de Alimentos.
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Alcilene
Rodrigues Monteiro Fritz
Coorientador: Dr. Sc. Josamaique
Gilson Veneral

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Batista, Francine Oliveira
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS DOSES DE RADIAÇÃO UV-C
NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL
INSTRUMENTAL DE MORANGO / Francine Oliveira Batista
; orientadora, Dr^a Alcilene Rodrigues Monteiro
Fritz, coorientador, Dr. Sc. Josamaique Gilson
Venerai, 2017.
77 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis,
2017.

Inclui referências.

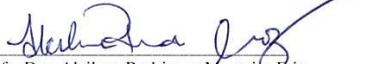
1. Engenharia de Alimentos. 2. Engenharia de
Alimentos. 3. Radiação de ultravioleta de onda curta
(UV-C). 4. morango. 5. propriedades físico-químicas.
I. Fritz, Dr^a Alcilene Rodrigues Monteiro . II.
Venerai, Dr. Sc. Josamaique Gilson. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

**“ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS DOSES DE
RADIAÇÃO UV-C NAS PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICA E SENSORIAL INSTRUMENTAL DE
MORANGO”**

Por

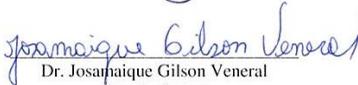
Francine Oliveira Batista

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Alimentos**, área de Concentração de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



Profa. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Orientadora



Dr. Josanaique Gilson Venerai

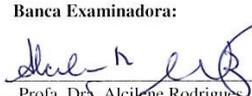
Coorientador



Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi

Coordenador

Banca Examinadora:



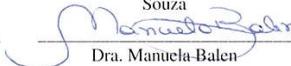
Profa. Dra. Alcilene Rodrigues
Monteiro Fritz



Prof. Dr. José Antônio Ribeiro de
Souza



Prof. Dra. Débora de Oliveira



Dra. Manuela Balen

Florianópolis, 24 de fevereiro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me guiar e dar força em todos os momentos da minha caminhada.

Meus profundos agradecimentos ao meu pai (Alberto) e mãe (Vera) pelo amor, compreensão e carinho, dedico essa vitória a vocês. A minha irmã (Stefane) pelas risadas e apoio que sempre encontrei em você mesmo à distância. Obrigada pelos inúmeros esforços que vocês, minha família, realizaram para que eu pudesse chegar aqui. Tenho sorte por ter vocês ao meu lado. Amo muito vocês!

Ao meu noivo Fábio Castro que sempre esteve ao meu lado mesmo nos momentos mais difíceis. Obrigada por me ajudar a vencer a distância nesses dois anos, pelo carinho e amor que você sempre me deu. Te amo.

Aos meus orientadores Dr.^a Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz e Dr. Josamaique Gilson Veneral, pela orientação e crescimento nessa caminhada.

Aos meus professores de graduação que sempre me incentivaram e me ajudaram a alcançar o mestrado Dr. Abranham Zuniga, Dr.^a Glêndara Martins e Me. Paulo Cleber.

Aos meus amigos Catiara, Thaís, Thiago, Romaildo e Shisdeane a amizade de vocês é um presente. Abraços.

A minha amiga de infância Thatiane, pelos momentos de distração e pelo apoio. Te adoro!

A Cíntia Maria Braga pelo apoio e ajuda para a realização desse trabalho. E também a amizade que fortalecemos durante esse ano.

Agradeço ainda aos laboratórios de Tecnologia de Leite, PROFI, LATESC, LTBR e Engebio pela contribuição na realização das análises.

Agradeço a todos os funcionários da UFSC que de forma direta ou indireta ajudaram no desenvolvimento desse trabalho, principalmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela oportunidade.

RESUMO

Nos últimos dez anos as tecnologias não térmicas vêm se mostrando uma boa alternativa para redução e ou inativação da carga microbiana e manutenção da qualidade de frutas e hortaliças. Dentre as tecnologias emergentes, tem-se a radiação por luz ultravioleta, inserida no comprimento de onda entre 200 a 280 nm denominada de radiação ultravioleta de onda curta (UV-C). Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo o desenvolvimento de um aparato experimental para tratamento de alimentos por radiação UV-C. Os morangos foram usados como modelo avaliados nas diferentes doses de radiação UV-C (1,44 e 2,8 kJ.m⁻²) e temperaturas de aplicação (10 e 20 °C). Os frutos tratados foram armazenados a 10 °C por cinco dias. Nesse período foram avaliados parâmetros físico-químicos e contagem de bolores e leveduras do morango. Os melhores resultados foram obtidos para tratamentos realizados a 10 °C e com doses de 1,44 kJ.m⁻² e 2,8 kJ.m⁻² de radiação UV-C. As características físico-químicas cor, firmeza, pH e sólidos solúveis totais (SST) dos morangos submetidos ao tratamento UV-C apresentaram melhores resultados a 10 °C nas duas doses estudadas 1,44 kJ.m⁻² e 2,8 kJ.m⁻² quando comparado ao controle (C) e a 20 °C ao término de cinco dias de armazenamento. A produção de compostos fenólicos e atividade antioxidante foi induzida pela luz UV-C, principalmente à temperatura de 10 °C e doses de 1,44 kJ.m⁻². Os morangos irradiados com UV-C nas duas temperaturas apresentaram reduções na contagem de bolores e leveduras em relação a amostra controle. Os resultados obtidos demonstram que tanto a tecnologia de radiação UV-C, quanto o sistema para irradiação de alimentos desenvolvido no presente trabalho pode ser usado com êxito no prolongamento da vida útil de frutas e hortaliças.

Palavras-chave: Radiação UV-C, morango, armazenamento refrigerado, caracterização físico-química.

ABSTRACT

In the last ten years non-thermal technologies have been shown a good alternative for reducing and or inactivating the microbial load and maintaining the quality of fruits and vegetables. Among the emerging technologies, there is ultraviolet light radiation, inserted in the wavelength between 200 and 280 nm called ultraviolet shortwave radiation (UV-C). In this context, the present study aimed to develop an experimental apparatus for the treatment of food by UV-C radiation. Strawberries were used as model and evaluated in the different doses of UV-C radiation (1.44 and 2.8 kJ.m^{-2}) at application temperatures (10 and $20 \text{ }^\circ\text{C}$). The treated fruits were stored at $10 \text{ }^\circ\text{C}$ for five days. During this period, physical-chemical parameters and mold and yeast counts of the strawberry were evaluated. The physico-chemical characteristics, color, firmness, pH and total soluble solids (TSS) of the strawberries submitted to UV-C treatment presented better results at $10 \text{ }^\circ\text{C}$ in the two studied doses 1.44 kJ.m^{-2} and 2.8 kJ.m^{-2} when compared to control (C) and at $20 \text{ }^\circ\text{C}$ at the end of five days of storage. The production of phenolic compounds and antioxidant activity was induced by UV-C light, mainly at $10 \text{ }^\circ\text{C}$ and doses of 1.44 kJ.m^{-2} . Strawberries irradiated with UV-C at both temperatures presented reductions in the counts of molds and yeasts in relation to the control sample. The results obtained demonstrate that both the UV-C radiation technology and the food irradiation system developed in the present work can be used successfully in prolonging the shelf life of fruits and vegetables.

Keywords: UV-C radiation, strawberry, refrigerated storage, physicochemical characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rota do ácido chiquímico e malônico.	27
Figura 2 - Espectro eletromagnético.	29
Figura 3 - Efeito da radiação UV-C no DNA dos micro-organismos. ..	30
Figura 4 - Fluxograma experimental de radiação UV-C.	35
Figura 5 - Equipamento utilizado para aplicação de radiação ultravioleta (UV-C).	36
Figura 6 - Morangos em processo de secagem.....	38
Figura 7 - Morangos submetidos ao tratamento UV-C.	38
Figura 8 - Morangos submetidos a diferentes tratamentos de UV-C (T1 a T4) e controle (C), logo após os tratamentos (tempo zero de armazenamento).	43
Figura 9 - Morangos submetidos a diferentes tratamentos de UV-C (T1 a T4) e controle (C) e controle, após quinto dia de armazenamento.	44
Figura 10 - Força de perfuração dos morangos submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.	48
Figura 11 - Porcentagem de inibição de DPPH em morangos submetidos a radiação UV-C em diferentes temperaturas 10 °C e 20 °C por 5 dias.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal do morango.....	24
Tabela 2 - Efeitos do tratamento com UV-C em frutas e hortaliças.....	31
Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados nos experimentos de radiação UV-C em morangos.....	39
Tabela 4 - Resultados para os parâmetros de cor L*, a* e b* obtidos para os morangos submetidos a radiação UV-C em diferentes temperaturas 10 °C e 20 °C por 5 dias.....	45
Tabela 5 - pH e Sólidos Solúveis Totais do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.....	50
Tabela 6 - Teor de compostos fenólicos do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.....	55
Tabela 7 - Reduções logarítmicas de bolores e leveduras do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C, logo após o processamento.....	56

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Abs – Absorbância

AOAC - Association of Official Analytical Chemists

BDA – Batata Dextrose

DPPH – (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

PET – Politereftalato de etileno

PVC- Policloreto de Vinila

SST – Sólidos solúveis totais

UR – Umidade relativa

UV- Ultravioleta

UV-C – Ultravioleta de onda curta

L* - luminosidade

a* - coordenada de cor (vermelho/verde)

b* - coordenada de cor (amarelo/azul)

μL - microlitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1.	Objetivo geral.....	21
1.1.2.	Objetivos específicos.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	Morango.....	23
2.1.1	Características.....	23
2.1.2	Qualidade pós-colheita do morango.....	25
2.2	Atividade antioxidante.....	25
2.3	Compostos fenólicos.....	26
2.4	Irradiação em alimentos.....	28
2.4.1	Radiação ultravioleta.....	29
2.5	Considerações sobre o estado da arte.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Matérias-primas.....	36
3.2	Equipamento para tratamento com radiação UV-C.....	36
3.3	Preparação das amostras.....	37
3.4	Metodologia para os tratamentos com radiação UV-C.....	38
3.5	Caracterização dos morangos submetidos à radiação UV - C.....	39
3.6	Cor.....	40
3.7	Firmeza.....	40
3.8	pH.....	40
3.9	Sólidos Solúveis Totais (SST).....	40
3.10	Atividade antioxidante.....	41
3.11	Compostos fenólicos.....	41
3.12	Contagem de bolores e leveduras.....	41
3.13	Análise estatística.....	42

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Cor.....	43
4.2	Firmeza.....	47
4.3	pH e Sólidos Solúveis Totais (SST).....	49
4.4	Atividade antioxidante.....	52
4.5	Compostos fenólicos.....	54
4.6	Contagem de bolores e leveduras.....	56
5	CONCLUSÕES.....	59
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
7	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira alcançou o terceiro lugar na produção mundial chegando em 2013 com cerca de 43,6 milhões de toneladas, sendo 44,2 % destinados ao mercado interno (SEBRAE, 2016). Apesar de números tão expressivos o país ainda desperdiça cerca de 30% de frutas e hortaliças e cerca de 24 % da população não ingere a quantidade mínima de frutas recomendada pela Organização Mundial da Saúde - OMS (OCDE, 2015).

O morango (*Fragaria x ananassa Duch.*) pertence à família rosácea, sendo amplamente explorado comercialmente. Trata-se de um fruto nativo de regiões de clima temperado, obtido do cruzamento de duas espécies (*Fragaria virginiana* e *Fragaria chiloensis*). Os morangos são pseudofrutos, ou seja, se originam de uma única flor com vários ovários, onde se desenvolvem os frutos (SANTOS, 1993).

No Brasil a produção de morangos se concentra principalmente em pequenos produtores alcançando em 2014 aproximadamente 105 mil toneladas (JUNIOR et al., 2015). Os principais estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo, Distrito Federal e Goiás (ANTUNES, CARVALHO, SANTOS, 2011).

Esse fruto é rico em compostos antioxidantes, principalmente vitamina C, flavonoides e ácido elágico. Esses compostos auxiliam na proteção dos tecidos contra luz ultravioleta, vírus, bactérias e parasitos além de através dos seus mecanismos de ação desencadear inibição de radicais livres. Os radicais livres são produtos do próprio metabolismo celular, resultando em danos a lipídios, ácidos nucleicos e proteínas podendo ocasionar a morte celular. Alguns estudos demonstram que o consumo destes compostos tem efeitos benéficos no combate a diversas doenças. (OLSSON, et al., 2004; PINTO; LAJOLO; GENOVESE, 2008; ZHANG, et al., 2008).

O morango é uma fruta altamente perecível, com perdas pós-colheita de até 40 %, devido à sua alta taxa respiratória, e das condições não adequadas de manuseio durante o transporte, armazenamento e comercialização. Tais problemas acarretam em diversas alterações físicas e químicas e conseqüentemente o aparecimento de micro-organismos, sendo necessário o emprego de tecnologias que auxiliam na manutenção da sua qualidade pós-colheita (PONCE et al., 2009; COPETI, 2010, SILVA, 2010).

O armazenamento sob refrigeração ajuda na redução da taxa respiratória dos frutos e, conseqüentemente danos físicos, deterioração

química e microbiológica. Entretanto, observa-se que apenas a redução da temperatura não é eficiente no aumento e/ou manutenção da vida útil dos frutos, necessitando do emprego de outras tecnologias que aumentem sua vida útil. Nesse contexto surge como alternativo o emprego de tecnologias não térmicas como radiação ultravioleta (UV), ozonização, ultrassom, pulsos elétricos, entre outros (ALEXANDRE et al., 2012; BHAT; STAMMINGER, 2015).

A radiação ultravioleta (UV) é uma técnica de desinfecção física que compreende uma faixa de comprimento de onda de 100 a 400 nanômetro (nm), podendo ser subdividida em ultravioleta de onda longa (UV-A), entre 315 – 400 nm; ultravioleta de onda média (UV-B), entre 280 – 315 nm; ultravioleta de onda curta (UV-C), entre 200 – 280 nm; ultravioleta no vácuo (UV-V), entre 100 – 200 nm. Sendo empregada para alimentos frescos de origem animal e vegetal e, bem como, para tratamento de água (ARENAS, 2014). Uma das vantagens dessa tecnologia é que não altera as características sensoriais do fruto e não gera resíduos, podendo assim, ser empregada para esterilização de frutas (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

Os equipamentos utilizados para aplicação de UV são geralmente de baixo custo, usando lâmpadas germicidas de mercúrio de baixa pressão, atuando na faixa de 254 nm, sendo eficazes na inativação de micro-organismos (GUEDES et al., 2009).

Neste contexto o presente estudo teve por objetivo desenvolver um aparato experimental para aplicação de radiação UV-C em produtos alimentícios, usando o morango como sistema modelo para avaliar a eficiência do processo na qualidade físico-química e microbiológica dos frutos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Desenvolver um equipamento para aplicação da luz ultravioleta em morangos e estudar os efeitos das doses de radiação UV-C nas características físico-químicas e microbiológicas de morangos.

1.1.2. Objetivos específicos

- Desenvolver um aparato experimental para aplicação de radiação UV-C;
- Avaliação físico-química dos morangos quanto a cor, textura, pH, perda de massa e sólidos solúveis totais (SST), em diferentes doses de UV-C e temperaturas de aplicação;
- Caracterização dos compostos fenólicos e atividade antioxidante dos morangos nas diferentes doses de UV-C e temperaturas de aplicação;
- Avaliação o uso de UV-C na inibição de crescimento de bolores e leveduras em morango.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordada uma revisão sobre o estado da arte na aplicação de radiação UV-C para frutas e hortaliças. Como definidos na introdução e nos objetivos estabelecidos para este trabalho, dando ênfase sobre o fruto modelo (morango) e suas características, bem como aplicação da tecnologia UV-C como método de conservação pós-colheita para frutas e hortaliças.

2.1 Morango

2.1.1 Características

O morangueiro é uma planta pertencente à família das rosáceas, sendo a espécie *Fragaria x ananassa* Duch a mais cultivada, originada por volta de 1750 na França (SANTOS, 1993). Os frutos do morango são denominados pseudofrutos, onde os frutos verdadeiros são os aquênios, conhecidos como sementes (ANTUNES, CARVALHO, SANTOS, 2011).

O morango é uma fruta não climatérica que alcança até 5 cm de diâmetro e coloração rosada, vermelha ou púrpura quando maduro. Possui alta taxa de respiração o que ocasiona rápida senescência, além de ser altamente suscetível à contaminação por fungos principalmente por *Botrytis cinerea* e *Rhizopus stolonifer* (FLORES CANTILLANO et al., 2008, ROMANAZZI et al., 2015).

Os morangos são desenvolvidos em clima quente e frio. O calor favorece o desenvolvimento das folhagens e o frio a fase floral e frutificação (VERDIAL, 2004). Além disso, as estações do ano onde têm-se dias longos e curtos, também chamado de fotoperíodo, está associado à formação do fruto podendo ser classificado em três grupos: plantas de dias curtos, longos ou neutras. As cultivares de dias curtos favorecem o desenvolvimento de frutos, sendo as mais utilizadas no Brasil (SANTOS, 1993; VERDIAL, 2004).

A produção brasileira de morangos alcançou em 2014 o total de 105 mil toneladas, sendo a maior demanda dos frutos na região Sudeste, com disponibilidade em todos os períodos do ano. O índice de exportação é baixo quando comparado a de outras pequenas frutas devido às características morfológicas e físicas do fruto (SILVA, 2010; JUNIOR et al., 2014).

No contexto nacional a produção comercial do morango é realizada em vários estados, sendo que no estado de Santa Catarina a

produção localiza-se principalmente nas regiões de Rancho Queimado, Águas Mornas e Água Doce (COPETTI, 2010). A produção concentra-se principalmente em pequenos produtores que atendem as demandas locais, em 2015 compreendeu-se até 224,8 ha e com produção de 9.911 toneladas. As principais cultivares utilizadas são Aromas, Camarosa e Oso Grande (VERONA; NESI; BRUGNARA, 2008; COPETTI, 2010; MOLINA, 2016).

Na Tabela 1 estão apresentados os valores nutricionais do morango por diferentes autores (TACO, 2011; USDA, 2017). Sendo reportado em diferentes pesquisas o alto conteúdo de vitamina C encontrado no morango (PROTEGGENTE et al., 2002; GIAMPIERI et al., 2012). O fruto contém 5 % da quantidade de ingestão recomendada de magnésio estabelecida pelas dietas diária europeia e americana (GIAMPIERI et al., 2012).

Tabela 1 - Composição centesimal do morango.

Níveis de nutrientes	Fonte	
	TACO ¹ (2011)	USDA ² (2017)
Umidade (%)	91,5	90,95
Proteína (g/100g)	0,9	0,67
Lipídios (g/100g)	0,3	0,3
Carboidratos (g/100g)	6,8	7,68
Fibra Alimentar (g/100g)	1,7	2,0
Cinzas (g/100g)	0,5	0,4
Cálcio (mg/100g)	11	16
Magnésio (mg/100g)	10	13
Vitamina C (mg/100g)	-	58,8
Potássio (mg/100g)	-	0,153

¹ – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos;

² – *United States Department of Agriculture*.

O morango é rico em compostos antioxidantes que protegem o organismo humano de doenças crônicas causadas pelos radicais livres como câncer, doenças cardíacas, inflamações, entre outras. Também conhecido como fitoquímicos ocasionam diversas alterações químicas que dão origem ao sabor, cor e aroma dos frutos (ERKAN et al., 2008; VIZZOTO, 2009).

2.1.2 Qualidade pós-colheita do morango

Segundo Bezerra (2013), a qualidade das frutas está associada ao grau de aceitabilidade do consumidor por um determinado produto. Essa aceitabilidade é dada a partir da avaliação de características como atributos físicos, químicos e sensoriais. Através destes atributos os produtores podem selecionar geneticamente os cultivares que mais atendam essas demandas.

Práticas pós-colheita inadequadas do morango causam injúrias mecânicas e favorecem as deteriorações físico-químicas que podem reduzir a vida útil desses frutos, como por exemplo, perda de firmeza pela degradação da parede celular e perda de água que favorece a contaminação por fungos (FLORES CANTILLANO et al., 2008). Para manutenção dos frutos emprega-se redução da temperatura até 5 °C após a colheita. Depois de embalados são mantidos em câmaras frias entre 0 a 4 °C com umidade controlada de 90 a 95 % (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011).

A refrigeração é a técnica mais empregada para manutenção da qualidade de frutas e hortaliças. Porém seu efeito sobre patógenos é variável dependendo do micro-organismo (SENHOR et al., 2009; USALL et al., 2016). Com a alta perecibilidade do fruto devido a seu alto metabolismo e teor de água tem-se buscado tecnologias alternativas para prolongar a vida pós-colheita (ALOTHMAN; BHAT; KARIM, 2009, CRIZEL, 2012).

Os tratamentos não térmicos são uma alternativa viável ao processamento térmico. Exemplos desses são radiação ultravioleta, pulsos elétricos, pressão hidrostática e ozônio (GUEDES et al., 2009; BHAT; STAMMINGER, 2015). As vantagens da aplicação de tratamentos não térmicos em frutos são não deixarem resíduos nos produtos finais, preservar as características nutricionais e mínimo impacto ambiental (GUERRERO - BELTRÁN; BARBOSA - CÁNOVAS, 2004).

2.2 Atividade antioxidante

Os antioxidantes são substâncias capazes de retardar ou impedir danos causados pela oxidação em biomoléculas, estando em concentrações menores comparadas ao agente oxidante (GARCÍA-ALONSO et al., 2004; NUNES, 2015). Dentre seus mecanismos de ação podemos citar o impedimento da peroxidação, extinção de O₂, quebra de cadeias auto-oxidantes e, entre outras (OROIAN; ESCRICHE, 2014).

São classificados em dois grupos, antioxidantes primários e secundários. Os primários são capazes de doar elétrons ou hidrogênio para substâncias não estáveis inibindo e retardando o surgimento de radicais livres. O segundo grupo possui uma ampla gama de ações como ligações a íons metálicos, inativação de espécies reativas de oxigênio (do inglês Reactive Oxygen Species – ROS), absorção de radiação ultravioleta (UV) e, entre outros (MAISUTHISAKUL; SUTTAJIT; PONGSAWATMANIT, 2007; NUNES, 2015).

As plantas possuem em sua estrutura o oxigênio molecular (O_2), importante para diversas funções celulares como respiração aeróbica, fotossíntese e fotorrespiração. Porém levam a formação de ROS que ocasionam degradação dos tecidos celulares devido a oxidação (BARBOSA et al., 2014).

Em frutas e verduras os compostos antioxidantes mais encontrados são fibras, vitaminas, flavonoides e carotenóides. Responsáveis por evitar os danos causados pelos radicais livres devido a oxidação. Os radicais livres são moléculas ou átomos altamente instáveis e quimicamente reativos. Contém em sua estrutura um ou mais elétrons não pareados em seu orbital (GONÇALVES, 2008). Essas moléculas podem oxidar ácidos nucleicos, proteínas e lipídeos ocasionando o surgimento de diversas doenças degenerativas como câncer e arteriosclerose (SOUZA, 2008; NUNES, 2015).

Em pesquisas realizadas em diferentes frutos foram observados valores superiores em morangos para atividade antioxidante ao encontrados em maçã, pera, uva, tomate, laranja e kiwi (WANG; CAO; PRIOR, 1996; SCALZO et al., 2005). Os principais antioxidantes encontrados no morango são vitamina C, antocianinas e flavonoides (TULIPANI et al., 2009; GIAMPIERI et al., 2012). Contudo fatores externos como condições de colheita, armazenamento e processamento também podem agir na concentração destes compostos (CAPOCASA et al., 2007; HARASYM; OLEDZKI, 2013).

2.3 Compostos fenólicos

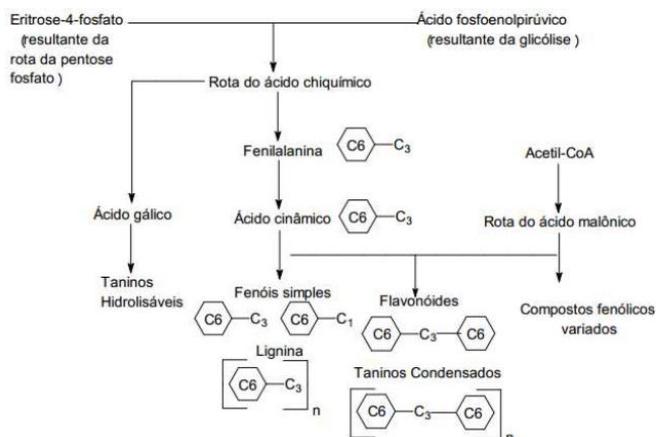
Os compostos fenólicos são compostos amplamente distribuídos na natureza, com mais de 8 mil tipos encontrados em plantas. Podem originar-se de ações de defesa da planta, metabólitos secundários, ou da coloração dos alimentos como a pigmentação (SOUZA, 2008; SILVA, 2010).

Quimicamente possuem um anel aromático ligado a um ou mais grupos hidroxilas (SOUZA, 2013; ALU'DATT et al., 2016). Também

podem ser derivados de reações de adição e condensação do carbono com açúcares (glicosídeos), aminas, ácidos orgânicos, ácidos carboxílicos e lipídeos (YANG, 2009). Os compostos fenólicos possuem ação antioxidante devido a sua capacidade de sequestrar os radicais livres. Sua eficiência depende da estabilidade do composto bem como o número e localização dos grupos hidroxilas (PODSEDEK, 2007; COPETTI, 2010).

As vias de síntese dos compostos fenólicos ocorrem de duas maneiras: a rota do ácido chiquímico, comum em plantas superiores, e a rota do ácido malônico, em fungos e bactérias como mostra a Figura 1. A rota do ácido chiquímico produz aminoácidos aromáticos, a partir de intermediários da glicólise e da via pentose fosfato, em sua maior parte as fenilalaninas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Figura 1 - Rota do ácido chiquímico e malônico.



Fonte: TAIZ E ZEIGER (2004).

Os compostos fenólicos são classificados em dois grupos: flavonoides (polifenóis) e não flavonoides (fenóis simples ou ácidos). O primeiro grupo é amplamente encontrado em vegetais e frutas. Devido a sua estrutura química, anel benzênico ligado a grupamento carboxílico e agrupamentos hidroxila, conferem ação antioxidante (ANGELO; JORGE, 2007; SILVA, 2010).

Aos flavonoides são atribuídas as funções de pigmentação e função de defesa e atração (ex: polinizadores). Dentre estas substâncias encontram-se as antocianinas, isoflavonas, flavonas, flavonóis

(MEYERS et al., 2003; GIAMPIERI et al., 2012). O grupo dos flavonoides são os principais grupos presentes no fruto morango principalmente as antocianinas (CAPOCASA et al., 2008; TULIPANI et al., 2009).

As antocianinas são responsáveis pela pigmentação da maioria dos vegetais. Sua coloração abrange do azul ao vermelho dependendo de suas ligações químicas, grupos hidroxila e pH do vacúolo celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Em pesquisa realizada por Silva et al., (2014) foram identificados mais de 25 tipos de antocianinas em diferentes cultivares de morangos, sendo as variedades com maiores teores a Camarosa e Tudney. Além das antocianinas serem utilizadas como corantes naturais pesquisas apontam potencial benéfico de seu consumo, na prevenção de diabetes tipo 2, obesidade, inflamações e certos tipos de câncer (GIAMPIERI et al., 2012; SOUZA, 2013).

Com os benefícios a saúde humana do consumo do fruto morango, se faz necessário o estudo de novas tecnologias para reduzir os fatores de deterioração sem afetar o valor nutricional (ALOTMAN; BHAT; KARIM, 2009; BHAT; STAMMINGER, 2015). Dentre elas, a radiação ultravioleta (UV) demonstra em diferentes pesquisas o aumento da capacidade antioxidante e concentração de compostos fenólicos em diferentes doses de aplicação (BAKA et al., 1999; ERKAN et al., 2008; POMBO et al., 2009).

2.4 Irradiação em alimentos

A irradiação de frutas e verduras possui como finalidade redução da contaminação por micro-organismos patogênicos e/ou deteriorantes ocorrida durante a pós-colheita. Além de ser empregado como método de conservação, retardando o amadurecimento de seus produtos (BARBOSA, 2015).

O emprego da radiação em alimentos começou em 1895 com o descobrimento dos raios - X por Roentgen e Becquerel. Onde em 1921 foi utilizada pela primeira vez para inativação de triquinose em carne de porco, pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (DIEHL, 2002).

As fontes de irradiação eletromagnéticas empregadas para inativação microbiana compreendem radiação ultravioleta (UV), raios - X, micro-ondas e raios gama. O efeito da aplicação de UV nas células ocorre na faixa de 200-280 nanômetros (nm), diretamente no DNA. Sendo um tratamento superficial devido ao baixo poder de penetração nos tecidos (LAROUSSE; LEIPOLD, 2004; SOUZA, 2012).

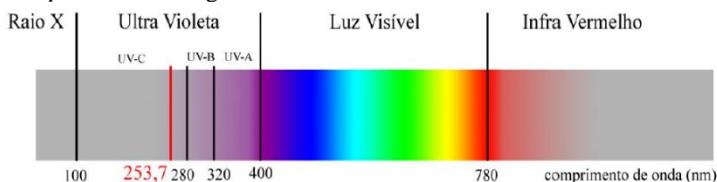
Segundo a legislação brasileira a irradiação de alimentos é definida como tratamento que utiliza radiação como forma de ionizar átomos, nas doses suficientes para atender as demandas do produto (BRASIL, 2001).

2.4.1 Radiação ultravioleta

A radiação eletromagnética de ultravioleta está compreendida entre 100 a 400 nanômetros (nm), faixa entre a luz visível e raios – X, como mostra a Figura 2. O comprimento de onda UV é dividido em três categorias de acordo com seu efeito biológico (BINTSIS, LITOPOULOU-TZANETAKI, ROBINSON, 2000, ARENAS, 2014; BARBOSA, 2015):

- UV de onda curta (UV-C) – 100 a 280 nm;
- UV de onda média (UV-B) – 280 a 315 nm;
- UV de onda longa (UV-A) – 315 a 400 nm.

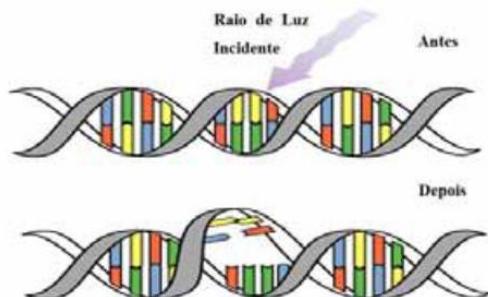
Figura 2 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de NEVES (2008).

A radiação UV-C age em bactérias, vírus e fungos alterando seu material genético (ácidos nucleicos) inibindo sua replicação. Além de causar danos fotoquímicos na estrutura dos micro-organismos como desnaturação proteica e desorganização da parede celular (EVANGELISTA, 2015). Sua máxima eficiência ocorre na faixa de 254 nm onde ocorre a formação de dímeros de timina, inibindo a replicação celular, como apresentado na Figura 3 (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

Figura 3 - Efeito da radiação UV-C no DNA dos micro-organismos.



Fonte: Adaptado de ARENAS (2014).

Através da descarga elétrica os íons da fase gasosa das lâmpadas se ionizam liberando fótons responsáveis pelas alterações no DNA (OTTO et al., 2011). A radiação penetra pela parede celular até o núcleo da célula impedindo a reprodução de bactérias, vírus, fungos, protozoários e algas (NEVES, 2014).

Além da influência na inativação microbiana o tratamento com UV-C promove estresse abiótico nos tecidos das plantas ativando seus mecanismos de defesa (SEVERO, 2009). Os efeitos desses mecanismos incluem a modificação da parede celular, aumento da atividade antioxidante, acúmulo de compostos antimicrobianos e compostos fenólicos (ALOTHMAN; BHAT; KARIM, 2009, TIECHER, 2010). A aplicação da tecnologia de UV-C em frutas e vegetais induz um fenômeno chamado *hormesis*, onde em baixas doses estimulam a síntese e acúmulo de metabólitos secundários, principalmente os compostos fenólicos (MERCIER et al., 2000; CHARLES; ARUL, 2007).

De acordo com Souza (2012) o tratamento com UV-C não é influenciado pelo pH e temperatura do meio. Porém a inativação microbiana ocorre apenas se a radiação atingir diretamente o micro-organismo, devido a ser uma técnica superficial de desinfecção.

As principais fontes de radiação UV empregadas para desinfecção são as lâmpadas de vapor de mercúrio. Essas lâmpadas emitem o comprimento de onda mais próximo para inativação microbiana entre 260 a 265 nm (ARENAS, 2014). São fabricadas com quartzo ou vidro devido ao bom índice de transmitância da UV-C (BARBOSA, 2015).

As lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão mais encontradas são feitas de vidro com uma camada interna de fósforo, permitindo até 85 % de emissão de UV-C. Uma pequena quantidade de

mercúrio e gás inerte é encontrado em seu interior, quando produzida a excitação dos elétrons e os átomos de mercúrio ocorre a emissão da radiação ultravioleta. Em contato com o fósforo ocorre a conversão da luz UV para luz visível (ARENAS, 2014; BARBOSA, 2015). Sua vida útil depende de fatores como a geometria do eletrodo, corrente aplicada, preenchimento do gás nobre, frequência de uso, temperatura do ambiente e circuitos elétricos (GUEDES et al., 2009).

A aplicação de UV-C para frutas e verduras tem sido amplamente estudada a fim de avaliar seu potencial efeito benéfico como tratamento pós-colheita. Sua utilização visa a redução da carga microbiana inicial, induzir o aumento de metabólitos secundários e reduzir a velocidade de senescência (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

O tratamento com UV-C se destaca por não deixar resíduos nos produtos finais, baixo custo energético, tratamento a frio e não ter restrições legais (RIVERA-PASTRANA et al., 2014). Além de o equipamento necessário ser de simples instalação e pouco contato do manuseador para sua operação (KEYSER et al., 2008; SHEN et al., 2013; EVANGELISTA, 2015).

Neste contexto diversos estudos avaliaram a aplicação de radiação UV-C para tratamento de frutas e verduras visando a sanitização (MARQUENIE et al., 2003; CIA et al., 2009; MANZOCCO et al., 2010), aumento de seus compostos fenólicos (ERKAN et al., 2008; BRAVO et al., 2013) e redução da senescência no armazenamento (BAKA et al., 1999; PAN et al., 2004; COTE et al., 2013). Ainda podemos destacar o uso da radiação UV-C no controle de esporos de fungos como *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium corylophilum* e *Eurotium rubrum* com resultados promissores (BEGUM, HOCKING, MISKELLY, 2008).

Na Tabela 2 se encontram os principais estudos da aplicação da radiação UV-C em frutas e hortaliças e seus efeitos biológicos.

Tabela 2 - Efeitos do tratamento com UV-C em frutas e hortaliças.

Fruta	Observações	Referência
Abacate	Frutos submetidos ao tratamento de UV-C apresentaram aumento nas porcentagens de atividade antioxidante e menor perda de massa.	DAIUTO et al., 2013.
Brócolis	Combinação de tratamento com UV-C (5, 8 e 10 kJ.m ⁻²) e calor (42, 45 e 48°C) retardou a degradação da clorofila e manutenção das características organolépticas.	LEMOINE et al., 2008.

Cenoura	O efeito da combinação de UV-B (1.5 kJ.m ⁻²) e UV-C (4.0 kJ.m ⁻²) resultaram no aumento dos teores de compostos fenólicos e redução da carga microbiana.	FORMICA-OLIVEIRA et al., 2017.
Manga	Frutos expostos a doses de 2.46 e 4.93 kJ.m ⁻² apresentaram redução de infecções fúngica e preservando a qualidade dos frutos.	GONZÁLEZ-AGUILAR; ZAVALETA-GATICA; TIZNADO-HERNÁNDEZ, 2007.
Mirtilo	Redução da podridão dos frutos em dose de UV-C (2 kJ.m ⁻²), sendo também aumentado a concentração de flavonoides.	PERKINS-VEAZIE; COLLINS; HOWARD, 2008.
Morango	Doses de 3 e 33 W/m ² provocaram redução no amadurecimento, baixo desenvolvimento de cor e amaciamento. Combinação de calor e UV-C com doses variando 0.01 a 1.50 J/cm ² , obtendo inativação dos conídios do <i>Botrytis cinerea</i> e <i>Monilinia fructigena</i> . Diminuição da transcrição dos genes responsáveis pelo amadurecimento. Aumentando a firmeza dos frutos.	COTE et al., 2013; MARQUENIE et al., 2002;
Pêssego	Redução das injúrias da refrigeração e prolongamento da vida de prateleira em armazenamento a 5 °C.	POMBO et al., 2009. GONZALEZ-AGUILAR; WANG; BUTA, 2004.
Pimenta	Os frutos tratados com dose de 7 kJ.m ⁻² mantiveram a firmeza e a qualidade quando armazenados sob refrigeração. Além da redução da incidência de fungos.	VICENTE et al., 2005.
Tomate	Tratamento com doses de UV-C (1.0, 3.0 e 12.2 kJ.m ⁻²), aumentaram a concentração de compostos bioativos (licopeno e compostos fenólicos).	BRAVO et al, 2013.
Uva	Apresentou eficiente redução de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> nas bagas não alterando seus atributos físico-químicos.	CIA et al., 2009.

2.5 Considerações sobre o estado da arte

Observa-se pela revisão bibliográfica que, o tratamento de alimentos com radiação UV-C surgiu de forma promissora nas últimas décadas, devido suas vantagens de aplicação.

Neste sentido, muitos trabalhos visando à melhoria de alimentos, têm demonstrado a eficiência do tratamento com UV-C no que tange parâmetros como perda de peso, taxa de respiração, atributos sensoriais, atividade antioxidante e componentes fenólicos (WANG et al., 2009; COTE et al., 2013).

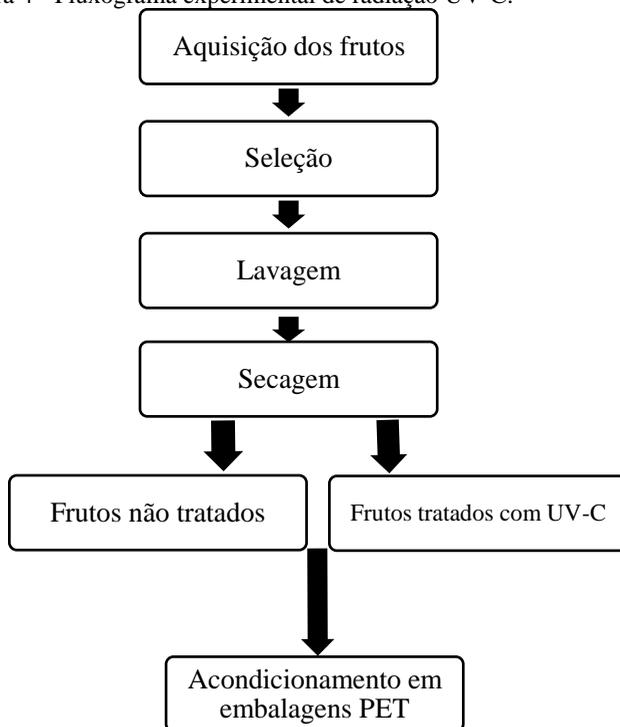
Os tratamentos com UV-C propiciam ainda redução da carga microbiana na superfície de frutas e verduras, como: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Penicillium expansum* e *Botrytis cinerea* (VICENTE; SOZZI, 2007; SYAMALADEVI et al., 2014; YAN et al., 2014).

Desta forma, o desenvolvimento de uma unidade experimental para o tratamento de alimentos por radiação UV-C para frutas e verduras auxilia no levantamento de dados e bem como na elucidação dos fenômenos e reações físico-químicas presentes neste tipo de processamento de alimentos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados os materiais e métodos utilizados na fase experimental. Também será apresentado o aparato experimental desenvolvido para a pesquisa com radiação UV-C. Na Figura 4 está esquematizado o fluxograma experimental utilizado para o trabalho.

Figura 4 - Fluxograma experimental de radiação UV-C.



Fonte: Autor (2017).

3.1 Matérias-primas

Os morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) da variedade Oso Grande foram comprados no mercado local, da cidade de Florianópolis – SC e mantidos sob refrigeração a 7-8 °C por 24 h.

3.2 Equipamento para tratamento com radiação UV-C

A câmara de radiação UV-C desenvolvida no presente trabalho está apresentada na Figura 5, a fim de evitar a influência do meio, usou-se área de irradiação reduzida e amostra fixa em cada posição (ERKAN et al., 2008; BARBOSA, 2015; EVANGELISTA, 2015).

Figura 5 - Equipamento utilizado para aplicação de radiação ultravioleta (UV-C).



Fonte: Autor (2017).

Onde: 1) Indicador de temperatura (Digimec – BTC 9090); 2) Temporizador eletrônico digital microprocessado (TT-34); 3) Caixa de disjuntores; 4) Termopar tipo j (Salcas); 5) Válvula de duas vias (Hoke); 6) Banho termostático (microquímica); 7) Lâmpada fluorescente germicida UV-C (Osram – 24W, 2G11); 8) Cooler (Intel).

A câmara de radiação possui estrutura de aço inoxidável com dimensões de 40 x 40 x 40 cm. Seu interior é composto por 6 lâmpadas

de vapor de mercúrio de baixa pressão fluorescentes germicidas UV-C (Osram – 24 W, 2G 11), com pico de emissão de luz no comprimento de onda de 254 nm. Estando localizadas na parte superior do equipamento.

O controle de temperatura dentro da câmara, foi realizado por um banho termostático com uma mistura de etilenoglicol e água conectado à camisa da câmara. A coleta dos dados de temperatura foi realizada por meio de um termopar (tipo J) acoplado ao equipamento e posicionado o mais próximo possível do alimento a ser irradiado.

As doses de radiação obtidas no equipamento foram de 1,44 e 2,8 kJ.m^{-2} para os tempos de 10 e 15 min respectivamente. As medidas de radiação foram obtidas com auxílio de um radiômetro (UV – Integrator model UV – int 150T range 250-410 nm). Cabe salientar que, previamente aos tratamentos com os morangos, testes com o radiômetro foram realizados em toda a superfície do suporte para os frutos, a fim de se evitar diferentes irradiâncias {dose por tempo (kJ.m^{-2})} na superfície dos morangos.

3.3 Preparação das amostras

A seleção dos morangos para os tratamentos com UV-C e controle, foram realizadas para tentar uniformizar tamanho e índice de maturação das amostras.

Foram selecionados de acordo com o tamanho, grau de maturação, livres de danos físicos e microbiológicos visíveis. Em seguida, foram higienizados com água para a retirada de sujeiras e posteriormente colocados para secar a temperatura ambiente.

A secagem foi realizada por um período de 2 horas, dentro da câmara de fluxo laminar previamente limpa e desinfetada como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Morangos em processo de secagem.



Fonte:

Autor (2016).

Após a secagem, os morangos foram separados e acondicionados em embalagens de Polietileno tereftalato - PET, em quantidades suficientes para as posteriores análises microbiológicas e físico-químicas, dos grupos de amostra: a) frutos controle e b) frutos irradiados com UV-C.

3.4 Metodologia para os tratamentos com radiação UV-C

Os morangos foram colocados num suporte a 10 cm de distância das lâmpadas germicidas como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Morangos submetidos ao tratamento UV-C.



Fonte: Autor (2016).

As temperaturas adotadas para os tratamentos foram de 10 e 20 °C. Durante os experimentos, foi realizada a rotação dos frutos para garantir uma exposição uniforme à radiação UV-C (COTE et al., 2013).

As amostras tratadas foram acondicionadas em bandejas de Politereftalato de etileno (PET) com dimensões externas (175 x 115 x 38 mm) e envoltas com filme de Policloreto de Vinila (PVC), com espessura 15 µm e permeabilidade ao O₂ (5680 cm³.m⁻².dia⁻¹) e CO₂ (80520 cm³.m⁻².dia⁻¹). Em seguida armazenadas em câmara refrigerada (DIST, Brasil) a 10 °C e, com 90-95 % de UR durante 5 dias.

Na Tabela 3, são apresentadas as condições experimentais empregadas para os tratamentos de radiação UV-C utilizados nos testes com morangos.

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados nos experimentos de radiação UV-C em morangos.

Tratamento	Condição experimental	
	T (°C)	Dose de UV-C (kJ.m ⁻²)
T1	10	1,44
T2	10	2,80
T3	20	1,44
T4	20	2,80

3.5 Caracterização dos morangos submetidos à radiação UV - C

Após os tratamentos os morangos foram acondicionados à temperatura de 10 °C e as análises realizadas durante 5 dias. Para cada tratamento (T1 a T4) e controle como apresentado na Tabela 3, os morangos foram analisados no tempo zero e após 3 e 5 dias de armazenamento. Os parâmetros físico-químicos e químicos analisados foram: cor, firmeza, pH, sólidos solúveis, atividade antioxidante e compostos fenólicos. Foi realizado também contagem total de bolores e leveduras. Todas as análises foram realizadas em triplicata. A amostra controle também foi analisada nas mesmas condições.

As análises microbiológicas do tempo zero para as amostras pertencentes ao grupo controle, foram realizadas imediatamente após a etapa de secagem na câmara de fluxo laminar. Enquanto as amostras pertencentes ao grupo, foram realizadas imediatamente após os tratamentos na câmara de UV-C.

3.6 Cor

A cor foi determinada usando um colorímetro (Chroma Meter CR 400, Konica Minolta Sensing, INC. Made in Japan) operando no sistema CIELab (L^* , a^* , b^*), em ângulo de observação de 10° e sistema de iluminação D65, sendo os valores de luminosidade ($L^* = 0$ (preto) a 100 (branco)), a^* variando de vermelho ao verde (+ a = vermelho, - a = verde) e b^* variando de azul ao amarelo (+ b = amarelo, - b = azul). As análises foram realizadas em 15 frutos escolhidos aleatoriamente (dentro do lote de um mesmo tratamento) e a leitura foi realizada nos 2 pontos equatoriais do fruto (LI et al, 2014).

3.7 Firmeza

As análises de firmeza foram realizadas utilizando um texturômetro TA-XT2i (Texture analyser - Programa Stable Micro System's texture Expert Exceed) com célula de carga de 50 N. Estas análises foram realizadas com uma sonda cilíndrica de 45 mm de diâmetro e com velocidade de ensaio, pré-ensaio de 1, 2 e 5 mm/s e deformação de 10 %. Quinze frutos aleatórios foram utilizados, para cada tratamento, sendo realizadas duas perfurações na região (área) equatorial dos mesmos.

3.8 pH

A medida de pH foi realizada utilizando um pHmetro digital (texto, 205, Alemanha), conforme AOAC (2002), sendo os resultados obtidos de leitura direta do suco puro do morango (30 ml), para cada tratamento (controle e tratamento T1 a T4).

3.9 Sólidos Solúveis Totais (SST)

As análises de SST, foram realizadas por meio de um refratômetro manual (Pocket refractometer ATAGO PAL – BXRI), com capacidade de determinação de 0 – 93 %, utilizando 3 gotas do suco puro de morango, para cada amostra (controle e tratamento T1 a T4). Os resultados foram expressos em °Brix de acordo com AOAC (2002).

3.10 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada de acordo com a metodologia baseada na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes. Duas gramas de cada amostra foram diluídas em um béquer, contendo 40 mL de etanol a (50 %) (v/v). Em seguida as amostras foram homogeneizadas, e deixadas em repouso por 60 min a temperatura ambiente. Em seguida, foram centrifugadas a 15.000 (rpm) por 15 min e o sobrenadante (de cada amostra), transferido para um balão de 100 mL para preparação dos extratos. As leituras dos extratos foram realizadas em espectrofotômetro a 515 nm. A capacidade de sequestrar o radical foi realizada através da porcentagem de inibição de acordo com equação abaixo (LIU et al.,2002; SÁNCHEZ-MORENO et al. 2002; RUFINO et al., 2007).

$$\% \text{ Inibição} = \frac{(\text{Abs. controle} - \text{Abs. amostra})}{\text{Abs. Controle}} \times 100$$

Onde: Abs – Absorbância.

3.11 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados pelo método de reagente Folin – Ciocalteu. Para obtenção do extrato, 5 g de polpa de morango foram suspensos em 15 mL de metanol e centrifugados a 4000 rpm, por 15 min. Do sobrenadante foram retirados 15 µL, os quais foram adicionados a uma solução de, 235 µL de metanol, 4000 µL de água deionizada e 250 µL de Folin – Ciocalteu. Após 3 min a solução resultante foi neutralizada com 500 µL de carbonato de sódio e mantida no escuro por 2 h. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 725 nm e os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de fruta fresca. Os resultados foram quantificados pela interpolação da curva padrão de ácido gálico e os valores expressos em miligrama (mg) de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de fruta fresca (SINGLETON, ROSSI, 1965).

3.12 Contagem de bolores e leveduras

A contagem padrão de bolores e leveduras foi realizada por espalhamento em superfície. Para tanto inoculando-se 0,1 mL das diluições em ágar Batata Dextrose (BDA) acidificando (com ácido tartárico a 10 %) para pH 3,5 com subsequente incubação a 25 °C por

cinco dias. A contagem total de bolores e leveduras foram expressas em UFC/g (SILVA et al., 1997).

3.13 Análise estatística

A análise estatística foi realizada através do software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA - 2004). As análises de variância (ANOVA), seguidas pelo teste de Tukey, com 5% de significância, foram usadas para determinar possíveis diferenças significativas entre as amostras irradiadas com UV-C e controle, realizadas ao longo dos cinco dias armazenamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o equipamento desenvolvido para o emprego da radiação UV-C, além de estudar seus efeitos como tratamento pós-colheita em morangos. Visto que o tratamento não deixa resíduos nos produtos finais, não altera sabor e aroma e induz a síntese de compostos antioxidantes.

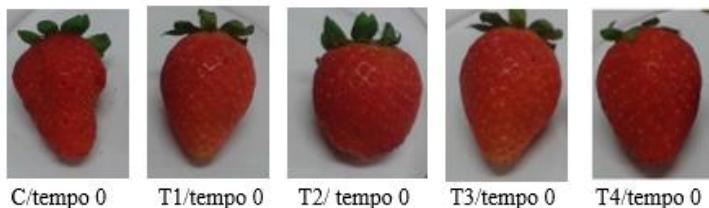
4.1 Cor

O parâmetro de coloração é de fundamental importância para a aceitação ou rejeição de frutas e verduras no mercado. Durante o amadurecimento as frutas vão perdendo a clorofila e gerando diferentes substâncias o que resulta no desenvolvimento da cor. (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Para o fruto morango a manutenção da cor é uma das principais características de aceitação comercial, pois o seu escurecimento compromete sua qualidade (FLORES CANTILLANO et al., 2008). Ao longo de seu armazenamento os frutos se tornam mais vermelhos devido a concentração de antocianinas durante sua senescência (GIL et al., 1997). As antocianinas se enquadram no grupo flavonoides, pigmentos responsáveis pela coloração azul e vermelha de frutas, flores e folhas (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

As Figuras 8 e 9 apresentam as imagens dos morangos controle (C) e submetidos ao tratamento com UV-C (T1 a T4) no tempo zero e no quinto dia de armazenamento, respectivamente. As doses de radiação UV-C aplicadas foram de 1,44 e 2,8 kJ.m⁻², para as temperaturas de 10 e 20 °C.

Figura 8 - Morangos submetidos a diferentes tratamentos de UV-C (T1 a T4) e controle (C), logo após os tratamentos (tempo zero de armazenamento).



Fonte: Autor (2016).

Figura 9 - Morangos submetidos a diferentes tratamentos de UV-C (T1 a T4) e controle (C) e controle, após quinto dia de armazenamento.



Fonte: Autor (2016).

A Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros L^* , a^* e b^* (do espaço CIELab), dos morangos para todos os tratamentos (T1 a T4) e controle (C), nas diferentes temperaturas (10 e 20 °C).

Tabela 4 - Resultados para os parâmetros de cor L*, a* e b* obtidos para os morangos submetidos a radiação UV-C em diferentes temperaturas 10 °C e 20 °C por 5 dias.

		Condição de armazenamento 10 °C 90-95 %UR		
		Tratamento		
		0 dias	3 dias	5 dias
L*	C	32,84±3,01 ^{Bc}	34,78±2,54 ^{ABab}	35,68±3,28 ^{Aa}
	T1	32,36±2,3 ^{Ac}	33,66±2,39 ^{Ab}	33,33±2,05 ^{Ab}
	T2	33,78±2,09 ^{Bc}	35,47±2,84 ^{Aabc}	34,26±2,16 ^{ABab}
	T3	36,30±2,53 ^{Bb}	36,39±2,48 ^{Bab}	33,65±2,28 ^{Ab}
	T4	39,50±3,44 ^{Aa}	36,71±2,96 ^{Ba}	35,86±2,83 ^{Ba}
a*	C	38,68±3,32 ^{Ad}	35,10±3,36 ^{Ba}	34,60±3,06 ^{Ba}
	T1	37,25±1,76 ^{AcD}	32,78±3,21 ^{Bb}	31,76±2,07 ^{Bb}
	T2	35,46±2,42 ^{Ab}	30,62±2,26 ^{Bcd}	31,16±3,36 ^{Bb}
	T3	30,00±3,18 ^{Bb}	29,63±2,69 ^{Bbc}	31,8±2,58 ^{Ab}
	T4	32,38±2,76 ^{Aa}	32,00±2,79 ^{Aa}	31,52±4,34 ^{Ab}
b*	C	18,44±5,17 ^{Ab}	12,24±4,7 ^{Bab}	14,45±0,65 ^{Ba}
	T1	16,24±3,02 ^{Abc}	11,04±3,71 ^{Bb}	11,48±0,4 ^{Ba}
	T2	15,11±3,21 ^{Ac}	9,84±3,49 ^{Chc}	12,48±0,63 ^{Ba}
	T3	9,29±3,59 ^{Ba}	9,29±3,66 ^{Bbc}	12,4±0,55 ^{Aa}
	T4	14,91±4,03 ^{Ac}	14,71±4,69 ^{Ac}	14,54±0,11 ^{Aa}

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si para períodos de armazenamento ($p < 0,05$).

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si para tratamentos ($p < 0,05$), sendo C – controle; T1 1,44 kJ.m⁻²/10 °C; T2 2,8 kJ.m⁻²/10 °C; T3 1,44 kJ.m⁻²/20 °C; T4 2,8 kJ.m⁻²/20 °C.

Como observado na Tabela 4 houveram poucas variações nas médias dos parâmetros de luminosidade (L^*) e os parâmetros (a^*) e (b^*), ao longo do período de armazenamento e entre os tratamentos do fruto morango. Estatisticamente não houveram diferenças significativas para os parâmetros a^* e b^* entre os tratamentos com radiação UV-C ($p < 0,05$), no quinto dia de armazenamento.

Para o parâmetro de luminosidade L^* , não houve diferença estatística ($p < 0,05$), entre o controle (C) e os tratamentos com maiores doses de radiação UV-C (T2 e T4) no quinto dia de armazenamento. Sendo esses tratamentos e o controle alcançando os maiores valores de média para o parâmetro.

Ao longo do armazenamento, o parâmetro L^* apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) nos tratamentos, exceto para o T1. Ainda foi observada diminuição nos valores para todos os tratamentos com radiação UV-C do terceiro para o quinto dia.

O decréscimo na luminosidade L^* durante o armazenamento é um indicador do escurecimento da epiderme dos frutos. O escurecimento dos morangos pode ter sido causado tanto por reações oxidativas como aumento na concentração de pigmentos como licopeno e antocianinas (CHARLES; ARUL, 2007). O emprego da radiação UV-C em morangos pode provocar efeitos adversos, dentre eles o escurecimento da epiderme e a secagem das folhas para doses maiores de radiação (MARQUENIE et al., 2003; PAN et al., 2004; SHAMA; ANDERSON, 2005).

Em trabalho realizado por Vicenzi (2014), morangos cultivados com UV-C em dose de $3,7 \text{ kJ.m}^{-2}$ tiveram valores no parâmetro de luminosidade L^* inferiores ao controle, não apresentando diferença entre os tratamentos, durante os sete dias de estudo. Indicando frutos mais escuros ao final do armazenamento. Este comportamento já havia sido observado para frutas e verduras com aplicação de luz UV em morango (PAN et al., 2004; COTE et al., 2013), alface e mamão (BACHELLI, 2016) e pimentão (VICENTE et al., 2005).

Para o parâmetro a^* , indicativo da coloração do vermelho ao verde, não foi observado diferenças estatísticas ($p < 0,05$), entre os tratamentos no quinto dia de armazenamento. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram aumento nas médias do terceiro para o quinto dia de estudo. Também não foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre o controle e os tratamentos com UV-C aplicados a 10°C (T1 e T2) para o mesmo período.

Entre os tratamentos com radiação UV-C as dosagens menores de radiação (T1 e T3) obtiveram médias maiores. Resultado provavelmente devido ao retardo da senescência dos frutos levando ao menor desenvolvimento da cor vermelha, efeitos semelhantes foram encontrados em pesquisas com tomates em doses de 0,32 e 0,0228 kJ.m⁻² (LIU et al. 2009; PINHEIRO et al. 2015).

Em estudos com morangos Li et al. (2014) também não encontraram relação da radiação UV-C pós-colheita com o valor do parâmetro a* para doses de 2,0, 4,1, e 8 kJ.m⁻².

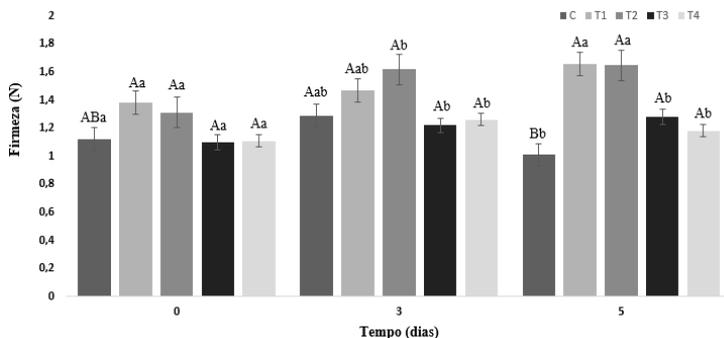
Em relação ao parâmetro b*, indicativo da coloração do amarelo ao azul, ao final do período de armazenamento de cinco dias não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), entre todos os tratamentos com UV-C (T1 a T4) e controle (C). Liu et al. (2009), em trabalho com tomates submetidos a tratamento com UV-C não observaram diferença entre o tratamento com UV-C (0.32 kJ.m⁻²) e controle.

4.2 Firmeza

A perda de firmeza é um processo natural da senescência dos produtos vegetais, sendo um dos fatores de qualidade limitante quanto ao transporte e marketing de frutas e hortaliças. Em morangos, a redução da firmeza está associada a despolimerização e a degradação da parede celular com ou sem a ação de enzimas (AZEVEDO, 2007). Além de facilitar a contaminação por fungos, no caso de morangos principalmente pelos micro-organismos *Botrytis cinerea* e *Rhizopus stolonifer* (VICENTE; SOZZI; 2007).

Os resultados da força de perfuração dos frutos submetidos ao tratamento com UV-C analisados ao longo dos cinco dias de armazenamento, são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Força de perfuração dos morangos submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.



*Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p < 0,05$).

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de cores iguais indicam que as amostras não diferem entre si ($p < 0,05$) para período de armazenamento, sendo C – controle; T1 1,44 $\text{kJ.m}^{-2}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$; T2 2,8 $\text{kJ.m}^{-2}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$; T3 1,44 $\text{kJ.m}^{-2}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$; T4 2,8 $\text{kJ.m}^{-2}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pode-se observar um aumento nos valores da força de perfuração dos frutos para todos os tratamentos exceto para o T4 e controle no quinto dia. Nos tratamentos com UV-C houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as temperaturas de aplicação, de forma que, os tratamentos a 10 °C (T1 e T2) apresentaram maior força de perfuração.

Os tratamentos T3 e T4, em que se aplicou a radiação UV-C a temperatura de 20 °C, tiveram valores inferiores na firmeza em relação aos outros tratamentos. Além de não apresentarem diferença significativa em relação ao controle (C) ($p < 0,05$). Esse comportamento pode estar relacionado com o aumento da temperatura que desencadeia a atividade de enzimas no fruto como: celulase, pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG), que degradam a parede celular (CARNEIRO et al., 2015).

Na literatura são encontrados estudos que identificaram os genes responsáveis, (*Exp2* e *Exp5*), pela produção de enzimas que causam a degradação da parede celular durante o amadurecimento em morangos (TRAINOTTI et al., 2001; SEVERO et al., 2011). Por meio da avaliação do comportamento desses genes com a aplicação de UV-C, os autores observaram a redução da expressão dos genes, retardando o processo de amolecimento dos frutos.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Pombo et al. (2009) onde os frutos com radiação UV-C retardaram a expressão dos genes responsáveis pelo amadurecimento, apresentando melhores resultados na firmeza durante todos os dias de armazenamento. Pimentas tratadas com UV-C nas doses 1, 3, 7 e 14 kJ.m⁻², apresentam aumento de firmeza das amostras, mesmo após 18 dias de armazenamento a 10 °C não tendo diferenças significativas entre os tratamentos (VICENTE et al., 2005).

Ao longo do período de armazenamento do presente estudo não foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$), para todos os tratamentos. Além disso, os morangos tratados com UV-C apresentaram médias acima do controle após os 5 dias de armazenamento. Confirmando assim, que a aplicação da UV-C promove a manutenção da firmeza dos morangos. Cote et al. (2013) encontraram resultados similares para morangos tratados com UV-C ao longo do mesmo período de armazenamento. Os frutos tratados com UV-C retardaram o amadurecimento associado a manutenção dos tecidos.

Baka et al. (1999) observaram melhores resultados de firmeza em morangos submetidos a radiação de 0,25 kJ.m⁻², em até 6 dias de armazenamento. Dessa forma menores doses de UV-C mantém a firmeza dos frutos e por fim retarda a senescência dos mesmos.

4.3 pH e Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os ácidos são um dos principais compostos que desenvolvem o sabor característico do fruto, por isso a combinação de acidez e açúcares tem grande importância, além de influenciarem no desenvolvimento dos pigmentos (FLORES CANTILLANO, 2004). Na Tabela 5 estão expressos os resultados dos valores de pH e SST dos frutos morangos submetidos à radiação UV-C a 10 e 20 °C.

No tempo zero pode-se observar um aumento nos valores de pH dos frutos tratados com UV-C em relação ao controle. Não foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com UV-C, sendo T3 (1,44 kJ.m⁻²/ 20 °C) apresentou a maior média (3,55)

Tabela 5 - pH e Sólidos Solúveis Totais do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.

	Condição de armazenamento 10 °C 90-95 %UR			
	0 dias	3 dias	5 dias	
pH*	C	3,30±0,03 ^{Bb}	3,36±0,02 ^{Ab}	3,31±0,06 ^{Bbc}
	T1	3,37±0,07 ^{Bab}	3,36±0,04 ^{Bb}	3,49±0,18 ^{Aa}
	T2	3,38±0,02 ^{Aab}	3,41±0,10 ^{Aab}	3,40±0,07 ^{Aab}
	T3	3,55±0,25 ^{Aa}	3,51±0,20 ^{Aa}	3,28±0,08 ^{Bc}
	T4	3,38±0,12 ^{Aab}	3,38±0,02 ^{Ab}	3,35±0,02 ^{Abc}
SST (°BRIX)*	C	5,03±0,15 ^{Aa}	5,38±0,31 ^{Aa}	5,2±0,65 ^{Aa}
	T1	4,05±0,1 ^{Ab}	4,13±0,55 ^{Ab}	4,15±0,4 ^{Ab}
	T2	4,0±0,03 ^{Ab}	3,83±0,48 ^{Ab}	4,23±0,63 ^{Ab}
	T3	4,86±0,08 ^{Ba}	4,61±0,78 ^{Bab}	3,6±0,55 ^{Ab}
	T4	4,16±0,16 ^{Bb}	4,10±0,44 ^{Bb}	3,78±0,11 ^{Ab}

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si para períodos de armazenamento ($p < 0,05$).

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si para tratamentos ($p < 0,05$), sendo C – controle; T1 1,44 kJ.m⁻²/10 °C; T2 2,8 kJ.m⁻²/10 °C; T3 1,44 kJ.m⁻²/20 °C; T4 2,8 kJ.m⁻²/20 °C.

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram as maiores médias de pH ao final dos cinco dias de armazenamento, 3,49 e 3,40 respectivamente. No grupo de tratamentos com UV-C empregados a mesma temperatura 10 °C (T1 e T2) e 20 °C (T3 e T4) não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$). Os tratamentos com UV-C (T3 e T4) onde foi empregada maior temperatura na aplicação (20 °C) não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao controle ao final do armazenamento. Todos os frutos morangos tratados com UV-C neste trabalho obtiveram valores de pH abaixo do 3,5 no quinto dia.

Os morangos com pH menor que 3,5 são os mais utilizados industrialmente, sendo que para o consumo *in natura* a preferência se dá para frutos poucos ácidos. Ressaltando assim as vantagens do emprego da UV-C no pós-colheita. (SILVA, 2010).

Ao longo do período de armazenamento os tratamentos com maiores doses de UVC (T2 e T4) não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Também se observa uma leve redução nos valores do pH do terceiro para o quinto de armazenamento para todos os tratamentos exceto para o T1. Resultado semelhante foi observado em estudo com pimentas com aplicação de doses de UV-C de 1, 3, 7 e 14 kJ.m^{-2} durante o armazenamento (VICENTE et al., 2005).

Em estudo realizado por Pan et al. (2004) morangos tratados com UV-C ($4,1 \text{ kJ.m}^{-2}$) apresentaram maiores valores de pH em relação ao controle ao final de dois dias de armazenamento. Comportamento também encontrado neste estudo. O aumento no pH ao longo do armazenamento pode estar relacionado a degradação de ácidos cítrico, málico e ascórbico devido a senescência dos frutos (GARCIA, 1998).

Na Tabela 5, pode-se observar o aumento nos valores obtidos para SST, no quinto dia de armazenamento exceto para os tratamentos com UV-C a 20 °C (T3 e T4). Ainda se observa que o tratamento (C) apresentou valor superior 5,2 em relação aos tratamentos com UV-C.

Os tratamentos com radiação UV-C não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si no final do período de estudo (cinco dias), sendo T1 e T2, 4,15 e 4,23 respectivamente valores superiores quando comparados ao T3 (3,6) e T4, (3,78). Isso pode estar relacionado, pois, à medida que o fruto amadurece o teor de SST é usado como substrato para manutenção do fruto. Os tratamentos com UV-C retardaram o processo de senescência, evidenciado pelos valores superiores em amostras controle ao dos tratamentos com UV-C (KHADEMI et al., 2013; DAIUTO et al., 2013).

Ao longo do período de armazenamento apenas os tratamentos T3 ($1,44 \text{ kJ.m}^{-2}$) e T4 ($2,8 \text{ kJ.m}^{-2}$) a 20 °C apresentaram alterações

significativa ($p < 0,05$) no teor de sólidos solúveis totais ao final do quinto dia de estudo.

Cote et al., (2013), submetaram tomates e morangos a radiação UV-C dose de 4 kJ.m^{-2} , por 12 e 120 s, nos dois tipos de frutos não foram observadas diferença significativa nos valores de SST e acidez. Para o morango, os autores observaram um aumento no valor de SST no terceiro dia seguido por uma queda no quinto dia de armazenamento para todos os tratamentos e controle.

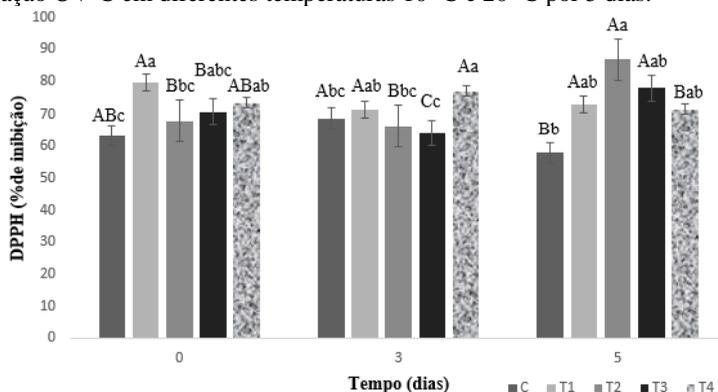
Souza (2012), também não encontrou diferença significativa entre figos tratados com diferentes doses de radiação UV-C, nas doses (0; 0,72; 1,32; 2,64 e $4,4 \text{ kJ.m}^{-2}$) nas temperaturas de 10 e 20 °C, encontrando seu maior valor no tratamento controle.

4.4 Atividade antioxidante

Diversas pesquisas relatam a associação entre o consumo de frutas e hortaliças com alto potencial antioxidante e a prevenção de doenças degenerativas, câncer, entre outras (ERKAN et al., 2008; GIAMPIERI et al., 2012). Dentre as frutas o morango apresenta superioridade nos níveis de atividade antioxidante alcançando concentrações quatro vezes maiores comparados a outras frutas como pêssigo, maçã, pera e uva (TULIPANINI et al., 2009; GIAMPIERI et al., 2012).

Na Figura 11 pode-se observar os valores expressos em porcentagem de inibição de DPPH em morangos tratados com UV-C, ao longo dos cinco dias de armazenamento.

Figura 11 - Porcentagem de inibição de DPPH em morangos submetidos a radiação UV-C em diferentes temperaturas 10 °C e 20 °C por 5 dias.



*Letras minúsculas iguais nas colunas de cores diferentes indicam que as amostras não diferem significativamente ($p < 0,05$).

*Letras maiúsculas iguais nas colunas de cores iguais indicam que as amostras não diferem entre si ($p < 0,05$), para período de armazenamento, sendo C – controle; T1 $1,44 \text{ kJ.m}^{-2}/10 \text{ °C}$; T2 $2,8 \text{ kJ.m}^{-2}/10 \text{ °C}$; T3 $1,44 \text{ kJ.m}^{-2}/20 \text{ °C}$; T4 $2,8 \text{ kJ.m}^{-2}/20 \text{ °C}$.

Imediatamente após a aplicação da luz UV-C os valores para atividade antioxidante nos frutos tratados são superiores quando comparados ao controle, principalmente para o tratamento T1, que apresentou cerca de 80 % de inibição de DPPH. Porém se observa que não há diferença significativa entre o controle e os tratamentos com T2 e T3 ($p < 0,05$). Ao final dos cinco dias de armazenamento todos os tratamentos com UV-C apresentaram valores superiores ao controle, sendo o melhor resultado obtido para o tratamento T2. Porém não se observou diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos com UV-C e controle, exceto para o T2.

Ao longo do período de armazenamento foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$), para os tratamentos, exceto para T1 que apresentou estabilidade para atividade antioxidante em torno de 70 %. Sendo que, terceiro dia, os tratamentos apresentaram uma ligeira queda nas médias de inibição de % de DPPH em morangos submetidos a radiação UV-C, exceto para o T4. Os frutos controle apresentaram redução na atividade antioxidante ao longo dos dias avaliados, resultando nos menores valores ao final do experimento.

Os valores superiores nos tratamentos com UV-C se devem ao fato que a luz estimula os mecanismos de defesa ocasionando estresse

do fruto, o que leva a produção de compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides, entre outros (WANG et al., 2009; XIE et al., 2015). Porém diversas pesquisas indicam que esses resultados podem sofrer variações dependendo das condições de cultivo, período de armazenamento e variedade analisada (ERKAN et al., 2008; COTE et al., 2013; LI et al., 2014).

Costa (2010) avaliou tratamento de pêssegos minimamente processados do cultivar Esmeralda com tratamento UV-C ($4,9 \text{ kJ.m}^{-2}$) a fim de manutenção da qualidade pós-colheita. Resultando em valores superiores em frutas tratadas com UV-C para atividade antioxidante, indicando a interferência no tratamento com UV-C na síntese e ou manutenção das moléculas redutoras.

Efeitos semelhantes também foram observados em tomates tratados com UV-C e luz pulsada, onde ao longo do período de armazenamento de 21 dias. Os frutos tratados com luz obtiveram resultados superiores para atividade antioxidante, levando em consideração que na última semana ocorreu uma queda nos valores (PATARO et al., 2015).

Na literatura são encontrados diversos estudos indicando que a atividade antioxidantes em morangos se deve principalmente aos compostos fenólicos como flavonoides, ácido elágico e ascórbico (COPETI, 2010; GIAMPIERI et al., 2012; VICENZI, 2014).

4.5 Compostos fenólicos

Os valores encontrados para compostos fenólicos, estão apresentados na Tabela 6.

No tempo zero de armazenamento os frutos tratados com UV-C (T1 a T4) apresentaram valores médios superiores em relação ao controle (C). Porém não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o controle e os tratamentos com UV-C a 20°C (T3 e T4). Ao terceiro dia observa-se um leve aumento no teor de compostos fenólicos para todos os tratamentos e controle, exceto para o T3 ($1,44 \text{ kJ.m}^{-2}$ a 20°C), sendo que T3 não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao controle nesse período (terceiro dia).

Tabela 6 - Teor de compostos fenólicos do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C por 5 dias.

		Condição de armazenamento 10 °C 90%UR		
		0 dias	3 dias	5 dias
Fenóis* (mg de EAG/100 g de amostra)	C	53,6±0 ^{ABb}	59,6±0,56 ^{Ab}	50,2±1,22 ^{Bb}
	T1	66,5±1,05 ^{Aa}	67,5±0,01 ^{Aa}	62,2±0,84 ^{Aa}
	T2	66,1±0,23 ^{Aa}	68,2±1,69 ^{Aa}	69,1±0,27 ^{Aa}
	T3	61,4±0,18 ^{Bab}	55,3±2,73 ^{Bb}	68,3±0,18 ^{Aa}
	T4	54,4±0,37 ^{Bb}	67,4±0,47 ^{Aa}	50,1±0,84 ^{Bb}

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si para períodos de armazenamento ($p < 0,05$).

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si para tratamentos ($p < 0,05$), sendo C – controle; T1 1,44 kJ.m⁻²/10 °C; T2 2,8 kJ.m⁻²/10 °C; T3 1,44 kJ.m⁻²/20 °C; T4 2,8 kJ.m⁻²/20 °C.

Ao final do período do estudo (quinto dia), somente o tratamento T4 e o controle (C) não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos realizados com morangos, mirtilos e mangas (GONZÁLEZ-AGUILAR et al., 2007; WANG, et al., 2008; ERKAN et al., 2009; VICENZI 2014).

Em plantas, o tratamento com UV-C estimula os mecanismos de defesa, promovendo o desenvolvimento de diversos compostos fenólicos como flavonóides. Possuindo entre suas características inibição do desenvolvimento microbiano além de estimular a transcrição de genes para a produção de enzimas de defesa, como por exemplo a enzima Fenilalanina Amônia-liase (PAL), com expressiva atividade antifúngica (NIGRO et al., 2000; GONZÁLEZ-AGUILAR et al. 2007). Devido a limitação de penetração da luz UV-C, o aumento desses compostos se limita principalmente ao pericarpo externo, tendo menos influência na parte interna dos frutos (BRAVO et al., 2013; PINHEIRO et al. 2015).

Crizel (2012), durante o tratamento de morangos (cultivar Albion) com radiação UV-C, também observou um acúmulo nos teores de compostos fenólicos em doses de 3,7 kJ.m⁻², chegando a atingir valores 44% maiores em relação ao controle.

Ao longo do período de armazenamento, apenas os tratamentos com radiação UV-C aplicada a 10 °C (T1 e T2) apresentaram estabilidade nos teores de compostos fenólicos não observando diferença significativa ($p < 0,05$). Esse resultado indica que houve uma maior retenção dos componentes fenólicos, no decorrer do tempo de armazenamento, para as amostras tratadas à baixa temperatura com UV-

C. Em estudo realizado com morango foram relatados a influência da temperatura na manutenção dos valores de compostos fenólicos, em temperaturas abaixo de 10 °C (AYALA-ZAVALA et al., 2008; ERKAN et al., 2008).

Nota-se ainda semelhança entre os resultados obtidos para a atividade antioxidante, visto que a amostra T2 também obteve o maior valor de compostos fenólicos no quinto dia de estudo. Este comportamento pode estar associado devido ao fato dos compostos fenólicos possuírem ação antioxidante (ERKAN et al., 2008; SEVERO et al., 2015).

Severo et al. (2015) apresentou resultados semelhantes para os teores de compostos fenólicos em morangos tratados com UV-C (4,35 kJ.m⁻²). Sendo o pico de concentração no quarto dia de estudo seguido de queda nos valores no sexto dia.

Wang et al (2009) avaliando o efeito de diferentes doses de radiação UV-C em amoras, não encontraram diferença estatística em relação ao controle. Porém os autores observaram que os frutos tratados com luz UV-C em doses acima de 4,3 kJ.m⁻² não influenciaram na concentração dos compostos fenólicos levando a declínio nos valores.

4.6 Contagem de bolores e leveduras

Na Tabela 7 estão apresentadas as reduções logarítmicas para fungos (bolores e leveduras) expressos em Unidades formadoras de colônia (UFC) por g de amostra, para os tratamentos com UV-C e controle, logo após os tratamentos.

Tabela 7 - Reduções logarítmicas de bolores e leveduras do morango submetidos a radiação UV-C a 10 °C e 20 °C, logo após o processamento.

Tratamento	Log UFC. g ⁻¹ fungos (Bolores e leveduras)
C	3,01±0,12 ^a
T1	2,25 ±0,10 ^b
T2	2,25 ±0,28 ^b
T3	2,27 ±0,09 ^b
T4	2,6 ±0,49 ^{ab}

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si para tratamentos (p < 0,05), sendo C – controle; T1 1,44 kJ.m⁻²/10 °C; T2 2,8 kJ.m⁻²/10 °C; T3 1,44 kJ.m⁻²/20 °C; T4 2,8 kJ.m⁻²/20 °C.

Os ensaios experimentais com UV-C apresentaram resultados positivos significativos ($p < 0,05$) em relação ao controle, o que demonstra a efetividade dos tratamentos. Apesar disso, a variação das doses de radiação e a temperatura de aplicação não provocou alterações na inibição de bolores e leveduras logo após o processamento.

O controle de micro-organismos pelo método UV-C é ocasionado por dois mecanismos: direta inativação ou mudanças fisiológicas tornando a fruta resistente aos patógenos. (CHARLES; ARUL, 2007; BAKA et al., 1999).

A ação germicida da radiação UV-C ocorre através de danos no DNA e RNA com formação de dímeros de pirimidina. A luz ultravioleta penetra através das membranas dos micro-organismos, impedindo sua multiplicação e transcrição, que causa a morte das células. Na literatura se observa que não há diferenças significativas na aplicação de UV-C na inativação microbiana no intervalo de temperaturas de 5 - 37 °C (BINTSIS, LITOPOULOU-TZANETAKI, ROBINSON, 2000; PINHEIRO et al., 2015).

Em trabalho realizado por Nigro et al. (2000) sobre a aplicação de UV-C como tratamento para inibição do microrganismo *Botrytis cinerea* em morangos, inoculados artificialmente ou de ocorrência natural, as melhores doses ficaram entre 0,5 e 1 kJ.m⁻². Foi observado que o mecanismo de ação desencadeado foi através do desenvolvimento de fenilalaninas, enzima que ocasiona a biossíntese de compostos fenólicos resultando em atividade antifúngica.

Marquenie et al. (2003) compararam diferentes tratamentos (luz pulsada com UV-C e calor) no desenvolvimento de podridões em morangos durante seu armazenamento. Os autores obtiveram melhores resultados na combinação de UV-C com luz pulsada (1.0 kJ m⁻² e 120 s), com extensão de um dia sem desenvolvimento do micélio nos frutos. Pombo et al. (2010) em estudo com morangos tratados com UV-C (4,1 kJ.m⁻²) obtiveram inibição do micro-organismo *Botrytis cinerea*, alcançando redução em até 30 % os frutos infectados comparados ao não tratados.

Na literatura pesquisas demonstram que após a aplicação de UV-C, as sínteses dos compostos que causam a inibição de desenvolvimentos microbianos continuam agindo após o tratamento terminar. Podendo se estender ao longo dos dias seguintes, mesmo em inoculações fúngicas feitas profundamente nos tecidos dos frutos, devido a produção de compostos que conseguem quebrar as paredes celulares de bactérias e fungos (SHAMA, ALDERSON, 2005).

Como no caso de uvas tratadas com baixas doses de radiação que apresentaram defesas contra o fungo *Botrytis cinerea*, inoculados após os tratamentos de 0.125 a 0.5 kJ m⁻², em até 78 horas. Isso se deve ao fato da luz ser absorvida pelo DNA dos micro-organismos inativando os esporos presentes na superfície (NIGRO, LIMA, 1998).

5 CONCLUSÕES

O desempenho do equipamento montado para a aplicação de radiação UV-C em morangos mostrou respostas satisfatórias nos parâmetros analisados neste trabalho. Além disso, pode-se constatar que o equipamento atingiu o objetivo de emitir as doses de radiação UV-C desejadas e manter a temperatura de trabalho estabelecidas.

A radiação UV-C aplicada em morangos demonstrou bons resultados, principalmente nas doses de até $2,8 \text{ kJ.m}^{-2}$ a $10 \text{ }^\circ\text{C}$. No atributo textura os frutos tratados com UV-C tiveram aumento nos valores médios da força de perfuração, obtendo morangos com menor perda de firmeza quando tratados com as menores doses de radiação UV-C ($1,44 \text{ kJ.m}^{-2}$). Os frutos tratados com UV-C apresentaram desenvolvimento da cor menos acentuado. Porém foram observadas reações adversas como o escurecimento da epiderme e secagem das folhas com doses de $2,8 \text{ kJ.m}^{-2}$, independentemente da temperatura de aplicação.

A manutenção de pH e dos SST foi favorável para o consumo *in natura*, atributos importantes para aceitação dos frutos no mercado. Além disso, houve redução da população de bolores e leveduras, mostrado pela baixa contagem desses micro-organismos imediatamente após os tratamentos com UV-C. O aumento no conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante também foi favorecido pelo processo.

A partir desses resultados pode-se concluir que a tecnologia UV – C como uma alternativa para tratamento pós-colheita de morangos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Modificar as lâmpadas para minimizar o aumento da temperatura interna durante o processo;
- Avaliar o efeito de tratamentos não térmicos (ozonização, coberturas comestíveis, entre outros) combinados ou não para manutenção da qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças;
- Simulações da determinação de doses UV na inativação de específicos micro-organismos patogênicos para diferentes frutas (pêssego, maçã, uva, mirtilos, physalis, entre outras);
- Estudo dos efeitos da radiação UV-C nas propriedades físico-químicas e químicas de hortaliças;
- Avaliação sensorial de morangos com diferentes doses de radiação;
- Estudo do efeito da aplicação UV-C nos teores de compostos fenólicos em morangos e sua identificação.

7 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, E. M.C., BRANDÃO, T. R. S., SILVA, C. L. M. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.108, p. 417–426, 2012.

ALOTHMAN, M., BHAT, R., KARIM, A. A. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.10, p. 512–516, 2009.

ALU'DATT, M. H.; RABABAH, T., ALHAMAD, M. N.; AL-MAHASNEH, M. A., ALMAJWAL, A., GAMMOHA, S., EREIFEJ, K., JOHARGY, A., ALLI, I. A review of phenolic compounds in oil-bearing plants: Distribution, identification and occurrence of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 218 p. 99–106, 2017.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão, **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, p. 1-9, 2007.

ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. dos. **A cultura do morango**. Coleção plantar. 2. ed. rev. e ampl. –Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF. 2011.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 21 - Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos**, 2001. Disponível em: < <http://www.saude.rj.gov.br>>. Acesso em 10/01/2017.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 17 ed. Arlington, vol.2, 2002.

ARENAS, L. A. de O. **Desenvolvimento de estrutura para purificação de água potável, através da Irradiação de UV com lâmpadas fluorescentes especiais**, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica, Ilha Solteira.

AYALA-ZAVALA, J. F.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **LWT**, v. 37, p. 687-695, 2008.

AZEVEDO, S. M. da C. **Estudo de taxas de respiração e de factores de qualidade na conservação de morango fresco (*Fragaria X ananassa Duch.*)**, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências do Consumo Alimentar – Ciências da Saúde). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Consumo Alimentar, Universidade Portugal.

BACHELLI, M. L. B. **Avaliação da radiação ultravioleta c e água ozonizada para sanitização de alface e mamão minimamente processados**, 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração de Tecnologia Pós-Colheita). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BAKA, M.; MERCIER, J.; CORCUFF, R.; CASTAIGNE, F.; ARUL, J. Photochemical Treatment to Improve Storability of Fresh Strawberries. **Journal Food Engineering and Physical Properties**, v.64, n. 6, p. 1068-1072, 1999.

BAL, E.; KOK, D. Effects of UV-C treatment on kiwifruit quality during the storage period. **Journal Central European Agriculture**, v. 10, n. 4, p. 372–382, 2009.

BARBOSA, F. D. **Desenvolvimento de um sistema de radiação pulsada com leds UV- C para redução de patógenos pós-colheita e manutenção da qualidade de produtos agrícolas**, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Revista Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BEGUM, M.; HOCKING, A. D.; MISKELLY, D. Inactivation of food spoilage fungi by ultra violet (UVC) irradiation. **International Journal of Food Microbiology**, v.129, p. 74–77, 2009.

BEZERRA, V. S. **Pós-colheita de Frutos**. Embrapa Amapá. Documentos, v. 51, p. 51, 2013.

BHAT, R.; STAMMINGER, R. Preserving strawberry quality by employing novel food preservation and processing techniques – recent updates and future scope – an overview. **Journal of Food Process Engineering**, v. 38, p. 536–554, 2015.

BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R. K. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 637-645, 2000.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**. 3ª ed. - Editora Varela, p 103-110, 2001.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v. 56, n. 11, p. 317-333, 1998.

BRAVO, S.; GARCÍA-ALONSO, J.; MARTÍN-POZUELO, G.; GÓMEZ, V.; GARCÍA-VALVERDE, V.; NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; PERIAGO, M. J. Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 1744–1749, 2013.

CAPOCASA, F.; SCALZO, J.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. **Food Chemistry**, v.111, p 872–878, 2008.

CARNEIRO, J de O.; SOUZA, M. A. de A.; RODRIGUES, Y. J. de M.; MAPELI, A. M. Efeito da temperatura e do uso de embalagem na conservação pós-colheita de frutos de cagaita (*Eugenia dysenterica* dc.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 568–577, 2015.

CIA, P.; BENATO, E. A.; VALENTINI, S. R. de T.; ANJOS, V. D. de A.; PONZO, F. S.; SANCHES, J.; TERRA, M. M. Radiação Ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum Gloeosporioides* em uva ‘Niagara Rosada’, **Revista Bragantia**, v.68, n.4, p.1009-1015, 2009.

CHARLES, M. T.; ARUL, J.; UV treatment of fresh fruits and vegetables for improved quality: a status report. **Stewart Postharvest Review**, p 3-6, 2007.

COPETTI, C. **Atividade antioxidante in vitro e compostos fenólicos em Morangos (*Fragaria x ananassa* Duch.): influência da cultivar, sistema de cultivo e período de colheita**, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COSTA, A. C. da; **Estudo de conservação de pêsego [*Prunus persica* (L.) Batsch] minimamente processado**, 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Industrial). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Pelotas.

COTE, S.; RODONI, L.; MICELI, E.; CONCELLÓNA, A.; CIVELLO, P. M.; VICENTE, A. R. Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v.83, p. 83–89, 2013.

CRIZEL, G. R. **Efeito da radiação UV-C durante o cultivo de morangos: aspectos bioquímico-fisiológicos e tecnológicos**, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Industrial). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L.; TREMOCOLDI, M. A.; L. R. de; FUMES, J. G. F. Pós colheita do abacate ‘Hass’ submetido a radiação UV-C. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 7, n. 2, p. 149-160, 2013.

DIEHL, J.F.; Food irradiation Fpast, present and future. **Radiation Physics and Chemistry**, v.63, p. 211–215, 2002.

ERKAN, M., WANG, S. Y., WANG, C. Y. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidante enzyme activity and decay in strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48 p.163–171, 2008.

EVANGELISTA, Z. R. **Radiação UV-C e cloreto de cálcio na qualidade pós-colheita da jabuticaba ‘sabará**, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas

Agroindustriais). Programa de pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos**. 4ª ed. - Editora Artmed, p 593-595, 2010.

FLORES CANTILLANO, R. F. **Fisiologia e Manejo na Colheita e Pós-Colheita de Morangos**. 2º Simpósio Nacional do morango, Pelotas –RS, p. 146- 161, 2004.

FLORES CANTILLANO, R. F.; FLORES CASTAÑEDA, L. M.; TREPTOW, R. de O.; SCHUNEMANN, A. P. P. Qualidade físico-química e sensorial de cultivares de morango durante o armazenamento refrigerado. Embrapa Clima Temperado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 75 p. 29, 2008.

FORMICA-OLIVEIRA, A. C.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, B.; DÍAZ-LOPEZ, V.; ARTÉS, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Effects of UV-B and UV-C combination on phenolic compounds biosynthesis in fresh-cut carrots, **Postharvest Biology and Technology**, v. 127, p. 99–104, 2017.

GARCÍA-ALONSO, M.; PASCUAL-TERESA. S. de; SANTOS-BUELGA, C.; RIVAS-GONZALO, J. C. Evaluation of the antioxidant properties of fruits. **Food Chemistry**, v.84 p. 13–18, 2004.

GARCIA, J. M.; MEDINA, R. J.; OLÍAS, J. M. Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 6, p. 1037-1041, 1998.

GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, v. 28, p. 9–19, 2012.

GIL, M. I.; HOLCROFT, D. M.; KADER, A. A. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 45, p. 1662-1667, 1997.

GONÇALVES, A. E. de S. S. **Avaliação da capacidade antioxidante de frutas e polpas de frutas nativas e determinação dos teores de flavonoides e vitamina C**, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos Área de Bromatologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONZALEZ-AGUILAR, G.; WANG, C. Y.; BUTA, G. J. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 415–422, 2004.

GONZÁLEZ-AGUILAR; G. A.; ZAVALA-GATICA, R.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M. E. Improving postharvest quality of mango ‘Haden’ by UV-C treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 108 – 116, 2007.

GUEDES, A. M. M.; NOVELLO, D.; MENDES, G. M. de P.; CRISTIANINI, M. Tecnologia de ultravioleta para preservação de alimentos. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 59-70, 2009.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. **Food Science and Technology International**, v. 10, n 3, p. 137-147, 2004.

HARASYM, J.; OLEDZKI, R. Effect of fruit and vegetable antioxidants on total antioxidant capacity of blood plasma. **Nutrition**, v. 30, p. 511–517, 2014.

KEYSER, M.; MÜLLER, I. A.; CILLIERS, F. P.; NEL, W.; GOUWS, P. A. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, p. 348–354, 2008.

KHADEMI, O.; ZAMANI, Z.; POOR AHMADI, E.; KALANTARI, S. Effect of UV-C radiation on postharvest physiology of persimmon fruit (*Diospyros kaki* Thunb.) cv. ‘Karaj’ during storage at cold temperature. **International Food Research Journal**, v. 20, p 247- 253, 2013.

JUNIOR, C. R.; ANTUNES, L. E. C.; ALDRIGHI, M.; VIGNOLA, G. Panorama de cultivo de morangos no Brasil: Informe Técnico. **Revista Campo e negócios**, p. 58-59, 2015.

LAROUSSE, M.; LEIPOLD, F. Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. **International Journal of Mass Spectrometry**, v. 233, p. 81–86, 2004.

LEMOINE, M. L.; CIVELLO, P. M.; CHAVES, A. R.; MARTÍNEZ, G. A. Effect of combined treatment with hot air and UV-C on senescence and quality parameters of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 15–21, 2008.

LI, D.; LUO, Z.; MOU, W.; WANG, Y.; YING, T.; MAO, L. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 90, p. 56–62, 2014.

LIU, L.H.; ZABARAS, D.; BENNET, L.E.; AGUAS, P.; WOONTON, B.W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495-500, 2009.

LIU, M.; LI, X. Q.; WEBER, C.; LEE, C. Y.; BROWN, J.; LIU, R.H. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Raspberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 2926-2930, 2002.

MAISUTHISAKUL, P., SUTTAJIT, M., PONGSAWATMANIT, R. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food Chemistry**, v.100 p. 1409–1418, 2007.

MANZOCCO, L.; PIEVE S. da; MAIFRENI, M.; Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, p. 13–17, 2011.

MARQUENIE, D.; LAMMERTYN, J.; GEERAERD, A. H.; SOONTJENS, C., IMPE, J. F. V.; NICOLAÏ, B. M., MICHIELS, C. W. Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena*

using UV-C and heat treatment. **International Journal of Food Microbiology**, v.74, p. 27– 35, 2003.

MERCIER, J.; ROUSSEL, D.; CHARLES, M.; ARUL, J. Systemic and local responses associated with UV- and pathogen-induced resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrot, **The American Phytopathological Society**, v. 90, n. 9, p. 981-986, 2000.

MEYERS, K. J.; WATKINS, C. B.; PRITTS, M. P.; LIU, R. H. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Strawberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 6887-6892, 2003.

MOLINA, A. M. R. **A cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) no Estado de Santa Catarina: Sistemas de produção e Riscos Climáticos**, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração em Recursos Hídricos Vegetais). Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NEVES, H. J. P. **Desinfecção de água contaminada por *Pseudomonas aeruginosa* via radiação Ultravioleta: Modelagem e Desenvolvimento Cinético**, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

NIGRO, F.; IPPOLITO, A.; LATTANZIO, V.; VENERE, D. D.; SALERNO, M. Effect of ultraviolet-c light on postharvest decay of strawberry. **Journal of Plant Pathology**, v. 82, n.1, p.29-37, 2000.

NIGRO, F.; IPPOLITO, A.; LIMA, G. Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v.13, p. 171–181, 1998.

NUNES, S.P. **Irradiação gama e UV-C na qualidade pós colheita de mirtilo**, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OCDE. Perspectivas Agrícolas 2014-2015. **Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura**, 2015. Disponível em <

http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en>. Acesso em: 20/12/2016.

OLSSON, M. E.; GUSTAVSSON, K.; ANDERSSON, S.; NILSSON, A.; DUAN, R. Inhibition of Cancer Cell Proliferation in Vitro by Fruit and Berry Extracts and Correlations with Antioxidant Levels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, N. 24, p. 7264-7271, 2004.

OROIAN, M., ESCRICHE, I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, v.74, p.10–36, 2015.

OTTO, C.; ZAHN, S.; ROST, F.; ZAHN, P.; JAROS, D.; ROHM, H. Physical Methods for Cleaning and Disinfection of Surfaces. **Food Engineering Reviews**, v.3, p. 171–188, 2011.

PAN, J.; VICENTE, A. R.; MARTÍNEZ, G. A.; CHAVES, A. R.; CIVELLO, P. M. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, p.1831–1838, 2004.

PATARO, G.; SINIK, M.; CAPITOLI, M. M.; FERRARI, G. D. G. The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.30, p.103–111, 2015.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J. K.; HOWARD, L. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. **Postharvest Biology and Technology**, v.47, p. 280–285, 2008.

PINHEIRO, P.; ALEGRIA, C.; ABREU M.; GONÇALVES, E. M.; SILVA, C. L. M. Use of UV-C postharvest treatment for extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life. **Journal Food Science Technology**, v.52, n.8, p.:5066–5074, 2015.

PINTO, M da S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Food Chemistry**, v 107 p 1629–1635, 2008.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT**, v. 40, p. 1–11, 2007.

POMBO, M. A.; DOTTO, M. C.; MARTÍNEZA, G. A.; CIVELLO, P. M. UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, p. 141–148, 2009.

PONCE, A. dos R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 113-118, 2009.

PROTEGGENTE, A. R.; PANNALA, A. S.; PAGANGA, G.; BUREN, L. V.; WAGNER, E.; WISEMAN, S.; PUT, F. V. de; DACOMBE, C.; RICE-EVANS, C. A. The Antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. **Free Radicals Research**, v. 36, n.2, p. 217–233, 2002.

RIVERA-PASTRANA, D. M.; GARDEA, A. A.; YAHIA, E. M.; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit. **Journal of Food Science Technology**, v. 51, p. 3821–3829, 2014.

ROMANAZZI, G., SMILANICK, J. L., FELIZIANI, E., DROBY, S. Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.113, p. 69–76, 2016.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; JIMENEZ, J. P.; CALIXTO, F. D. S. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico Embrapa**, v. 127, p. 1-4, 2007a.

SANCHEZ-MORENO, C. Review: Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. **Food Science and Technology International**, v.8, n.3, p.121–137, 2002.

SANTOS, A. M. dos. **A cultura do morango**. Coleção plantar. 1. ed. p. 35 –Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF. 1993.

SCALZO, J.; POLITI, A.; PELLEGRINI, N.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. **Nutrition**, v. 21, p. 207–213, 2005.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas – Fruticultura Cenários e Projeções Estratégicas. 2016.

SENHOR, R. F.; SOUZA, P. A. de; NETO, R. C. A.; MARACAJÁ, P. B.; NASCIMENTO, F. J. do. Manejo de doenças pós-colheita. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA)**, v.4, n.1, p. 00-13, 2009.

SEVERO, J.; OLIVEIRA, I. R de; TIECHER, A., CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V. Postharvest UV-C treatment increases bioactive, ester volatile compounds and a putative allergenic protein in strawberry. **LWT - Food Science and Technology**, v.64, p. 685-692, 2015.

SEVERO, J.; TIECHER, A.; CHAVES, F. C.; SILVA, J. A.; ROMBALDI, C. V. Gene transcript accumulation associated with physiological and chemical changes during developmental stages of strawberry cv. Camarosa. **Food Chemistry**, v. 126, p. 995-1000, 2011.

SEVERO, J. **Maturação e UVC na expressão transcricional de genes envolvidos nas rotas metabólicas de parede celular, compostos fenólicos e aromas em morango**, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. dos S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, N. da; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. São Paulo, p. 21-26, 1997.

SILVA, P. A. **Manutenção da qualidade de morangos submetidos ao 1-MCP e armazenados em temperatura ambiente e refrigerada,**

2010. Tese (Doutorado em Agroquímica/Agrobioquímica). Programa de Pós-Graduação em Agroquímica/Agrobioquímica. Universidade de Lavras, Lavras.

SINGLETON, V. L., ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965.

SHAMA, G.; ALDERSON, P. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. **Trends in Food Science & Technology**, v.16, p.128–136, 2005.

SHEN, Y.; SUN, Y.; QIAO, L.; CHEN, J.; LIU, D.; YE, X. Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 76, p. 50–57, 2013.

SOUZA, F. C. **Utilização de radiação UV-C e atmosfera modificada para conservação figo após a colheita**, 2012. Tese (Doutorada em Engenharia Agrícola, área Pós Colheita). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, J. C. de. **Atividade Antioxidante in vitro e in vivo de suco de uva e da Norbixina**, 2008. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, V. R. de. **Compostos bioativos e o processamento de pequenas frutas vermelhas cultivadas em clima subtropical**, 2013. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos, Universidade de Lavras, Lavras.

SYAMALADEVI, R, M.; ADHIKARI, A.; LUPIEN, S. L.; DUGAN, F.; BHUNIA, K.; DHINGRA, A.; SABLANI, S. S. Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit Surfaces. **Food Control**, v.50, p. 297-303, 2015.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. ver. e ampl. Campinas.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre. 3º ed, p 316-323, 2006.

TIECHER, A. **Efeito da radiação UV-C na expressão gênica e nas respostas bioquímico-fisiológicas em frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.)**, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TRAINOTTI, L.; SPINELLO, R.; PIOVAN, A.; SPOLAORE, S.; CASADORO, G. B-Galactosidases with a lectin-like domain are expressed in strawberry. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 361, p. 1635- 1645, 2001.

TULIPANI, S.; ROMANDINI, S.; BUSCO, F.; BOMPADRE, S.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Ascorbate, not urate, modulates the plasma antioxidant capacity after strawberry intake. **Food Chemistry**, v. 117, p. 181–188, 2009.

USDA **United States Department of Agriculture**. Disponível em <<https://ndb.nal.usda.gov>> Acesso em: 30/03/2017.

USSAL, J.; IPPOLITO, A.; SISQUELLA, M.; NERI, F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 30–40, 2016.

VERDIAL, M.F. **Frigoconservação e Vernalização de mudas de morangueiro (*Frangaria x Ananassa duch.*) produzidas em sistema de vaso suspensos**, 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VERONA. L. A. F.; NESI, C. N.; BRUGNARA, E. C. **A produção de morangos em Santa Catarina no ano de 2008**. 5º Seminário Brasileiro sobre pequenas frutas: anais p. 17 -22. Vacaria –RS, 2008.

VICENTE, A. R.; PINEDA, C.; LEMOINE, L.; CIVELLO, P. M.; MARTINEZ, G. A.; CHAVES, A. R. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. **Postharvest Biology and Technology**, v.35, p. 69–78, 2005.

VICENTE, A. R.; SOZZI, G. O. Ripening and Postharvest storage of 'soft fruits'. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**, v.1, n.2, p.95-103, 2007.

VICENZI, R. **Processamento mínimo de morangos (*Frangaria x Ananassa duch*) tratados com radiação UV-C durante o cultivo**, 2014. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

VIZZOTTO, M. **Propriedades funcionais das pequenas frutas**. 5º Seminário Brasileiro sobre pequenas frutas: anais p. 17 -22. Bento Gonçalves –RS, 2009.

WANG, C. Y.; CHEN, C.; WANG, S. Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. **Food Chemistry**, v.117, p. 426–431, 2009.

XIE, Z.; CHARLES; M. T.; FAN, J.; CHARLEBOIS, D.; KHANIZADEH, S.; ROLLAND, D.; ROUSSEL, D.; DESCHÊNES, M.; DUBÉ, C. Effects of preharvest ultraviolet-C irradiation on fruit phytochemical profiles and antioxidante capacity in three strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 2996–3002, 2014.

YAN, R.; MATTHEIS, J.; GURTLER, J.; SITES, J.; FAN, X. UV-C Inactivation of *Escherichia coli* and dose uniformity on apricotfruit in a commercial setting. **Postharvest Biology and Technology**, v. 95, p. 46-49, 2014.

YANG, J. Brazil nuts and associated health benefits: A review. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 1573–1580, 2009.

ZHANG, Y., SEERAM, N. P., LEE, R., FENG, L., HEBER, D. Isolation and Identification of Strawberry Phenolics with Antioxidant and Human Cancer Cell Antiproliferative Properties. **Journal. Agricultural and. Food Chemistry**, v. 56,p. 670–675, 2008.