

ALINE ELLEN DUARTE DE SOUSA

**ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DO ESCURECIMENTO DE MANGA
MINIMAMENTE PROCESSADA TRATADA COM RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA PULSADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S725a
2014

Sousa, Aline Ellen Duarte, 1984-
Alternativas para o controle do escurecimento em manga
minimamente processada tratada com radiação ultravioleta
pulsada / Aline Ellen Duarte Sousa. – Viçosa, MG, 2014.
viii, 66f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Rolf Puschmann.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Manga - Conservação. 2. Escurecimento. 3. Radiação
ultravioleta. 4. Refrigeração. 5. Etileno. 6. Antioxidantes.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia
Vegetal. Programa de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal.

II. Título.

CDD 22. ed. 634.44

ALINE ELLEN DUARTE DE SOUSA

**ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DO ESCURECIMENTO DE MANGA
MINIMAMENTE PROCESSADA TRATADA COM RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA PULSADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

APROVADA: 29 de Abril de 2014.

Adriano Nunes Nesi

Edgard Augusto de Toledo Picoli

Cesar Simas Teles

Ebenézer de Oliveira Silva
(Coorientador)

Rolf Puschmann
(Orientador)

À minha mãe, Eliene Duarte Ferreira, a quem eu amo, pelo amor, dedicação e confiança, que sonhou comigo e me ajudou a tornar meus objetivos possíveis.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Amado de minha'lma, meu Senhor por ter me concedido o dom da vida, por estar sempre presente nos meus caminhos, guiando-me, iluminando-me, pela paciência, amor e inspiração, pela força, pelas vitórias alcançadas. A Ti meu Senhor, digno de toda honra e de toda glória, todo louvor e adoração.

À UFV e a Pós-graduação em Fisiologia Vegetal pela oportunidade de fazer parte deste programa, agradeço a acolhida.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pelo suporte, permitindo o uso dos equipamentos e instalações dos laboratórios durante a realização do trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Rolf Puschmann, pela valiosa oportunidade de tê-lo como orientador, pelo acolhimento, ensinamentos e atenção.

Ao Ebenézer de Oliveira Silva, pela co-orientação, paciência, suporte e fundamental participação que permitiu a realização deste trabalho.

A professora Raquel Miranda e Izabel Gallão, por disponibilizar o laboratório e equipamentos necessários para avaliações enzimáticas e histoquímicas.

Aos membros da banca examinadora, Adriano Nunes Nesi, Cesar Simas Teles e Edgard Augusto de Toledo Picoli pelo aceite e contribuições indispensáveis.

Aos meus pais Eliene Duarte e Gilson Roque e ao meu irmão Alan Daniel, pela dedicação, confiança e principalmente pelo amor. Por terem acreditado em mim, apoiando-me em todos os momentos de minha vida.

Às minhas avós Maria Cícera e Damiana Lucena, pelo carinho e sabedoria, transmitindo conforto ao meu coração.

Ao Mario César, meu apoio em Fortaleza, pela atenção, carinho, transmissão de confiança e força, me ajudando a enfrentar as dificuldades.

A Nazaré Motta e a Carolina Castro por terem me acolhido em Viçosa, pela confiança e companhia.

A Kelem Silva e ao Diego Batista, amigos verdadeiros, marcas da minha vida em Viçosa, pelos estudos, incentivo e companheirismo, transformando todos os momentos em alegria.

Aos queridos amigos Camilla Pedroza, Laiane Torres e Marcelo Sekita, pela companhia e apoio em diversos momentos.

A Márcia Régia, pela confiança e dicas no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus colegas estagiários e bolsistas do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, pela ajuda no experimento e pelo companheirismo, em especial Cibele, Karen, Priscila, Marcela, Oiram, Thayane, Patrícia, Frederico, Hernandez, Helder, Milena, Leorne e Andressa (in memoriam). As colegas do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Pós-colheita de frutos da Universidade Federal do Ceará: Marcela, Kellina, Roberta, Thaís e Mônica, pela atenção e conselhos nas análises.

E a todos os professores, funcionários e amigos que de alguma forma contribuíram para a minha formação, expresso aqui profundo agradecimento, serão sempre lembradas pela importância nesta fase da minha vida.

BIOGRAFIA

ALINE ELLEN DUARTE DE SOUSA, filha de Eliene Duarte Ferreira e Gilson Roque de Sousa, nasceu no dia 09 de Maio de 1984 no Município de Mossoró-RN, onde concluiu o 1º grau em 1998, no Colégio Menino Deus. Em 2001, concluiu o 2º grau na Escola Estadual Professor Abel Freire Coelho. Em 2002, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), concluindo em 2007. Em março de 2008, na mesma universidade, iniciou o curso de mestrado, como bolsista do CNPq, finalizando em fevereiro de 2010. Em março do mesmo ano, ingressou no programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se a defesa da tese em abril de 2014.

SUMARIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUÇÃO.....	3
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO 2.....	33
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
CONCLUSÃO.....	43
REFERENCIAS	44
CAPÍTULO 3.....	50
INTRODUÇÃO.....	50
MATERIAL E MÉTODOS.....	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	62
CONCLUSÃO GERAL	66

RESUMO

SOUSA, Aline Ellen Duarte de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2014. **Alternativas para o controle do escurecimento de manga minimamente processada tratada com radiação ultravioleta pulsada.** Orientador: Rolf Puschmann. Coorientador: Ebenézer de Oliveira Silva.

A radiação ultravioleta pulsada (UV_p) é uma alternativa para o controle de microorganismos em mangas minimamente processadas. Contudo, a UV_p associada ao corte e a temperatura de conservação fora do recomendado para produtos minimamente processados ($\pm 12^\circ C$), induz o escurecimento dos tecidos. Assim, o objetivo deste estudo foi controlar o escurecimento de manga minimamente processada e tratada com UV_p , tendo como suporte três hipóteses. No primeiro capítulo, foi testada a hipótese de que a temperatura de $5^\circ C$, recomendada para as frutas minimamente processadas, é suficiente para controlar o escurecimento. Contudo, sabe-se que nos supermercados, a temperatura média das gôndolas expositoras é $12 \pm 2^\circ C$. Nessa temperatura, o escurecimento poderá ser controlado com o uso de compostos inibidores da ação do etileno ou antioxidantes. Assim, no segundo capítulo, utilizou-se um bloqueador do etileno, o 1-Metilciclopropeno (1-MCP), partindo do pressuposto que o etileno é o responsável por estimular as reações do escurecimento. E, por fim, no terceiro capítulo, foram utilizadas a quitosana e uma solução antioxidante (ácido ascórbico + ácido cítrico + cloreto de cálcio), tendo como referência os seus efeitos no controle do escurecimento. Das hipóteses testadas, apenas a refrigeração ($5^\circ C$) foi suficiente para controlar o escurecimento de mangas minimamente processadas irradiadas com UV_p .

ABSTRACT

SOUSA, Aline Ellen Duarte de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2014. **Alternatives for browning control of fresh-cut mango treated with pulsed ultraviolet radiation.** Adviser: Rolf Puschmann. Co-adviser: Ebenézer de Oliveira Silva.

Ultraviolet-pulsed radiation (UV_p) is an alternative to microorganism control in fresh-cut mango. However, UV_p causes browning in fresh-cut fruit's tissues, mainly due the cut and the temperature storage ($\pm 12^\circ\text{C}$). This temperature is above those recommended to minimally processed products ($\pm 5^\circ\text{C}$). This project aimed the browning's control of the fresh-cut mango treated with UV_p , on basis of three hypothesis. In the first chapter, the hypothesis tested for browning control was refrigeration (5°C): the recommended conservation temperature for fresh-cut products. Nevertheless, it is known that in supermarkets, the refrigerated display average temperature is $12 \pm 2^\circ\text{C}$. Under this temperature, ethylene inhibitors or antioxidant-compounds can control browning. Thus, in the second chapter, we used 1-Metiolciclopropeno (1-MCP) as an ethylene blocker, because that ethylene is responsible for stimulating browning. Finally, in the third chapter, on basis of their effects on browning control, chitosan or antioxidant solutions (ascorbic acid + citric acid + calcium chloride) were used. Of the tested hypotheses, only the refrigeration (5°C) has proved to be sufficient for browning control of the fresh-cut mango treated with UV_p .

INTRODUÇÃO GERAL

Os produtos minimamente processados são hortaliças, frutas, raízes ou tubérculos ou combinações destes que foram fisicamente modificados e comercializados frescos. Estes produtos oferecem muitas vantagens ao consumidor, como, por exemplo, a redução no tempo de preparo das refeições, pois são produtos conceitualmente “prontos para o consumo”. Entretanto, o fracionamento dos tecidos, durante o processamento, resulta no extravasamento do conteúdo interno das células cortadas. Esse exsudado celular permanece aderido à superfície das células intactas, favorecendo a contaminação por micro-organismos (patogênicos ou fitopatogênicos).

Diversos sanitizantes comerciais são empregados no controle desses micro-organismos aderidos à superfície das frutas minimamente processadas. Normalmente, os sanitizantes à base de cloro são os mais utilizados na indústria. Porém, em solução contendo compostos orgânicos (exsudado celular, p. ex.), podem formar subprodutos potencialmente carcinogênicos, tais como cloraminas e clorofórmio.

Em contrapartida, várias estratégias vêm sendo utilizadas em alimentos: para o controle eficaz dos micro-organismos (redução do risco biológico); mas sem formar compostos prejudiciais à saúde do consumidor (risco químico). Dentre elas, a radiação com ondas curtas, na região do ultravioleta, tem se mostrado uma boa alternativa, principalmente quando aplicada em pulsos (ultravioleta pulsado, UV_p). Contudo, o escurecimento em manga minimamente processada e tratada com UV_p tem se mostrado limitante na utilização dessa radiação, pois prejudica a qualidade visual do produto final.

A soma dos estresses mecânicos, decorrentes do processamento mínimo, mais o estresse físico, resultante da aplicação da radiação UV_p , associada à exposição prolongada em temperatura inapropriada nas gôndolas de supermercado (em torno de $12^{\circ}C$), estimula o metabolismo dos tecidos vegetais, aumentando ainda mais o escurecimento.

O incremento na síntese de compostos fenólicos, bem como na atividade da enzima polifenol oxidase (PFO), provavelmente, estão relacionados às mudanças metabólicas induzidas por estes estresses, levando ao escurecimento: os compostos fenólicos são oxidados pela PFO produzindo quinonas, que rapidamente se polimerizam com aminoácidos ou proteínas, formando complexos heterogêneos responsáveis pelo escurecimento dos tecidos.

A manutenção de uma cadeia de frio, desde o processamento até a

comercialização é, sem dúvida, a principal técnica disponível para retardar os efeitos indesejáveis do processamento mínimo, uma vez que o abaixamento da temperatura reduz os processos enzimáticos responsáveis pelo escurecimento. Para frutas minimamente processadas se recomenda o armazenamento, distribuição e comercialização refrigerada na temperatura de cinco (5) graus Celsius (5°C). Mas, como referido anteriormente, nas gôndolas dos supermercados, durante a comercialização, esses produtos são expostos à temperatura em torno de 12 graus Celsius (12°C). Nesse contexto, se torna necessário incorporar outros compostos capazes em reduzir o escurecimento em frutas minimamente processadas conservadas ou expostas nessas altas temperaturas.

A quitosana tem se mostrado eficiente no controle do escurecimento, tendo em vista o seu efeito na retenção da cor em frutas minimamente processadas, bloqueando dois componentes essenciais à reação de escurecimento: o oxigênio e a enzima polifenoloxidase (PFO). Além da quitosana, outros compostos são utilizados atualmente, com destaque para o 1-Metilciclopropeno (1-MCP, SmartFreshTM) e os ácidos cítrico e ascórbico. O 1-MCP é um potente inibidor da ação do etileno, que é o principal regulador vegetal (“hormônio”) envolvido na indução das alterações fisiológicas e metabólicas em resposta aos estresses. Assim, a sua utilização pode prevenir o escurecimento. Além do 1-MCP, tratamentos por imersão em substâncias antioxidantes têm proporcionado resultados promissores. O ácido cítrico e o ácido ascórbico, associados a outros compostos, vêm sendo utilizados para inibir o escurecimento enzimático.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi controlar o escurecimento de manga minimamente processada tratada com UV_p, tendo como suporte as hipóteses elencadas a seguir. No primeiro capítulo, foi testada a hipótese de que a temperatura de 5°C, recomendada para as frutas minimamente processadas, é suficiente para controlar o escurecimento. Contudo, sabe-se que nos supermercados, a temperatura média das gôndolas expositoras é 12°C. Nessa temperatura, o escurecimento poderá ser controlado com o uso de compostos inibidores da ação do etileno ou antioxidantes. Assim, no segundo capítulo, utilizou-se um bloqueador do etileno, o 1-MCP, partindo do pressuposto que o etileno é o responsável por estimular as reações do escurecimento. E, por fim, no terceiro capítulo, foram utilizadas a quitosana e uma solução antioxidante (ácido ascórbico + ácido cítrico + cloreto de cálcio), tendo como referência os seus efeitos no controle do escurecimento.

CAPÍTULO 1

Conservação refrigerada no controle do escurecimento em manga minimamente processada e tratada com radiação ultravioleta pulsada

INTRODUÇÃO

Os sanitizantes clorados são normalmente os mais recomendados para a desinfecção superficial das frutas e hortaliças após a colheita (Simões et al., 2010; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). O hipoclorito de sódio (NaClO), por exemplo, em função de sua alta toxicidade, pode causar irritação da pele e das mucosas (Huang et al., 2008). Além disso, por oxidar incompletamente os materiais orgânicos presentes na solução, forma subprodutos indesejáveis, como o clorofórmio (CHCl₃) (Allende et al., 2009; Gil et al., 2009). Em pH alcalino, o cloro pode reagir com bases nitrogenadas orgânicas, produzindo cloraminas (NH₂Cl), que também são carcinogênicas. Por estas razões, a Comunidade Européia aprovou o uso do hipoclorito de sódio (REC-EU N° 540/2011) com o Limite Máximo de Resíduo de 0,01 mg kg⁻¹ (REC-EU 396/2005) até 2009.

A radiação com ondas curtas na região do ultravioleta vem sendo utilizada como estratégia alternativa para o controle dos micro-organismos em alimentos, com intuito de eliminar os riscos biológicos e químicos oferecidos pelo uso de compostos clorados (Allende et al., 2006; Krishnamurthy et al., 2007). A luz ultravioleta é uma radiação com comprimento de onda na faixa de 200 a 400 nanômetros (nm). Em particular, a radiação emitida entre 220 e 290nm (UV-C) induz rupturas nas moléculas de DNA, impedindo a reprodução e a síntese protéica, resultando, assim, num efeito germicida (Bintsis et al., 2000; Gómez-López et al., 2007), com a vantagem de não gerar subprodutos e nem resíduos químicos prejudiciais a saúde dos consumidores (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004). Existem, atualmente, dois princípios de aplicação da luz ultravioleta: o contínuo (UV_c) e o pulsado (UV_p). O princípio de aplicação contínuo é o convencional, no qual, a luz ultravioleta é aplicada de forma contínua. No modelo pulsado, a luz ultravioleta é armazenada em um capacitor, sendo liberada em flashes intermitentes, com maior intensidade de energia (CFSAN-FDA, 2000; Elmasser et al., 2007).

A radiação UV_p apresenta algumas vantagens quando comparada à UV contínua. Por exemplo, redução no tempo de exposição (Rice & Ewell, 2001). Esses autores

observaram que, para obter a energia de 10^4 J m^{-2} , o sistema com radiação UV convencional necessitou de três (3) horas, enquanto que com UV_p este tempo foi reduzido 40 segundos. A maior intensidade de energia liberada pela UV_p torna a inativação de micro-organismos mais efetiva e mais rápida (Elmasser et al., 2007). Além disso, as lâmpadas de xenônio utilizadas no modelo pulsado são consideradas ecologicamente corretas, por não conter mercúrio (Gómez-López et al., 2007).

Contudo, a aplicação de pulsos UV, por tempo prolongado, pode aumentar a temperatura dos tecidos vegetais (Elmasser et al., 2007; Gomez-López et al., 2007) e, conseqüentemente, estimular seu metabolismo, levando à mudanças metabólicas indesejáveis (Gómez-López et al., 2005 a, b; Jun et al., 2003), tais como o escurecimento nas folhas de alface (Gómez-López et al., 2005b) e alterações na cor de pimenta do reino (Fine & Gervais, 2004). O aquecimento promovido pela UV_p , também, induziu efeitos deletérios em alfafa (Sharma & Dermice, 2003) e cenoura ralada (Gómez-López et al., 2005b).

O escurecimento, em frutas minimamente processadas, é o atributo visual importante na decisão de compra pelos consumidores (Gomes et al., 2014). O escurecimento é o resultado dos estresses mecânicos, durante as operações de processamento mínimo, e do estresse físico (associado ao aumento de temperatura dos tecidos), durante a aplicação da radiação ultravioleta. Além disso, nos supermercados, os produtos minimamente processados ficam expostos em gôndolas refrigeradas com temperaturas de aproximadamente 12°C : inadequadas para sua comercialização. Este valor é, no mínimo, 2 vezes maior do que o limite superior recomendado para a comercialização de frutas e hortaliças minimamente processadas (5°C), o que favorece ainda mais o aumento no seu metabolismo e, por fim, o escurecimento.

No Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas foram submetidas a diferentes doses de UV_p (1,5; 3,0; 4,2; 5,7 e $7,2 \text{ J cm}^{-2}$) e conservadas a 12°C , por 14 dias, simulando as condições de supermercado. Observou-se que após o terceiro dia de conservação os cubos de manga apresentavam notável escurecimento superficial (dados não mostrados), comprovando os resultados obtidos por Santos (2011).

Em resposta a tais estresses, as frutas e hortaliças, desencadeiam a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais podem causar danos irreparáveis às membranas celulares (Alamino et al., 2013). As EROs atuam como sinais para ativação de respostas ao estresse (Erkan et al., 2008). O aumento na produção de enzimas antioxidantes é uma resposta a formação destas EROs (Fu et al., 2011), incluindo a

catalase, a dismutase do superóxido e algumas peroxidases, como a peroxidase do ascorbato (Alscher et al., 2002; Marchese et al., 2008).

A concentração de compostos bioativos, como vitamina C, compostos fenólicos, carotenoides, entre outros, também aumenta em resposta ao estresse. Mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas e tratadas com diferentes densidades energéticas de UV_p (0,0; 1,8; 3,6 e 5,4 J cm⁻²) apresentaram aumentos nos teores de fenólicos totais, ácido ascórbico, carotenóides totais e na atividade antioxidante (Santos, 2011), o que pode estar associado ao aumento na atividade da polifenoloxidase (Darras et al., 2011; Pombo et al., 2011), resultando no escurecimento dos tecidos (Espín et al., 1998; Peñalver et al., 2005).

A refrigeração é o mais importante método para preservar a qualidade das frutas (Palma et al., 2014). O armazenamento a baixas temperaturas minimiza os efeitos negativos do processamento mínimo e do aquecimento promovido pela aplicação de UV_p. A conservação refrigerada retarda o escurecimento, diminui a permeabilidade de membranas e a atividade enzimática (Natalini et al., 2013).

Acredita-se que para controlar o escurecimento de mangas minimamente processadas submetidas à UV_p, é necessário o uso de refrigeração em temperatura apropriada na conservação. Assim, neste capítulo, a conservação de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas submetidas a diferentes densidades de radiação ultravioleta pulsada, foi realizada a 5°C, que é a temperatura recomendada para produtos minimamente processados, com o objetivo de controlar o seu escurecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal, processamento mínimo e tratamentos

Mangas (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’), no estágio de maturação 4 (frutos com cor mais vermelha e amarela do que verde), foram adquiridas de fornecedor credenciado na Central de Abastecimento do Ceará – CEASA. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE, onde foi realizada uma nova seleção, descartando os frutos com a cor da casca inadequada (fora do estágio 4 de maturação) e com incidência de injúrias e doenças. Depois, os frutos foram mantidos em câmara refrigerada ($10 \pm 2^\circ\text{C}$), por 18 horas, e, posteriormente, minimamente processadas conforme fluxograma abaixo (Figura 1).

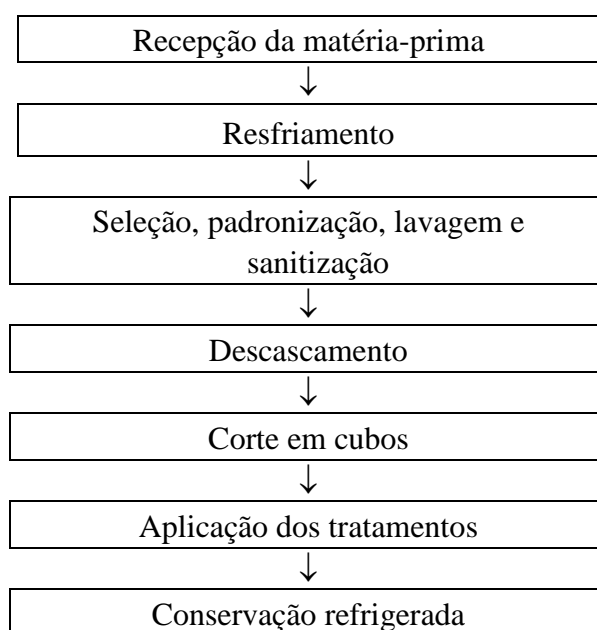


Figura 1: Fluxograma das operações de processamento mínimo de manga

As mangas foram inicialmente lavadas com detergente neutro (2mL L^{-1}) e imersas em solução de hipoclorito de sódio (200mg L^{-1}) (Adheclor[®]), por 5 minutos; descascadas e cortadas em cubos (aproximadamente 2 centímetros de aresta) com auxílio de facas de aço inoxidável afiadas. Após processados, os cubos de manga foram selecionados, com intuito de manter a uniformidade da cor entre as amostras. Depois, foram enxaguados em água

destilada, drenados por 3 minutos e submetidos aos tratamentos de radiação ultravioleta pulsada.

As instalações e os utensílios utilizados no processamento mínimo foram lavados em água corrente e detergente e, em seguida, higienizados com solução contendo 200mg L^{-1} de cloro ativo (Adheclor[®]). Depois da higienização, a sala foi mantida a $15 \pm 2^\circ\text{C}$, dando início à cadeia de frio.

As amostras de manga foram submetidas aos diferentes tratamentos com UV_p , na potência máxima das lâmpadas (900J), resultando em diferentes densidades energéticas, conforme experimentos preliminares. Os tratamentos foram aplicados utilizando-se de uma câmara UV_p (SteriBeam, modelo XeMaticA-2LXL) provida de duas lâmpadas preenchidas com gás xenônio de alta potência, largura de 190mm, posicionadas lateralmente, com capacidade para um pulso a cada 15 segundos e energia de $0,3\text{J cm}^{-2}$ pulso⁻¹ (para pulsos com 100% de potência das lâmpadas).

A energia calculada para cada tratamento, de acordo com o número de pulsos, equivale a: 0 (sem UV_p), 1,5; 3,0; 4,2; 5,7 e $7,2\text{J cm}^{-2}$.

Após os tratamentos, 250g de mangas minimamente processadas foram acondicionados em embalagens de polietileno tereftalato (PET) com tampa. As embalagens foram armazenadas em câmara fria ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $85 \pm 5\%$) por 14 dias. As análises foram realizadas no 1º, no 7º e no 14º dia de conservação.

Análises

Cor

O escurecimento da superfície externa do produto foi determinado utilizando-se um colorímetro digital Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing), calibrado com a cor branca. As leituras foram obtidas segundo o modelo tridimensional de coordenadas cromáticas preconizadas pelo CIELAB (sistema L^* , a^* , b^*). Foram realizadas três leituras em três cubos distintos dentro de cada amostra. As cores primárias “ L^* ” indica luminosidade do claro (100) para escuro (0) e “ b^* ” indica a cromaticidade no eixo da cor azul (-) para amarela (+).

Extravasamento de eletrólitos

A análise foi feita de acordo com a metodologia descrita por Serek et al. (1995). Foram retirados cinco cilindros (1,0cm de diâmetro por 1,0cm de comprimento) da região mediana da polpa, com auxílio de um perfurador. Os cilindros foram lavados em

água desionizada e secados superficialmente com papel absorvente. Depois, foram incubados em frascos de vidro, com tampa, contendo 20mL de água desionizada, e deixados em repouso por 2 horas. Após esse repouso, mediu-se a condutividade elétrica inicial da solução (m_{Ai}), com o auxílio de um condutivímetro (Digimed, Modelo DM – 32). E em seguida, foram congelados, por 12 horas, em ultra-freezer (-80°C). Após congelamento, os frascos foram deixados na bancada até a solução entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente ($27 \pm 1^{\circ}\text{C}$). Mediu-se novamente a condutividade elétrica, que desta vez expressou o conteúdo total de eletrólitos (m_{Af}). O extravasamento de eletrólitos (Ee) foi calculado utilizando a fórmula proposta por Saltveit (2002) e os resultados expressos em porcentagem da condutividade total.

$$(Ee)\% = \frac{m_{Ai}}{m_{Af}} * 100$$

Vitamina C

Foi determinada imediatamente após o processamento da polpa, por titulometria com solução de DFI (2,6 diclorofenol - indofenol 0,02%) até coloração rósea permanente. Para tanto; foi utilizado 1g da polpa em 50mL de ácido oxálico (0,5%). O resultados foram expressos em mg ácido ascórbico (AA) 100g^{-1} matéria fresca (MF) (Strohecker & Henning, 1967).

Extração e atividade da polifenoloxidase (PFO, EC 1.14.18.1)

A extração da polifenoloxidase foi realizada segundo Wissemann & Lee (1981), com algumas modificações. Homogeneizou-se 6g da polpa em 6mL de tampão fosfato 0,05M (pH 7,0), contendo 0,1M de KCl e 1% de polivinilpirrolidona (PVP). O homogeneizado foi centrifugado (11.000g por 15 min), com o auxílio de uma centrífuga Biofuge Stratos (Heraeus Instruments). O sobrenadante constituiu o extrato enzimático. A atividade enzimática foi determinada incubando-se alíquotas de $0,03\mu\text{L}$ do extrato e 1,85mL de tampão fosfato 0,1M (pH 6,0), contendo 0,1M de KCl e 0,1M de catecol, durante 30 min, a 30°C . A reação foi interrompida pela adição de 0,8mL de HClO_4 2N. As leituras de absorbância foram realizadas a 395nm em espectrofotômetro UV-Visível U-2910 (Hitachi, Tóquio, Japão), e se considerou uma unidade de atividade enzimática (UA) de PFO como a atividade enzimática que produz uma mudança de 0,001 unidade de absorbância. A atividade da PFO foi expressa como $\text{UA min}^{-1} \text{mg de proteína}^{-1}$.

Extração e atividade das enzimas antioxidantes

A extração enzimática foi conduzida de acordo com Yang et al. (2009), com modificações. Foram homogeneizados 2g do tecido de manga em 10mL de tampão fosfato monobásico 0,1M (pH 7,0), contendo EDTA 0,1M, a 4°C. O tecido foi homogeneizado durante 3 minutos em Turrax T-25 (IKA Labortechnik). Em seguida, o homogeneizado foi centrifugado (5000g por 40 min), a 4°C, em centrífuga Biofuge Stratos (Heraeus Instruments) e o sobrenadante utilizado como fonte enzimática.

Atividade da dismutase do superóxido (SOD, EC 1.15.1.1)

Para determinação da atividade da SOD, o meio de reação foi composto por: 5µL de extrato, 15µL de NBT (750µM), 30µL de riboflavina (10µM) e 100µL do tampão fosfato de potássio (0,05M, pH 7,8) com EDTA (0,1mM) e metionina (19,5mM). A reação ocorreu sob temperatura ambiente e foi iniciada pela exposição do meio de reação a uma fonte de luz com lâmpada fluorescente de 20W, por 15 minutos. A reação foi paralisada pelo desligamento das lâmpadas e monitorada por meio de dois controles, ambos contendo todos os reagentes com substituição do extrato por água destilada. O controle “claro” foi exposto à fonte de luz, enquanto o “escuro” (na ausência de luz) foi utilizado para zerar o equipamento.

Após o período de reação na presença da luz, procedeu-se com as leituras de absorbância a 560nm usando um leitor de microplaca (Synergy Mx, Biotek). Uma unidade de atividade enzimática (UE) de SOD foi definida como a quantidade de enzima que inibiu a fotorredução do NBT. A atividade específica foi expressa como UA mg de proteína⁻¹ (Giannopolitis & Ries, 1977).

Atividade da catalase (CAT, EC 1.11.1.6)

A determinação da atividade da CAT foi realizada de acordo com Beers & Sizer (1952). O meio de reação foi composto por 129µL de tampão fosfato de potássio (0,1M, pH 7,0) – com EDTA (0,1mM), 6µL de H₂O₂ (0,5M) e 15µL do extrato enzimático. A redução linear na absorbância da mistura a 240nm foi medida a cada 1 minuto, durante 20 minutos usando um leitor de microplaca (Synergy Mx, Biotek). Para o cálculo foi utilizado o coeficiente de extinção molar do H₂O₂ (36M cm⁻¹) e os mesmos foram expressos em µmol H₂O₂ min⁻¹ mg de proteína⁻¹.

Atividade da peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.11)

A atividade da APX foi determinada de acordo com Yang et al. (2009), com modificações. O meio de reação consistiu de 110 μ L de tampão fosfato de potássio (0,1M, pH 7,0) – com EDTA (0,1mM), 30 μ L do extrato enzimático, 5 μ L de H₂O₂ (0,03M) e 5 μ L de ácido ascórbico (0,015M): adicionados nesta mesma ordem. As leituras foram realizadas a cada minuto, durante 20 minutos, a 290nm usando o leitor de microplaca (Synergy Mx, Biotek). Para os cálculos, tomou-se por base o coeficiente de extinção molar do ascorbato (2,8mM cm⁻¹) e a atividade foi expressa como μ mol H₂O₂ min⁻¹ mg de proteína⁻¹, considerando que são necessários 2 moles de ácido ascórbico para reduzir 1mol de H₂O₂ (Amanko et al., 1994).

Extração e atividade da pectinametilesterase (PME, EC 3.1.1.11)

Para obtenção do extrato enzimático, homogeneizou-se 5g de polpa em 20mL de NaCl (0,2M) gelado (4°C). O homogeneizado foi filtrado e utilizado como extrato enzimático (Körner et al., 1980). Em um béquer foram adicionados 5mL do extrato enzimático e 30mL de pectina cítrica (1%, pH 7,0). Essa mistura foi titulada com NaOH (0,01N) até pH 7, constante por 10 minutos. Uma unidade de atividade enzimática (UA) de pectinametilesterase foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de 1nmol de NaOH. Os resultados foram expressos em UA μ g de proteína⁻¹ (Kertesz, 1955).

Extração e atividade da poligalacturonase (PG, EC 3.2.1.15)

O extrato foi preparado conforme o método de Pressey & Avants (1973). Pesou-se 12,5g de polpa e homogeneizou-se com 25mL de água destilada gelada (4°C). Logo após, o homogeneizado foi centrifugado (3.200g por 10min), a 4°C, em centrífuga Biofuge Stratos (Heraeus Instruments). O sobrenadante foi descartado e o precipitado novamente suspenso em 10mL de água destilada gelada (4°C), seguido de centrifugação nas mesmas condições anteriormente descritas. Repetiu-se este procedimento por mais duas vezes. O último precipitado foi suspenso e homogeneizado em 25mL de NaCl (0,1M), a 4°C, por um minuto. Essa solução foi ajustada para pH 6,0 e incubada (4°C) por uma hora. Decorrido o tempo de incubação, a solução foi novamente centrifugada (3.200g por 20 min) a 4°C. O sobrenadante constituiu o extrato enzimático.

A determinação da atividade enzimática ocorreu em duas etapas. Na primeira, foram adicionados a tubos de ensaio 300 μ L de extrato e 300 μ L de água destilada. Agitou-se

a solução e em seguida uma alíquota de 75µL foi retirada para análise do conteúdo de açúcar redutor (AR 1), pelo método do Ácido 3,5-Dinitro-Salicílico (DNS). Na segunda etapa, 300µL de extrato e 300µL de ácido poligalacturônico (0,25%), em tampão acetato de sódio (37,5mM, pH 5), foram pipetados para tubos de ensaio e, em seguida, agitados. A solução foi incubada durante 3 horas a 30°C. A reação foi paralisada com banho de água quente (100°C), por 5 minutos, seguido de banho de gelo. Da solução resultante, foi retirada uma alíquota de 75µL para determinação do conteúdo de AR 2, pelo método do DNS. A quantidade de açúcares redutores se deu pela subtração dos valores de AR 1 por AR 2. Os resultados foram calculados com base em uma curva padrão de glicose e expressos em nmol AR min⁻¹ mg de proteína⁻¹ (Buescher & Furmanski, 1978).

Proteína solúvel

O teor proteico foi determinado segundo o método descrito por Bradford (1976). Foram adicionados 2mL do reagente Coomassie Brilliant Blue G-250 a 0,05mL da amostra. Após 15 minutos da adição do reagente foi realizada a leitura da absorvância da amostra em espectrofotômetro UV-Visível U-2910 (Hitachi, Tóquio, Japão), a 595nm. Os resultados foram expressos em g g⁻¹ MF.

Avaliações histoquímicas

A análise dos tecidos por microscopia de luz foi realizada no Laboratório de Biologia Celular Vegetal da Universidade Federal do Ceará (UFC).

As amostras foram fixadas, por 48 horas, em glutaraldeído (1%) e paraformaldeído (4%) em tampão fosfato (0,02M, pH 7,2), segundo Karnovsky (1965). Em seguida, o material foi desidratado em uma bateria crescente de etanol, para posteriormente ser infiltrado em Historessina (Leica Historessin). Foram realizados cortes transversais de 5µm de espessura em micrótomo semi-automático (SLEE Mainz CUT 5062). As colorações histoquímicas realizadas foram: Azul de Toluidina (AT) 0,025% (pH 4,0) como corante metacromático para detectar radical aniônico (VIDAL, 1977). A reação pelo ácido periódico e reativo de Schiff (PAS) foi empregada para a identificação de polissacarídeos neutros presentes no citoplasma e parede celular (VIDAL, 1970). As lâminas foram examinadas com auxílio de um fotomicroscópio OLYMPUS modelo BX41 e câmera UC30.

Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram analisados em parcelas subdivididas com o fator radiação na parcela (6 densidades de radiação) e o fator tempo de conservação na subparcela (3 períodos de conservação). O delineamento experimental foi organizado em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 54 parcelas, sendo cada parcela constituída de aproximadamente 250g de manga minimamente processada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação UV_p não induziu alterações ($P>0,05$) na cor (L^* e b^*) da manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada, nem mesmo na interação com o tempo de conservação (Figura 2).

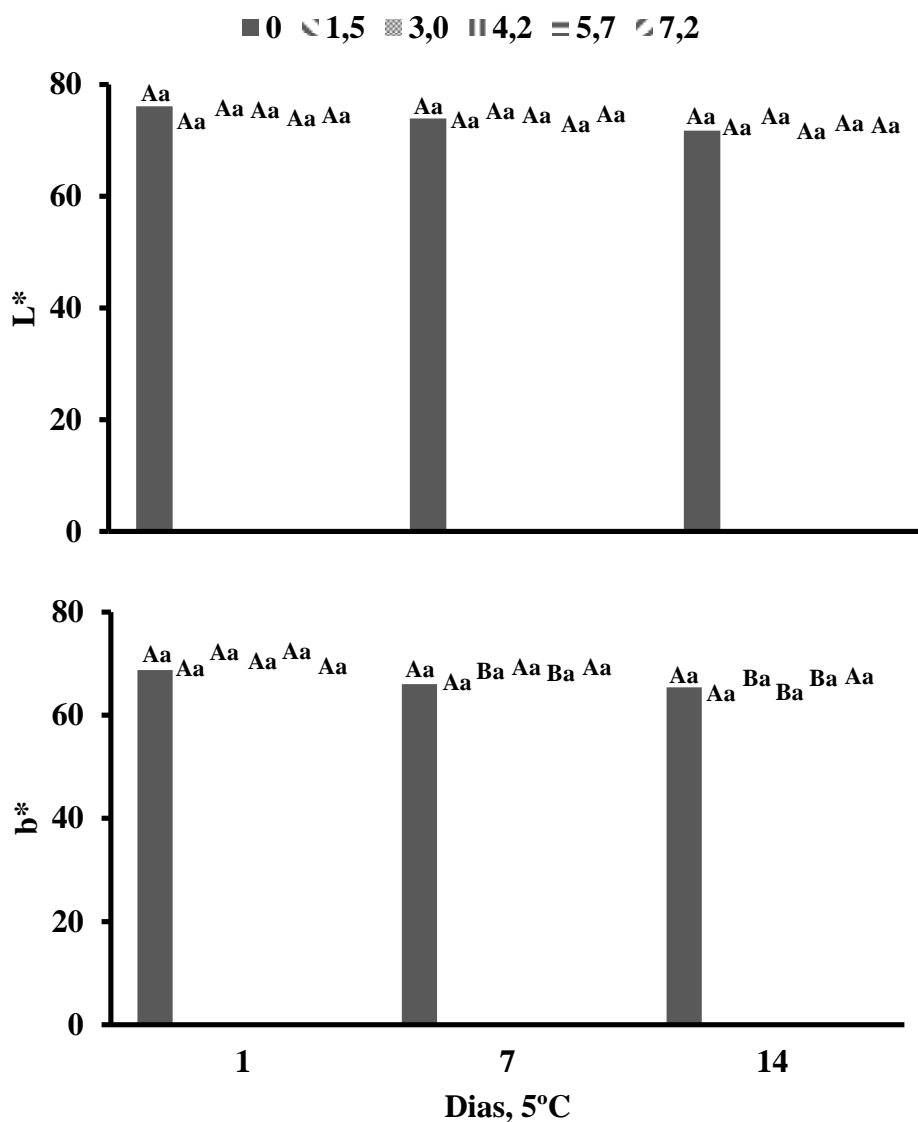


Figura 2. Cor (L^* e b^*) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’), minimamente processada, tratada com UV_p ($J\ cm^{-2}$) e armazenada, por 14 dias, a $5 \pm 1^\circ C$. Para os tempos de armazenamento refrigerado ou para as doses de UV_p , as letras maiúsculas ou as minúsculas, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Diferentemente de L^* , os valores de b^* sofreram redução ($P < 0,05$) durante o período de conservação refrigerada: aos 7 dias, nos cubos que receberam 3,0 e 5,7 $J\text{ cm}^{-2}$ e, aos 14 dias, nos que receberam 3,0; 4,2 e 5,7 $J\text{ cm}^{-2}$. No 14º dia, os cubos tratados com 4,2 $J\text{ cm}^{-2}$ apresentaram cor amarelada (b^* com valor mínimo de 61). As medidas de reflectância confirmaram a ausência do escurecimento (L^*), o que foi observado visualmente nas mangas minimamente processadas. No entanto, em testes preliminares, as mangas minimamente processadas, tratadas com UV_p e conservadas a 12°C, escureceram. Santos (2011) também observou escurecimento em mangas ‘Tommy Atkins’, minimamente processadas, tratadas com UV_p e armazenadas a 12°C. Esses resultados confirmam a hipótese que a refrigeração (5°C) foi eficiente em prevenir o escurecimento das mangas minimamente processadas e tratadas com UV_p .

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) entre a radiação UV_p e o tempo de conservação, sob refrigeração, para o extravasamento de eletrólitos (Ee) dos cubos de manga (Figura 3).

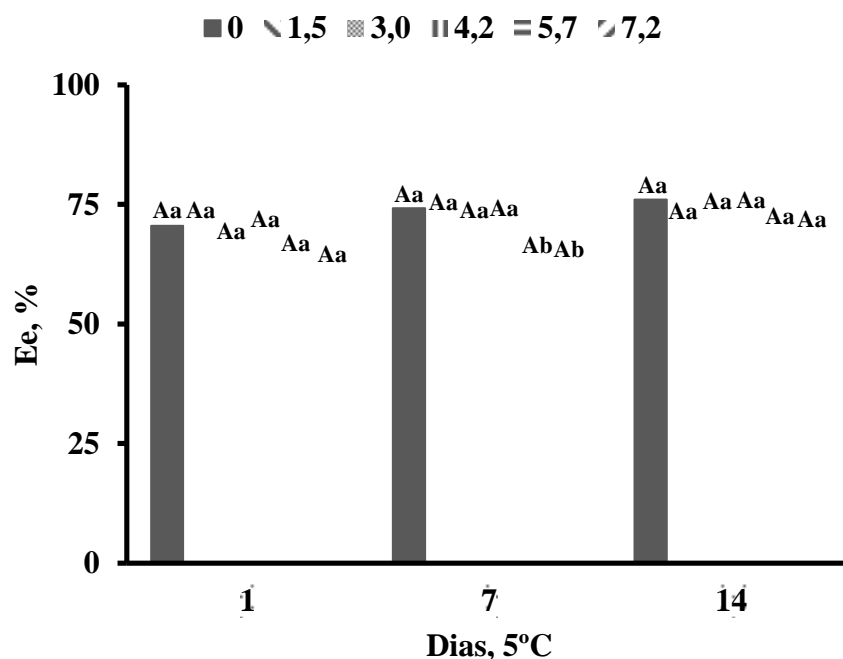


Figura 3. Extravasamento de eletrólitos (Ee) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’), minimamente processada, tratada com UV_p ($J\text{ cm}^{-2}$) e armazenada, por 14 dias, a $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Para os tempos de armazenamento refrigerado ou para as doses de UV_p , as letras maiúsculas ou as minúsculas, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No sétimo dia de conservação, observou-se que as amostras irradiadas com 5,7 e 7,2J cm⁻² de UV_p apresentaram Ee inferior (P<0,05) quando comparados ao controle. Manzocco et al. (2011a), também, verificaram menor Ee em melão minimamente processados tratados com UV_c e conservados a 6°C por 12 dias. Do mesmo modo que foi observado por estes autores em cubos de melão, foi verificado, também, neste estudo, aparência ressecada da superfície externa dos pedaços de manga após aplicação da UV_p.

A aplicação da UV_p parece promover a desidratação de uma fina camada superficial das mangas minimamente processadas sem afetar a sua coloração. E esta fina camada desidratada pode dificultar o extravasamento de solutos. Com o tempo de conservação, esta camada seria reidratada com a umidade proveniente dos tecidos internos, revertendo o efeito protetor ao extravasamento de eletrólitos (Manzocco et al., 2011a).

Observou-se interação significativa (P<0,05) entre os tratamentos e tempo de conservação para a vitamina C dos pedaços de manga (Figura 4).

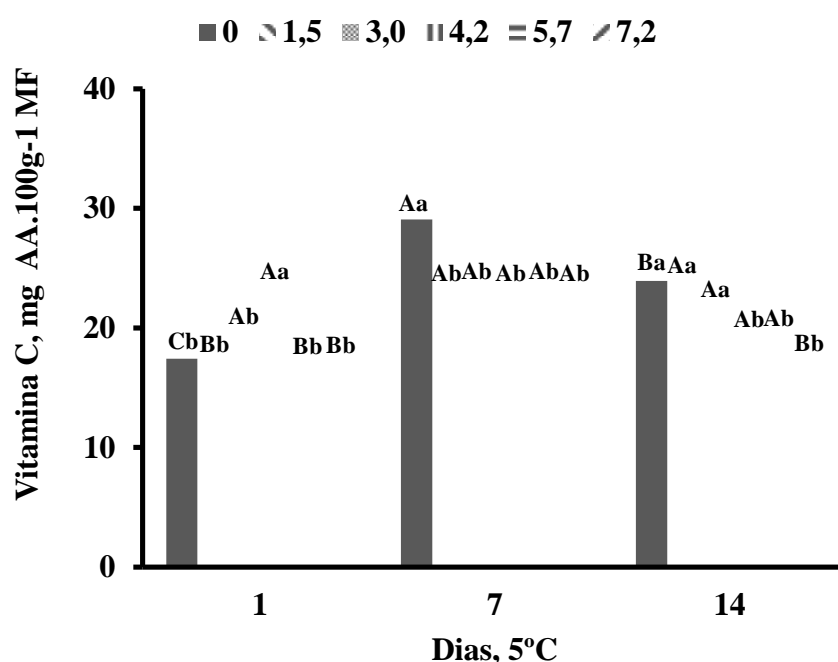


Figura 4. Vitamina C de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’), minimamente processada, tratada com UV_p (J cm⁻²) e armazenada, por 14 dias, a 5 ± 1°C. Para os tempos de armazenamento refrigerado ou para as doses de UV_p, as letras maiúsculas ou as minúsculas, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os cubos tratados com 1,5; 5,7 e 7,2J cm⁻², assim como o controle, aumentaram (P<0,05) o teor de vitamina C aos 7 dias de conservação. Destes, apenas os cubos do

controle e irradiados com $7,2\text{J cm}^{-2}$ reduziram o teor de vitamina C, aos 14 dias.

Aumento significativo na vitamina C das mangas minimamente processadas, com e sem aplicação da UV_p , pode ter sido desencadeado, possivelmente, pelo estresse físico causado pelo corte. Em tomates (Loannidi et al., 2009) e *Arabidopsis* (Suza et al., 2010) o corte induziu a expressão de genes envolvidos na rota de biossíntese da vitamina C, o que, provavelmente, também aconteceu com a mangas minimamente processadas.

No primeiro dia de conservação, os cubos que receberam $4,2\text{J cm}^{-2}$ de UV_p , apresentaram teor de vitamina C 33% maior que o controle ($P<0,05$). Santos (2011) também observou aumento no teor de vitamina C logo após a aplicação da UV_p em mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas.

No sétimo dia de conservação, o teor de vitamina C foi menor ($P<0,05$) em todos os cubos irradiados com UV_p . A radiação promove o aquecimento dos tecidos, o que provocar alterações na composição ou na estabilidade de compostos químicos celulares, prejudicando a qualidade dos frutos (Jun et al., 2003; Gómez-López et al., 2005a e b). A vitamina C é termolábil. Assim, o aquecimento do tecido pode ter favorecido a sua degradação, explicando o menor teor da vitamina C em todos os cubos irradiados, verificado aos sete dias de conservação refrigerada, após a aplicação dos tratamentos com UV_p . No décimo quarto dia de conservação, os cubos tratados com $4,2$; $5,7$ e $7,2\text{J cm}^{-2}$ de UV_p apresentaram menor teor de vitamina C ($P<0,05$), quando comparados ao controle, isso porque quanto maior o tempo de exposição dos cubos a UV_p , maior a fluência, resultando em maior temperatura nos tecidos e maior perda de vitamina C. González-Aguilar et al. (2007) trabalhando com mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas e irradiadas com UV_c por 1, 3, 5 e 10 minutos, observaram, aos seis dias de conservação a 5°C , que a redução no teor de vitamina C dos pedaços de manga foi maior a medida que se aumentava o tempo de exposição a UV_c .

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre as doses e o tempo de conservação para a atividade da polifenoloxidase (PFO). Também, não houve efeito isolado do tempo de conservação ($P>0,05$) na atividade da PFO (Tabela 1). Entretanto, no 14º dia, a atividade da PFO foi maior ($P<0,05$) nos cubos tratados com $1,5$ e $5,7\text{J cm}^{-2}$ de UV_p , quando comparado ao controle.

O escurecimento enzimático, em parte, é atribuído à atividade da polifenoloxidase (PFO) (Mishra et al., 2013; Yan et al., 2013). O acompanhamento visual das mangas minimamente processadas mostrou que o escurecimento dos tecidos foi inibido e a sua cor preservada. Possivelmente, a atividade da PFO foi retardada, pela baixa temperatura de conservação (5°C) utilizada neste estudo (Concellón et al., 2004; Ayaz et al., 2008),

dificultando o acoplamento enzima-substrato, pela diminuição da energia cinética das moléculas. Ou, as densidades energéticas aplicadas não foram altas o suficiente para estimularem a atividade da PFO, a 5°C. Em cogumelos, o escurecimento foi observado apenas na dose mais alta da UV_p (28J cm⁻²), a partir do quinto dia de conservação a 5°C (Oms-Oliu et al., 2010).

Tabela 1. Atividade da Polifenoloxidase (PFO) em manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada durante conservação refrigerada submetidas a diferentes pulsos de radiação ultravioleta.

Enzima	Doses (J cm ⁻²)	Dias, 5 ± 1°C		
		1	7	14
Polifenoloxidase (UA/min.µg prot.)	0	84,2 Aa	86,6 Aa	89,5 Ab
	1,5	92,9 Aa	94,2 Aa	111,1 Aa
	3,0	110,5 Aa	94,1 Aa	82,0 Ab
	4,2	96,1 Aa	92,1 Aa	84,0 Ab
	5,7	101,4 Aa	94,6 Aa	133,4 Aa
	7,2	84,2 Aa	96,4 Aa	99,3 Ab

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Em células intactas, a PFO está separada de seus substratos devido à compartimentalização das membranas celulares, formando organelas. Assim, a manutenção da integridade da membrana das mangas (Figura 3), neste estudo, pode ter inibido a reação de escurecimento (Liu et al., 2011).

Das enzimas antioxidantes avaliadas, observou-se interação significativa (P<0,05) entre as doses e o tempo de conservação apenas para a atividade da peroxidase do ascorbato (APX).

A atividade da catalase (CAT) nos cubos tratados com 4,2J cm⁻², aumentou aos 7 dias e diminuiu aos 14 dias de conservação (P<0,05) (Tabela 2).

Aos 14 dias, a atividade da CAT, nos cubos tratados com 4,2, 5,7 e 7,2J cm⁻² de UV, foi menor (P<0,05), quando comparados ao controle.

A atividade da APX nos cubos do controle não diferiu no sétimo dia de conservação, mas diminuiu, no décimo quarto dia (P<0,05) (Tabela 2). Já, nos cubos irradiados com 1,5J cm⁻² de UV, a atividade da APX aumentou e diminuiu, no sétimo e décimo quarto dia de conservação, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Atividade de enzimas antioxidantes de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada durante conservação refrigerada submetidas a diferentes pulsos de radiação ultravioleta.

Enzima	Doses (J cm ⁻²)	Dias, 5 ± 1°C		
		1	7	14
Catalase (μmol H ₂ O ₂ /min.mg prot.)	0	82,3 Aa	83,7 Aa	91,1 Aa
	1,5	87,6 Aa	74,3 Aa	88,2 Aa
	3,0	79,0 Aa	47,3 Aa	86,2 Aa
	4,2	64,7 Ba	94,6 Aa	46,4 Bb
	5,7	65,7 Aa	75,3 Aa	59,7 Ab
	7,2	63,3 Aa	69,6 Aa	50,3 Ab
Peroxidase do ascorbato (μmol H ₂ O ₂ /min.mg prot.)	0	12,9 Ba	12,3 Bb	18,2 Aa
	1,5	14,3 Ba	19,3 Aa	8,4 Cb
	3,0	9,4 Ab	9,7 Ab	11,8 Ab
	4,2	9,9 Ab	11,4 Ab	10,5 Ab
	5,7	10,4 Ab	10,9 Ab	9,1 Ab
	7,2	8,4 Ab	8,3 Ab	8,7 Ab
Dismutase do superóxido (UA/ mg prot.)	0	577,2 Aa	656,8 Aa	482,5 Aa
	1,5	592,6 Aa	729,7 Aa	611,1 Aa
	3,0	524,1 Aa	670,3 Aa	616,7 Aa
	4,2	616,7 Aa	567,1 Aa	800,1 Aa
	5,7	679,6 Aa	705,3 Aa	734,6 Aa
	7,2	523,3 Aa	587,1 Aa	764,7 Aa

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nos cubos tratados com 3,0, 4,2, 5,7 e 7,2J cm⁻², a atividade da APX foi menor (P<0,05) quando comparados ao controle, no primeiro e sétimo dias de conservação. Aos 14 dias, todos os cubos tratados com UV_p, apresentaram atividade da CAT menor que o controle (P<0,05).

Tratamentos pós-colheita utilizando UV aumentam a taxa da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Jiang et al., 2010). As EROs nos tecidos das plantas é controlado por sistemas antioxidantes que estão inter-relacionados: SOD, APX e CAT. O radical superóxido (O₂[•]) é eficientemente convertido a H₂O₂ pela SOD e o H₂O₂ é destruído principalmente pela APX e CAT (Mittler, 2002).

A atividade da dismutase do superóxido (SOD) não sofreu influência (P>0,05) dos tratamentos e do tempo de conservação (Tabela 2). Talvez, a baixa temperatura de conservação utilizada neste experimento tenha inibido a formação do O₂[•], diminuindo a

resposta de defesa da SOD. Outra hipótese seria que a SOD presente não está em sua temperatura ótima de atividade. Chongchatuporn et al. (2013) estudando a conservação de frutos de manga a 4°C observaram menor atividade da SOD quando comparado as mangas conservadas a 12°C.

Não foi observada interação significativa ($P>0,05$) entre as doses e o tempo de conservação para a atividade da pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG).

Observou-se redução ($P<0,05$) na atividade da PME, aos 7 dias de conservação, nos cubos tratados com $4,2\text{J cm}^{-2}$, sendo que, aos 14 dias, nestes cubos, a atividade da PME aumentou ($P<0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Atividade de enzimas da parede celular de manga (*Mangifera indica* L. var. 'Tommy Atkins') minimamente processada durante conservação refrigerada submetidas a diferentes pulsos de radiação ultravioleta.

Enzima	Doses (J cm^{-2})	Dias, $5 \pm 1^\circ\text{C}$		
		1	7	14
Pectinametilsterase (UA/min. μg prot.)	0	21,5 Ab	25,4 Aa	23,8 Ab
	1,5	24,3 Ab	24,9 Aa	32,0 Aa
	3,0	26,2 Ab	29,2 Aa	28,4 Aa
	4,2	35,5 Aa	24,7 Ba	35,1 Aa
	5,7	21,7 Bb	35,7 Aa	34,1 Aa
	7,2	18,7 Ab	22,4 Aa	21,6 Ab
Poligalacturonase (nmol AR/min. μg prot.)	0	0,3 Ab	0,5 Ab	0,3 Aa
	1,5	0,7 Ab	1,2 Aa	1,0 Aa
	3,0	0,7 Ab	0,7 Ab	0,6 Aa
	4,2	1,2 Aa	0,4 Bb	0,5 Ba
	5,7	0,4 Ab	0,6 Ab	0,3 Aa
	7,2	1,5 Aa	1,2 Aa	0,7 Ba

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nos cubos tratados com $5,7\text{J cm}^{-2}$, a atividade da PME, no sétimo e décimo quarto dia de conservação, aumentou ($P<0,05$).

No primeiro dia de conservação, nos cubos tratados com $4,2\text{J cm}^{-2}$, a atividade da PME foi maior ($P<0,05$), com incremento de 65% quando comparado ao controle. Aos 14 dias, os cubos tratados com 1,5, 3,0, 4,2 e $5,7\text{J cm}^{-2}$, aumentaram a atividade da PME.

Observou-se redução ($P<0,05$) na atividade da poligalacturonase (PG), aos 7 e

14 dias de conservação, nos cubos tratados com 4,2J cm⁻². Nos cubos que receberam 7,2J cm⁻², apenas aos 14 dias, a atividade da PG diminuiu (P<0,05) (Tabela 3).

A atividade da PG, nos cubos com 4,2 e 7,2J cm⁻² de UV, foi maior no primeiro dia de conservação, quando comparado ao controle. No sétimo dia, a maior atividade da PG foi observada nos cubos com 1,5 e 7,2J cm⁻².

Estudos com tomates e morangos conservados por 20°C por 96 horas e 16°C por 25 dias, respectivamente, confirmam os resultados encontrados neste trabalho para aumento na atividade da PME e PG em mangas minimamente processadas irradiadas com UV (Barka et al., 2000; Pombo et al., 2009). A PME e PG são enzimas responsáveis por modificações da parede celular dos frutos (Brummell & Harpster, 2000; Li et al., 2010). As substâncias pécticas constituem-se na classe de polissacarídeos da parede celular que sofrem a mais marcante modificação durante o amadurecimento, e elas são alvos da atuação destas enzimas. A PME catalisa a desmetilação da pectina, tornando-a susceptível a degradação pela PG (Brummell & Harpster, 2001).

Neste estudo, apesar da influencia do UV_p em aumentar a atividade da PME das mangas, não foi possível visualizar, com auxílio de análises histoquímicas, alterações marcantes na parede celular (Figura 5 e 6). As colorações pela reação do PAS (Figura 5) e Azul de Toluidina (Figura 6) coraram a parede celular devido à presença de pectina, celulose e hemicelulose (açúcares neutros). O mesocarpo dos frutos irradiados conservados por 14 dias é muito semelhante ao controle, permanecendo praticamente inalterado durante toda a conservação a 5°C. Este resultado pode estar relacionado à baixa despolimerização da pectina devido à redução na atividade da PG durante o período final de conservação.

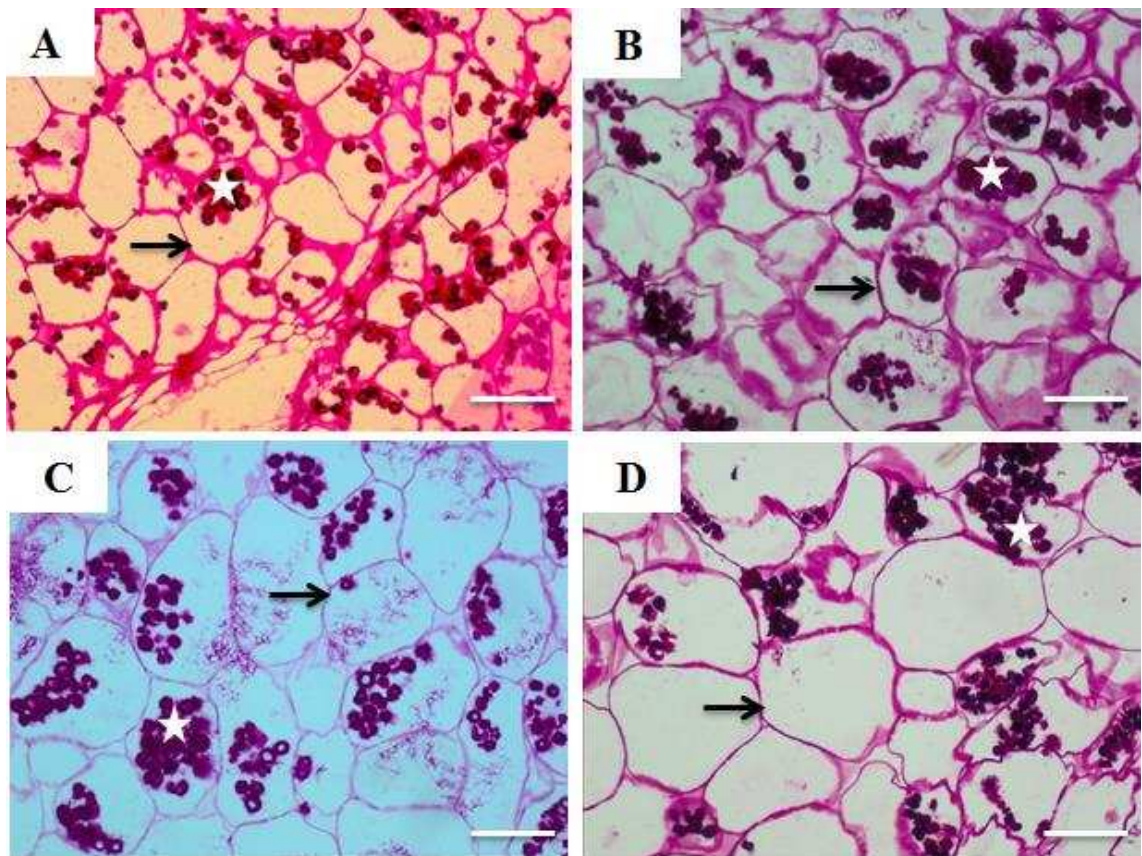


Figura 5. Sessões transversais do mesocarpo de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada tratada com 0 (A e B) e $7,2\text{J cm}^{-2}$ (C e D) de UV_p , conservadas a $5 \pm 1^\circ\text{C}$, por 1 (A e C) e 14 dias (B e D) submetidas a reação do PAS. As setas indicam a parede celular e as estrelas a presença de amido. Barra: $100\mu\text{m}$.

A conservação das mangas minimamente processadas utilizando baixa temperatura pode, neste experimento, ter favorecido a manutenção da integridade celular, reduzindo a atividade das enzimas hidrolíticas da parede. Talvez a aplicação da radiação UV na forma de pulsos, ou mesmo as baixas densidades energéticas utilizadas neste estudo não sejam agressivos o suficiente para causar alterações na estrutura da parede celular. O contrário aconteceu nos pedaços de maçãs armazenadas a 6°C por 14 dias, na qual a aplicação de $2,4\text{J cm}^{-2}$ de radiação UV continuamente causaram rupturas nas membranas, decréscimo no volume intracelular e perda da turgidez das células (Manzocco et al., 2011b).

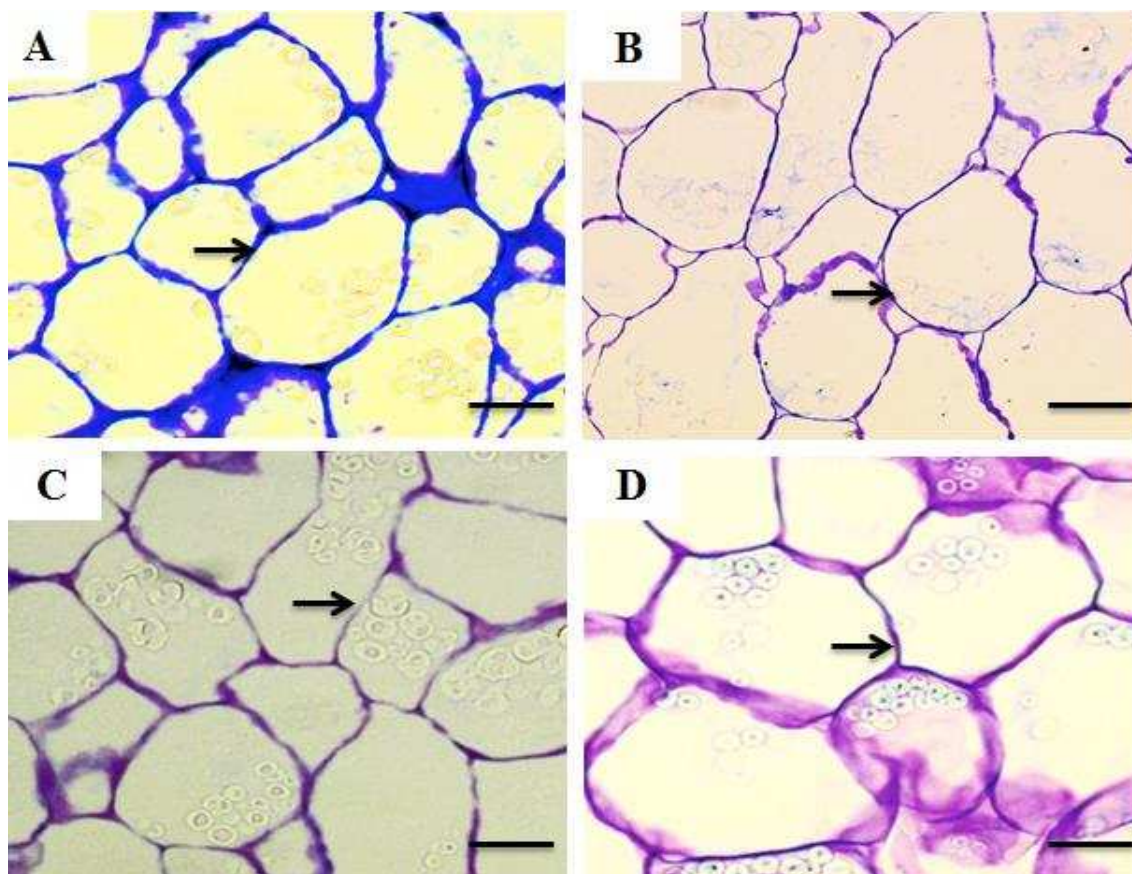


Figura 6. Sessões transversais do mesocarpo de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada tratada com 0 (A e B) e $7,2\text{J cm}^{-2}$ (C e D) de UV_p , durante conservação refrigerada a $5 \pm 1^\circ\text{C}$, por 1 (A e C) e 14 dias (B e D) coradas com Azul de Toluidina (0,025%). As setas indicam a parede celular. Barra: $100\mu\text{m}$.

A parede celular vegetal está presente externamente à membrana plasmática e tem por função primária a proteção celular (Doblin et al., 2010), mais especificamente a proteção da membrana plasmática. A manutenção dos constituintes da parede celular, neste estudo, pode ter contribuído em evitar a perda na compartimentação das células dos cubos de manga durante a conservação refrigerada, como foi verificado na avaliação do Ee, impedindo o contato enzima-substrato responsáveis pelo escurecimento dos tecidos.

Observou-se, nos cortes transversais, a presença de células íntegras, de formatos variados e de diferentes tamanhos. A presença de uma quantidade notável de grânulos de amido, também foi evidenciada aparecendo como grânulos roxeados (comprovado por meio de teste histoquímico com lugol) no citoplasma das células mesocárpicas dos cubos de manga (Figura 5). Com o tempo de conservação, os grânulos de amido vão perdendo sua forma e diminuindo em quantidade e tamanho, refletindo um provável consumo destas reservas durante o metabolismo respiratório das mangas.

CONCLUSÃO

Embora a aplicação do UV_p tenha alterado o Ee, o teor de vitamina C, as enzimas envolvidas no escurecimento, no sistema oxidativo e na degradação da parede celular, a morfologia celular e a cor dos cubos de manga não foram afetados. Deste modo, a conservação refrigerada a 5°C, temperatura recomendada para produtos minimamente processados, controlou o escurecimento de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas tratadas com UV_p.

REFERÊNCIAS

ALAMINO, D. A.; CABRAL, V. B.; DANNER, M. A.; MARCHESE, J. A. 2013. Indução de resistência à podridão-amarga em maçãs pelo uso de eliciadores em pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48, 249-254.

ALLENDE, A.; McEVOY, J. L.; LUO, Y.; ARTES, F.; WANG, C. Y. 2006. Effectiveness of two-sided UV-treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed Red Oak leaf lettuce. **Food Microbiology**, 23, 241–249.

ALLENDE, A.; MCEVOY, J.; TAO, Y.; LUO, Y. 2009. Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. **Food Control**, 20, 230–234.

ALSCHER, R. G.; ERTURK, N.; HEATH, L. S. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, 53, 1331-1341.

AMANKO, K.; CHEN, G. X.; ASADA, K. 1994. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. **Plant Cell Physiology**, 35, 497–504.

AYAZ, F. A.; DEMIR, O.; TORUN, H.; KOLCUOGLU, Y.; COLAK, A. 2008. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. **Food Chemistry**, 106, 291-298.

BARKA, E. A.; KALANTARI, S.; MAKHLOUF, J.; ARUL, J. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, 48, 667-671.

BEERS, R. F.; SIZER, I. W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **The Journal of Biological Chemistry**, 195, 133-140.

BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R. K. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80, 637-64.

BRADFORD, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. **Analytical Biochemistry**, 72, 248-254.

BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M. H. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology**, 47, 311-340.

BUESCHER, R. W.; FURMANSKI, R. J. 1978. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. **Journal of Food Science**, Chicago, 43, 264–266.

CFSAN-FDA. 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: pulsed light technology. Atlanta, Ga.: Center for Food Safety and Applied Nutrition, Food and Drug Administration. Disponível em <<http://www.unusualresearch.com/GovLab/FDA/ift/ift-puls.html>>. Acessado em 27 de setembro de 2012.

CHONGCHATUPORN, U.; KETSA, S.; VAN DOORN, W. G. 2013. Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. **Postharvest Biology and Technology**, 86, 409-417.

CONCELLÓN, A.; AÑÓN, M. C.; CHAVES, A. R. 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. **Food Chemistry**, 88, 17-24.

DARRAS, A.I.; DEMOPOULOS, V.; TINIAKOU, C. 2011. UV-C irradiation induces defence responses and improves vase-life of cut gerbera flowers. **Postharvest Biology and Technology**, 64, 1-7.

DOBLIN, M. S.; PETTOLINO, F.; BACIC, A. 2010. Plant cell walls: the skeleton of the plant world. **Functional Plant Biology**, 37, p. 357-381.

ELMASSER, N.; GUILLOU, S.; LEROI, F.; ORANGE, N.; BAKHROUF, A.; FEDERIGHI, M. 2007. Pulsed light system as a novel food decontamination technology: a review. **Canadian Journal Microbiology**, 53, 813-821.

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

ESPÍN, J.C.; GARCÍA-RUIZ, P.A.; TUDELA, J. VARÓN, R.; GARCÍA-CÁNOVAS, F. 1998. Monophenolase and diphenolase reaction mechanisms of apple and pear polyphenol oxidases. **Journal Agricultural Food Chemistry**, 46, 2968–2975.

FINE, F.; GERVAIS, P. 2004. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. **Journal of Food Protection**, 67, 787-792.

FU, L.; XU, B. T.; XU, X. R.; GAN, R. Y.; ZHANG, Y.; XIA, E. Q.; LI, H. B. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chemistry**, 12, 345-350.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. 1977. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, 59, 2, 309-314.

GIL, M.; SELMA, M.; LÓPEZ-GÁLVEZ, F.; ALLENDE, A., 2009. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions. **International Journal Food Microbiology**, 134, 37–45.

GOMES, M. H.; VIEIRA, T.; FUNDO, J. F.; ALMEIDA, D. P. 2014. Polyphenoloxidase activity and browning in fresh-cut ‘Rocha’ pear as affected by pH, phenolic substrates, and antibrowning additives. **Postharvest Biology and Technology**, 91, 32-38.

GÓMEZ-LÓPEZ, V.M.; DEVLIEGHERE, F. BONDUELLE, V., DEBEVERE, J. 2005a. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. **International Journal of Food Microbiology**, 103, 79– 89.

GÓMEZ-LÓPEZ, V.M.; DEVLIEGHERE, F. BONDUELLE, V., DEBEVERE, J. 2005b. Factors affecting the inactivation of microorganisms by intense light pulses. **Journal Applied Microbiology**, 99, 460-470.

GÓMEZ-LÓPEZ, V. M.; RAGAERT, P.; DEBEVERE, J.; DEVILEGHERE, F. 2007. Pulsed light for food decontamination: a review. **Trend in Food Science & Technology**, 18, 464-473.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.; GARDEA, A. A.; AYALA-ZAVALA, J. F. 2007. Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. **Journal of Food Science**, 72, 197-202.

GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. 2004. Review: advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food Science and Technology International**, 10, 137–147.

HUANG, Y. R.; HUNG, Y. C.; HSU, S. Y.; HUANG, Y. W.; HWANG, D. F. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control**, 19, 329-345.

JIANG, T.; JAHANGIR, M. M.; JIANG, Z.; LU, X., YING, T. 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 56, 209-215.

JUN, S.; IRUDAYARAJ, J.; DEMIRCI, A.; GEISER, D. 2003. Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of *Aspergillus niger* spores. **International Journal of Food Science and Technology**, 38, 883–888.

KARNOVISKY, M. J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, 27, 137-138.

KERTESZ, Z. I. 1995. Pectic enzymes. In: COLOWICK, S. P.; KAPLAN N. O. *Methods in enzymology*. New York: **Academic Press**, 1, 1581p.

KÖRNER, B.; ZIMMERMANN, G.; BERK, Z. 1980. Orange pectinesterase: Purification, properties and effect on cloud stability. **Journal of Food Science**, 45, 1203-1206.

KRISHNAMURTHY, K.; DEMIRCI, A.; IRUDAYARAJ, J.M. 2007. Inactivation of *Staphylococcus aureus* in Milk Using Flow-Through Pulsed UV-Light Treatment System. **Journal of Science**, 72, 233 – 239.

LI, J.; ZHANG, Q.; CUI, Y.; YAN, J.; CAO, J.; ZHAO, Y.; JIANG, W. 2010. Use of UV-C Treatment to Inhibit the Microbial Growth and Maintain the Quality of Yali Pear. **Journal of Food Science**, 75, 503-507.

LIU, H.; SONG, L.; YOU, Y.; LI, Y.; DUAN, X.; JIANG, Y.; LU, W. 2011. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. **Postharvest Biology and Technology**, 60, 24-30.

LOANNIDI, E.; KALAMAKI, M. S.; ENGINEER, C.; PATERAKI, I.; ALEXANDROU, D.; MELLIDOU, I.; KANELLIS, A. K. 2009. Expression profiling of ascorbic acid-related genes during tomato fruit development and ripening and in response to stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, 60, 663-678.

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

MANZOCCO, L.; DA PIEVE, S.; BERTOLINI, A.; BARTOLOMEOLI, I.; MAIFRENI, M.; VIANELLO, A.; NICOLI, M. C. 2011b. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. **Postharvest Biology and Technology**, 61, 165-171.

MARCHESE, J. A.; MATTANA, R. S.; MING, L. C.; BROETTO, F.; VENDRAMINI, P. F.; MORAES, R. M. 2008. Irradiance stress responses of gas exchange and antioxidant enzyme contents in pariparoba [*Pothomorphe umbellata* (L.) Miq.] plants. **Photosynthetica**, 46, 501-505.

MISHRA, B. B.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. 2013. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): the factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). **Food chemistry**, 139, 105-114.

MITTLER, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, 7, 405-410.

NATALINI, A.; VANESA, M. D.; FERRANTE, A.; PARDOSI, A. 2013. Effect of temperature and ripening stages on membrane integrity of fresh-cut tomatoes. **Acta Physiologiae Plantarum**, 36, 191-198.

OMS-OLIU, G.; AGUILÓ-AGUAYO, I; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. 2010. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biology Technology**, 56, 216-222.

PALMA, F.; CARVAJAL, F.; LLUCH, C.; JAMILENA, M.; GARRIDO, D. 2014. Changes in carbohydrate content in zucchini fruit (*Cucurbita pepo* L.) under low temperature stress. **Plant Science**, 217, 78-86.

PEÑALVER, M. J.; FENOLL, L.G.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. N.; GARCÍA-RUIZ, P. A.; GARCÍA-MOLINA, F.; VARÓN, R.; GARCÍA-CÁNOVAS, F.; TUDELA, J. Reaction mechanism to explain the high kinetic autoactivation of tyrosinase. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, 2005, 35-42.

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

POMBO, M. A.; ROSLI, H. G.; MARTÍNEZ, G. A.; M. CIVELLA, P. M. 2011. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria×ananassa*, Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, 59, 94-102.

PRESSEY, R.; AVANTS, J. K. 1973. Separation and characterization of endopolygalacturonase and exopolygalacturonase from peaches. **Plant Physiology**, 52, 252-256.

RICE, J. K.; EWELL, M. 2001. Examination of peak power dependence in the UV inactivation of bacterial spores. **Applied and Environmental Microbiology**, 67, 5830-5832.

SALTVEIT, M. E. 2002. The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. **Postharvest Biology and**

Technology, 26, 295-304.

SANTOS, J. S. Efeito de antioxidantes, cloreto de cálcio e luz ultravioleta (uv) pulsante na conservação de manga tomy atkins minimamente processada. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão, SE.

SEREK, M.; TAMARI, G.; SISLER, E. C.; BOROCHOV, A. 1995. Inhibition of ethylene induced cellular senescence symptoms by 1-methylcyclopropene, a new inhibitor of ethylene action. **Physiologia Plantarum**, 94, 229-232.

SHARMA, R. R.; DEMIRCI, A. 2003. Inactivation of Escherichia coli O157: H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. **Journal of Food Science**, 68, 1448-1453.

SIMÕES, A. N.; VENTRELLA, M. C.; MORETTI, C. L.; MARCELO, A. G.; CARNELOSSI, M. A. G.; PUSCHMANN, R. 2010. Anatomical and physiological evidence of white blush on baby carrot surfaces. **Postharvest Biology and Technology**, 55, 45–52.

SOLIVA-FORTUNY, R. C.; MARTÍN-BELLOSO, O. 2003. New advances in extending the shelf-life fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**, 14, 341-353.

STROHECKER R; HENNING HM. 1967. Analisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 428p.

SUZA, W. P.; AVILA, C. A.; CARRUTHERS, K.; KULKARNI, S.; GOGGIN, F. L.; LORENCE, A. 2010. Exploring the impact of wounding and jasmonates on ascorbate metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, 48, 337-350.

VIDAL, B.C. 1970. Dichroism in collagen bundles stained with xylydine Ponceau 2R. **Annals of Histochemistry**, 15, 289-296.

VIDAL, B. C. 1977. Acid glycosaminoglycans and endochondral ossification: microspectrophotometric evaluation and macromolecular orientation. **Cell Molecular Biology**, 22, 45-64.

YAN, S.; LI, L.; HE, L.; LIANG, L.; LI, X. 2013. Maturity and cooling rate affects browning, polyphenol oxidase activity and gene expression of ‘Yali’ pears during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 85, 39-44.

YANG, Z.; ZHENG, Y.; CAO, S. 2009. Effect of high oxygen atmosphere storage on quality, antioxidant enzymes, and DPPH-radical scavenging activity of chinese bayberry fruit. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 57, 176–181.

WISSEMANN, K. W.; LEE, C. Y. 1981. Characterization of polyphenoloxidase from Ravat 51 and Niagara grapes. **Journal of Food Science**, 46, 2, 506-508.

CAPÍTULO 2

Emprego do 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como ferramenta no controle do escurecimento em mangas minimamente processadas e tratadas com radiação ultravioleta pulsada

INTRODUÇÃO

No mercado varejista de frutas e hortaliças, o segmento de produtos minimamente processados, ainda, é atrativo para as indústrias, pois apresenta bons rendimentos (Arienzo et al., 2013). No entanto, a manipulação do produto, bem como as etapas de corte (e a conseqüente liberação do exsudado celular) favorecem a contaminação por micro-organismos (Harris et al., 2003).

A radiação ultravioleta (UV), conforme mencionado anteriormente, tem sido uma estratégia alternativa para o controle dessa contaminação. Esta técnica, além de substituir os compostos químicos à base de cloro, apresenta outras vantagens, como a indução da síntese de compostos fenólicos (Pombo et al., 2011; Charles et al., 2013). Em morangos (*Fragaria* × ananassa, Duch), por exemplo, o tratamento com radiação ultravioleta contínua desencadeou a síntese de compostos secundários indutores de resistência contra micro-organismos fitopatogênicos (Pombo et al., 2011). Aumento na concentração de compostos fenólicos foi verificado em tomate (Jagadeesh et al., 2011; Bravo et al., 2012) e em manga minimamente processada (Santos, 2011) expostos, respectivamente, à radiação ultravioleta contínua ou pulsada.

Entretanto, o processamento mínimo (Tomás-Barberán et al., 1997; Myung et al., 2006) e a radiação UV_p provocam alterações metabólicas, em especial as que induzem o escurecimento (Saltveit, 2004), pois afeta negativamente a aparência: atributo essencial na decisão de compra (Soliva-Fortuny & Martin-Belloso, 2003; Gomes et al., 2014), conforme observado em tomates (Aguiló-Aguayo et al., 2013) e em manga minimamente processada (Santos, 2011).

Esse escurecimento é o resultado da oxidação e polimerização de compostos fenólicos (Innocenti et al., 2007; Massolo et al., 2011) que está associado à síntese e ação do etileno. O aumento na concentração de etileno está diretamente relacionado à atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL), que catalisa a biossíntese dos

compostos fenilpropanóides (Choi et al., 2005). O escurecimento ocorre quando os produtos do metabolismo desses fenilpropanóides, como os compostos fenólicos são oxidados em reações catalisadas por fenolases, como a polifenol oxidase (Brecht, 1995), que, também, tem a sua síntese e atividade aumentadas em resposta ao etileno (Massolo et al., 2011; Shetty et al., 2011; Tiecher et al., 2013).

Durante o processamento mínimo, ocorre destruição mecânica de parte do sistema de membranas na superfície cortada. O etileno produzido nesses tecidos acelera a degradação de outras membranas celulares, desorganizando e destruindo o tecido (Brecht, 1995). Essa perda de compartimentação celular submete o tecido a maiores exposições ao oxigênio (Rolle & Chism, 1987), ao mesmo tempo em que proporciona maior contato entre as enzimas oxidativas (fenolases) e seus substratos (compostos fenólicos), resultando na oxidação desses compostos (Yoruk et al., 2003), iniciando desta forma as reações do escurecimento.

Como verificado no capítulo anterior, o escurecimento em cubos de manga tratados com UV_p foi controlado pela temperatura de armazenamento ($5^{\circ}C$). Contudo, em supermercados, as gôndolas de exposição apresentam temperaturas mais elevadas ($\pm 12^{\circ}C$), sendo necessárias outras alternativas para controle do escurecimento, como, por exemplo, bloquear a ação do etileno. Abacates, após exposição ao etileno, apresentaram maior escurecimento (Pesis et al., 2002), enquanto que maçãs minimamente processadas, que tiveram os seus sítios de ação do etileno bloqueados, apresentaram menor escurecimento (Rupasinghe et al., 2005; Chiabrande & Giacalone, 2012).

O 1-Metilciclopropeno (1-MCP) é um potente inibidor da ação do etileno (Soliva-Fortuny & Martin-Belloso, 2003), controlando a senescência (Massolo et al., 2011), bem como a atividade das enzimas antioxidativas (Zhang et al., 2013). Em maçãs (Jiang & Joice, 2002) e em mangas ‘Tommy Atkins’ (Plotto et al., 2003), a exposição ao 1-MCP, antes do processamento mínimo (corte), reduziu a produção de etileno. O 1-MCP, também, reduziu o escurecimento em polpa de berinjela (Massolo et al., 2011) e em maçãs ‘Empire’ minimamente processadas (Nock et al., 2013).

Assim, se espera (hipótese) que o 1-MCP iniba o escurecimento em manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada e tratada UV_p , mesmo quando conservada a $12 \pm 2^{\circ}C$, que é a temperatura média nas gôndolas de supermercado.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal, processamento mínimo e tratamentos

A obtenção dos frutos e o fluxograma das operações de processamento mínimo foi o mesmo descrito no capítulo 1.

Aplicou-se 1-Metilciclopropeno (1-MCP, SmarFresh[®]), na concentração de 0,5µL L⁻¹, a amostras de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas (cerca de 250g). Os cubos ficaram expostos ao 1-MCP por 4 horas, antes da irradiação com UV_p e/ou por 12 horas, após a aplicação do UV_p. A densidade energética da UV_p foi 5,7J cm⁻².

Tabela 1. Manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada tratada com 1-MCP antes, depois, e antes e depois a aplicação de UV_p.

Tratamentos	Descrição
Controle	Sem UV _p e 1-MCP
U	UV _p
M+U	1-MCP (4 h) + UV _p
U+M	UV _p + 1-MCP (12 h)
U+M+U	UV _p + 1-MCP (4 h) + UV _p

Após aplicação dos tratamentos, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno tereftalato (PET) com tampa e foram conservadas em câmara fria (12 ± 2°C e UR 85 ± 5%), por um período de 14 dias. Após 1, 7 e 14 dias as amostras foram retiradas para as análises.

Análises

A Cor (L* e b*), extravasamento de eletrólitos (Ee), teor de vitamina C e atividade da polifenoloxidase (PFO) foram avaliadas conforme a metodologia descrita no capítulo 1.

Fenólicos totais (FT)

Para preparação do extrato, homogeneizou-se 5g de polpa e 4mL de metanol 50%, com auxílio de um homogeneizador de tecidos Turrax T-25 digital (IKA Labortechnik). O homogeneizado ficou em repouso por 1 hora. Após isto, centrifugou-se (25.000g por 15 min) a mistura em centrífuga Biofuge Stratos (Heraeus Instruments). O sobrenadante foi filtrado e transferido para um balão de 10mL e o precipitado,

dissolvido em acetona 70%. Após 1 hora de repouso, centrifugou-se a mistura nas mesmas condições da primeira centrifugação. Adicionou-se, o segundo sobrenadante ao primeiro balão de 10mL, completando-se o volume com água destilada, obtendo-se assim o extrato (Larrauri et al., 1997).

A determinação dos fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Obanda & Owuor (1997). Adicionou-se aos tubos de ensaio contendo 300µL do extrato de cada amostra, 1mL do reagente Folin-Ciocalteu, 2mL de NaCO₃ 20% e 2mL de água destilada. Em seguida, as amostras foram agitadas e deixadas em repouso por no mínimo 30 minutos no escuro. Logo após, realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV-Visível U-2910 (Hitachi, Tóquio, Japão), a 700nm, usando a curva padrão de ácido gálico (AG) sendo os resultados expressos em mg de AG.100 g⁻¹ de polpa.

Capacidade Antioxidante total (CA)

Para obtenção do extrato utilizou-se a mesma metodologia descrita para extração de fenólicos totais. A CA foi obtida pelo método da captura do radical livre ABTS•⁺, com modificações (Re et al., 1999). O radical ABTS•⁺ foi gerado pela interação de 7mM de ABTS com 2,45mM de persulfato de potássio. Incubada a solução por 16 horas, e após este tempo, diluiu-se em etanol até a obtenção de uma solução com absorvância de 0,70 (± 0,01). Após adicionar 40µL da amostra diluída a 1960µL da solução contendo o radical ABTS, determinou-se a absorvância a 734nm, após 20 minutos de reação em espectrofotômetro UV-Visível U-2910 (Hitachi, Tóquio, Japão). Como solução padrão, usou-se o antioxidante sintético Trolox nas concentrações de 100 a 1000µM em etanol. Os resultados foram expressos em µMolar de trolox.g⁻¹ MF.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi analisado em parcelas subdivididas com o tratamento na parcela (5 tratamentos) e o tempo de conservação na subparcela (3 períodos de conservação). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando 60 parcelas, sendo cada parcela constituída de aproximadamente 250g de manga minimamente processada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os tratamentos e o tempo de conservação para os valores de L^* e b^* ($P < 0,05$) (Figura 1).

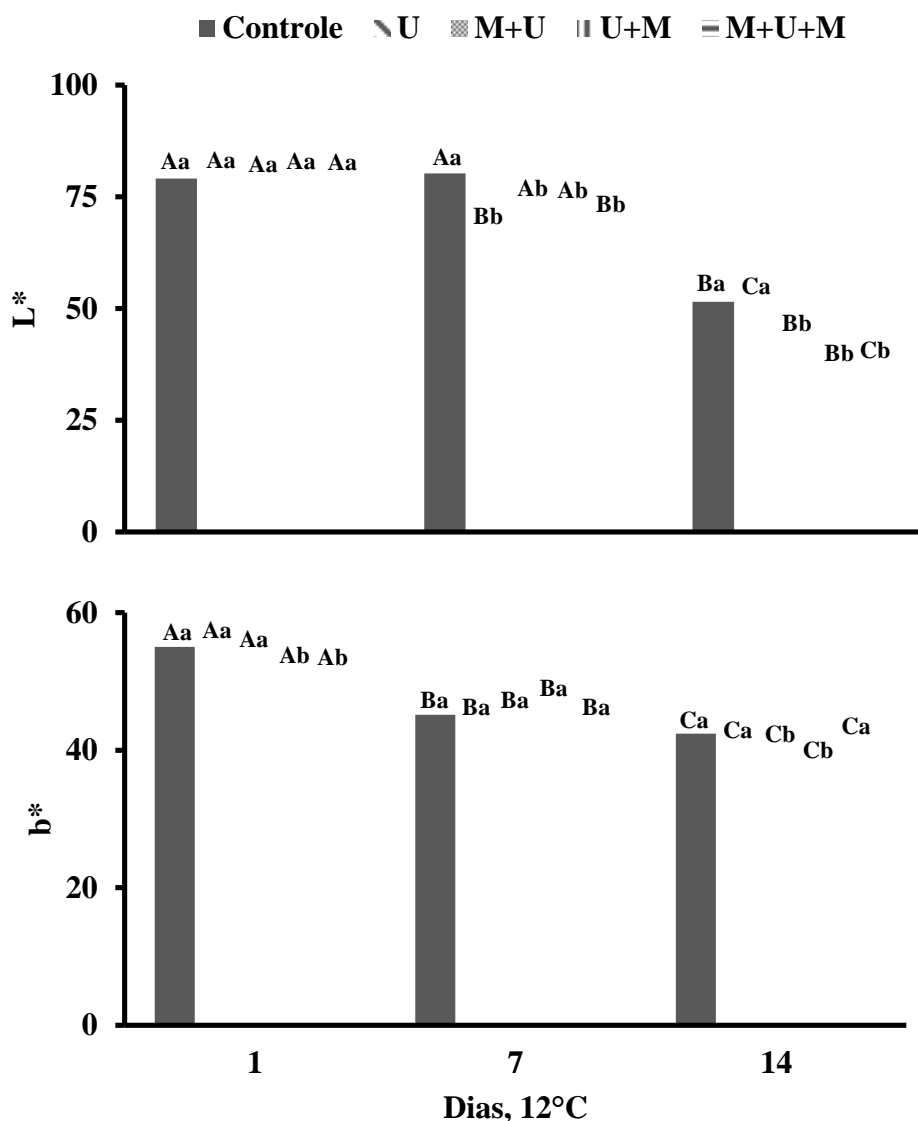


Figura 1. Cor (L^* e b^*) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p (U), 1-MCP+ UV_p (M+U), UV_p +1-MCP (U+M) e 1-MCP+ UV_p +1-MCP (M+U+M), e armazenadas por 14 dias, a $12 \pm 2^\circ\text{C}$. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, para os tempos de conservação, e minúsculas, para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores de luminosidade (L^*), dos cubos tratados com 1-MCP+ UV_p e UV_p +1-MCP, assim como dos cubos do controle, não diferiram ($P > 0,05$) no sétimo dia, mas diminuiram aos 14 dias de conservação. Já, os cubos tratados com UV_p e 1-MCP+ UV_p +1-

MCP reduziram no sétimo dia, apresentando nova redução aos 14 dias.

Em todos os tratamentos, no sétimo dia, os valores de L^* foram inferiores ao controle, enquanto que, aos 14 dias de conservação, foram inferiores nos cubos tratados com 1-MCP+UV_p, UV_p+1-MCP e 1-MCP+UV_p+1-MCP.

Diminuição em L^* indica escurecimento dos cubos e, de acordo com estes valores e da observação visual, o escurecimento foi inicialmente notado a partir do sétimo dia, em todos os tratamentos, com exceção dos cubos do controle. Maçãs 'Empire' tratadas com 1-MCP ($1 \mu\text{L L}^{-1}$) apresentaram maior escurecimento quando comparadas ao controle, e semelhante a este estudo, o escurecimento das maçãs aumentou com o tempo de conservação (Jung & Watkins, 2011).

O 1-MCP pode ter inibido as respostas de defesa desencadeada pelo etileno que atuam protegendo os tecidos contra as reações do escurecimento. A UV pode induzir o estresse oxidativo (Jiang et al., 2010), levando ao escurecimento dos tecidos. O etileno está envolvido neste processo, podendo tanto induzir os sintomas (Vranová et al., 2002) quanto reparar ou proteger os tecidos destes estresses (Larkindale & Knight, 2002).

Ao sétimo dia de conservação, todos os tratamentos reduziram os valores de b^* ($P < 0,05$), reduzindo, novamente, no décimo quarto dia, indicando diminuição na cor amarela dos cubos.

No primeiro dia de conservação, os valores de b^* dos cubos tratados com UV_p+1-MCP e 1-MCP+UV_p+1-MCP foram inferiores ($P < 0,05$) ao controle. Aos 14 dias, nos cubos tratados com UV_p+1-MCP e 1-MCP+UV_p, os valores de b^* foram menores que o controle. A diferença nos valores de b^* entre os tratamentos, no fim do período de conservação, apesar de significativa, foi pequena, chegando a 7% entre o menor e maior valor, e isto não foi percebido visualmente. A cor amarela foi preservada quando os cubos receberam o 1-MCP antes e depois de serem irradiados.

Foi observado aumento notável na atividade da PFO no sétimo dia de conservação em todos os tratamentos, mas este aumento só foi significativo ($P < 0,05$) nos cubos tratados com UV_p. Houve, no último dia de conservação refrigerada, um novo aumento da PFO nestes cubos (Tabela 2).

Aumento na atividade da PFO coincidiu com o escurecimento verificado visualmente e pelos valores de L^* (Figura 1), a partir do sétimo dia de conservação. Nesse período, apenas os cubos do controle (sem UV_p e 1-MCP) mantiveram a cor (visual e L^*) inalterada em relação ao primeiro dia de conservação.

Tabela 2. Atividade da polifenoloxidase (PFO) e conteúdo de fenólicos totais (FT) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada tratada com UV_p (U), 1-MCP+UV_p (M+U), UV_p+1-MCP (U+M) e 1-MCP+UV_p+1-MCP (M+U+M) durante conservação refrigerada. Fortaleza, CE, 2013.

		Dias, 12 ± 2°C		
Tratamentos		1	7	14
PFO (UA.min ⁻¹ .µg prot.)	Controle	64,7 Aa	137,8 Aa	123,4 Aa
	U	56,1 Ba	166,9 Aa	221,2 Aa
	M+U	68,3 Aa	191,5 Aa	196,9 Aa
	U+M	101,1 Aa	258,7 Aa	181,0 Aa
	M+U+M	93,6 Aa	199,9 Aa	186,1 Aa
FT (mg AG.100g ⁻¹ MF)	Controle	16,8 Aa	15,2 Aa	18,0 Aa
	U	16,3 Aa	14,8 Aa	18,1 Aa
	M+U	14,4 Ba	18,1 Aa	19,3 Aa
	U+M	16,3 Aa	15,3 Aa	18,2 Aa
	M+U+M	15,3 Ba	17,3 Ba	20,6 Aa

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Scoott-Knott a 5% de probabilidade

Ao sétimo dia de conservação, o teor de fenólicos totais (FT) reduziu nos cubos com 1-MCP+UV_p (P<0,05) (Tabela 2), quando comparado ao primeiro dia, reduzindo, novamente, no décimo quarto dia. Já, nos cubos com 1-MCP+UV_p+1-MCP, ocorreu redução apenas aos 14 dias.

O teor de FT em mangas ‘Tommy Atkins’ inteiras e minimamente processadas é variável, podendo atingir valores mínimos de 8,25 a máximos de 50 mg AG.100g⁻¹ MF (Andrade, 2013; Robles-Sánchez et al., 2013). Neste estudo, o valor máximo de FT foi de 20,6 mg AG.100g⁻¹ MF, aos 14 dias, nos cubos com 1-MCP aplicado antes e depois do UV_p. Não foi possível afirmar, neste trabalho, que os FT dos cubos de manga foram induzidos pelo corte, pois a análise dos FT nas mangas antes do corte não foi realizada.

Aos 7 e 14 dias de conservação, todos os tratamentos aumentaram o extravasamento de eletrólitos (Ee) (P<0,05) (Figura 2).

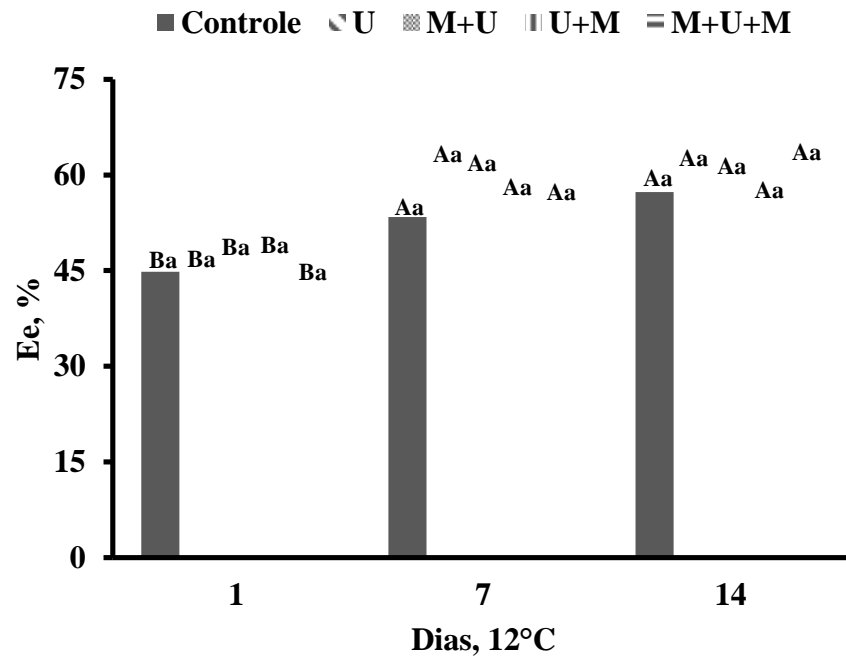


Figura 2. Extravasamento de eletrólitos (Ee) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p (U), 1-MCP+ UV_p (M+U), UV_p +1-MCP (U+M) e 1-MCP+ UV_p +1-MCP (M+U+M), e armazenadas por 14 dias, a $12 \pm 2^\circ\text{C}$. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, para os tempos de conservação, e minúsculas, para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nos cubos de manga minimamente processada, o aumento do Ee, durante o período de conservação, indica a perda de integridade (permeabilidade seletiva) do sistema de membranas celulares, favorecendo o aumento no escurecimento. Em células intactas, a PFO está separada de seus substratos devido à compartimentação das membranas (Liu et al., 2011). Portanto, a perda dessa integridade das membranas facilita o contato desta enzima com os seus substratos fenólicos e, por consequência, escurecimento, principalmente no último dia de conservação refrigerada.

Em todos os cubos tratados, a vitamina C reduziu aos 7 dias de conservação. Aos 14 dias, apenas os cubos tratados com UV_p e UV_p +1-MCP, sofreram nova diminuição no teor de vitamina C ($P < 0,05$) (Figura 3).

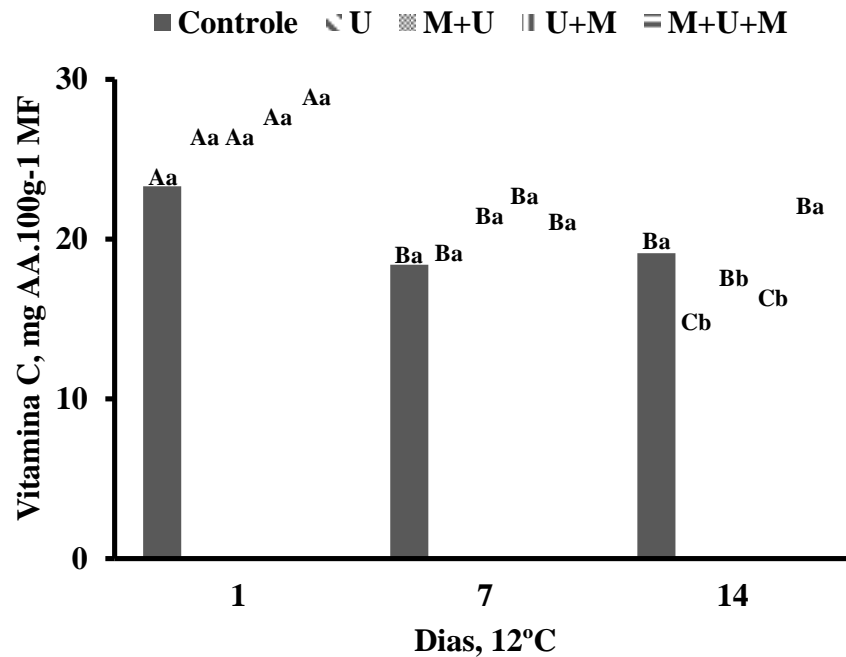


Figura 3. Vitamina C de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p (U), 1-MCP+UV_p (M+U), UV_p+1-MCP (U+M) e 1-MCP+UV_p+1-MCP (M+U+M), e armazenadas por 14 dias, a 12 ± 2°C. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, para os tempos de conservação, e minúsculas, para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os teor de vitamina C dos cubos tratados com UV_p, 1-MCP+UV_p e UV_p+1-MCP apresentaram menor teor de vitamina C (P<0,05), aos 14 dias de conservação, quando comparados ao controle. No último dia de conservação, os cubos que receberam dose dupla de 1-MCP (1-MCP+UV_p+1-MCP), o teor de vitamina C foi maior, quando comparado ao controle. Isto indica que o a aplicação do 1-MCP, reduziu a perda de vitamina C em mangas minimamente processadas e tratadas com UV_p.

A diminuição no teor de vitamina C durante o período de conservação é comum em frutas e hortaliças inteiras ou minimamente processadas. Como detalhado no capítulo anterior, a diminuição no teor de vitamina C, pode ter ocorrido devido à vitamina C atuar prevenindo o escurecimento enzimático dos frutos, inibindo de forma competitiva o sítio catalítico da polifenoloxidase (PFO). A vitamina C é capaz de reduzir as quinonas geradas pela PFO a sua estrutura original, difenol, limitando o escurecimento por um processo conhecido como ‘desativação de reação’. Além disso, a vitamina C pode ter sido utilizado na interação com EROs, em particular H₂O₂, que são produzidos durante o estresse oxidativo.

Houve aumento da capacidade antioxidante total (CA), aos 7 e 14 dias, apenas

nos cubos que receberam 1-MCP+UV_p (P>0,05) (Figura 4).

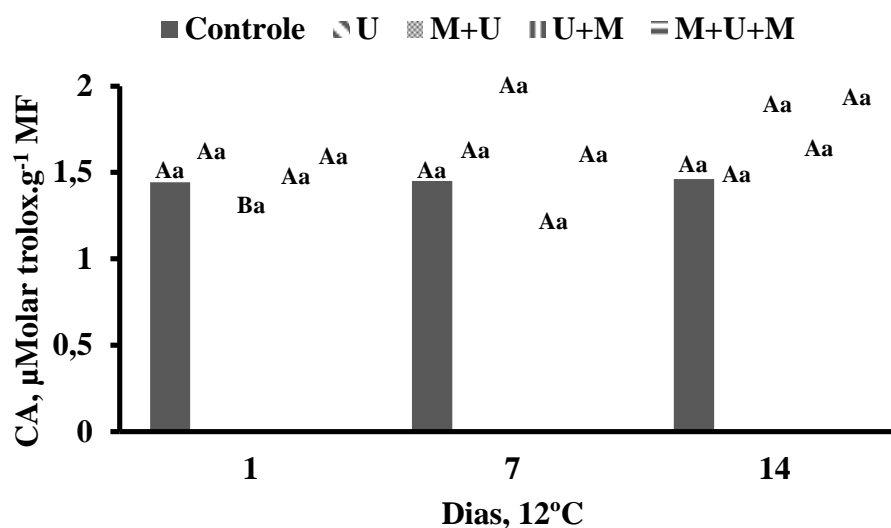


Figura 4. Capacidade antioxidante (CA) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p (U), 1-MCP+UV_p (M+U), UV_p+1-MCP (U+M) e 1-MCP+UV_p+1-MCP (M+U+M), e armazenadas por 14 dias, a 12 ± 2°C. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, para os tempos de conservação, e minúsculas, para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Provavelmente, os FT foram os principais responsáveis, neste estudo, pela capacidade antioxidante dos cubos de manga. Nos cubos tratados com 1-MCP+UV_p o teor de FT e CA aumentaram, de forma similar, durante a conservação refrigerada a 12°C. Semelhante a este estudo, em mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas e tratadas com radiação ultravioleta, o acúmulo de compostos fenólicos foi positivamente correlacionada com a capacidade antioxidante (González-Aguilar et al., 2007).

CONCLUSÃO

A exposição de manga 'Tommy Atkins' minimamente processada ao 1-Metilcicloproneno (1-MCP), antes ou depois da aplicação da radiação UV_p, não controlou o escurecimento, durante os 14 dias de conservação a 12°C.

REFERENCIAS

AGUILÓ-AGUAYO, I.; CHARLES, F.; RENARD, C. M.; PAGE, D.; CARLIN, F. 2013. Pulsed light effects on surface decontamination, physical qualities and nutritional composition of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 86, 29-36.

ANDRADE, M. E. L. Qualidade pós-colheita de manga “Tommy Atkins” tratada com água eletrolisada. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN. 66p

ARIENZO, M.; CATALDO, D.; FERRARA, L. 2013. Pesticide residues in fresh cut vegetables from integrated pest management by Ultra Performance Liquid Chromatography coupled to Tandem Mass Spectrometry. **Food Control**, 31, 108-115.

BRAVO, S.; GARCIA-ALONSO, J.; MARTIN-POZUELO, G.; GOMEZ, V.; SANTAELLA, M.; NAVARRO-GONZALEZ, I.; PERIAGO, M. J. 2012. The influence of post-harvest UV-C hormesis no lycopene, carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. **Food Research International**. 49, 296–302.

BRECHT, J. K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, 30, 18–22.

CHARLES, F.; VIDAL, V.; OLIVE, F.; FILGUEIRAS, H.; SALLANON, H. 2013. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 18, 190-195.

CHIABRANDO, V.; GIACALONE, G. 2012. Effect of antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut apples during cold storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, 36, 133–140.

CHOI, Y.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; SALTVEIT, M. E. 2005. Wound-induced phenolic accumulation and browning in lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf tissue is reduced by exposure to n-alcohols. **Postharvest Biology and Technology**, 37, 47–55.

GOMES, M. H.; VIEIRA, T.; FUNDO, J. F.; ALMEIDA, D. P. 2014. Polyphenoloxidase activity and browning in fresh-cut ‘Rocha’ pear as affected by pH, phenolic substrates, and antibrowning additives. **Postharvest Biology and Technology**, 91, 32-38.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.; GARDEA, A. A.; AYALA-ZAVALA, J. F. 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. **Journal of food science**, 72, 197-202.

LIU, H.; SONG, L.; YOU, Y.; LI, Y.; DUAN, X.; JIANG, Y.; JOYCE, D. C.; ASHRAF, M.; LU, W. 2011. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. **Postharvest Biology and Technology**, 60, 24-30.

HARRIS, L. J.; FARBER, J. N.; BEUCHAT, L. R.; PARISH, M. E.; SUSLOW, T. V.; GARRETT, E. H.; BUSTA, F. F. 2003. Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2, 78-141.

INNOCENTI, E.D.; PARDOSSI, A.; TOGNONI, F.; GUIDI, L. 2007. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in ‘lettuce’, ‘escarone’ and ‘rocket salad’ when stored as fresh cut products. **Food Chemistry**. 104, 209–215.

JAGADEESH, S. L.; CHARLES, M. T.; GARIPEY, Y.; GOYETTE, B.; RAGHAVAN, G. S.; VIGNEAULT, C. 2011. Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. **Food Bioprocess Technology**, 4, 1463–1472.

JIANG, T.; JAHANGIR, M. M.; JIANG, Z.; LU, X., YING, T. 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 56, 209-215.

JIANG, Y.; JOYCE, D. C. 2002. 1-Methylcyclopropene treatment effects on intact and fresh-cut apple. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 77, 19–21.

JUNG, S. K.; WATKINS, C. B. 2011. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored ‘Empire’ apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 59, 219-226.

LARKINDALE, J.; KNIGHT, M. R. 2002. Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves calcium, abscisic acid, ethylene, and salicylic acid. **Plant Physiology**, 128, 682-695.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 1390-1393.

MASSOLO, J. F.; CONCELLÓN, A.; CHAVES, A. R.; VICENTE, A. R. 2011. 1-methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 59, 10–15.

MYUNG, K.; HAMILTON-KEMP, T. R.; ARCHBOLD, D. D. 2006. Biosynthesis of trans- 2-hexenal in response to wounding in strawberry fruit. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. 54, 1442–1448.

NOCK, J. F.; WATKINS, C. B. 2013. Repeated treatment of apple fruit with 1-methylcyclopropene (1-MCP) prior to controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, 79, 73–79.

OBANDA, M.; OWUOR, P.O. 1995. Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 74, 209-215.

PESIS, E.; ACKERMAN, M.; BEN-ARIE, R.; FEYGENBERG, O.; FENG, X.; APELBAUM, A.; PRUSKY, D. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, 24, 171-181.

PLOTTO, A. N. N. E.; BAI, J.; BALDWIN, E. A.; BRECHT, J. K. 2003. Effect of pretreatment of intact 'Kent' and 'Tommy Atkins' mangoes with ethanol vapor, heat or 1-methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh-cut slices. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, 116, 394-400.

POMBO, M. A.; ROSLI, H. G.; MARTÍNEZ, G. A.; M. CIVELLA, P. M. 2011. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria×ananassa*, Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, 59, 94–102.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. 1999. Antioxidant activity applying improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26, 1231-1237.

ROBLES-SÁNCHEZ, R. M.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; ODRIOZOLA-SERRANO, I.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.; MARTIN-BELLOSO, O. 2013. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. **Food Science and Technology**, 50, 240-246.

ROLLE, R. S.; CHISM, G. W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, 10, 157-177.

RUPASINGHE, H. V.; MURR, D. P.; DEELL, J. R.; ODUMERU, J. 2005. Influence

of 1-methylcyclopropene and Natureseal on the quality of fresh-cut “Empire” And “Crispin” apples. **Journal of food quality**, 28, 289-307.

SALTVEIT, M. E. 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut ‘Iceberg’ lettuce. **Postharvest biology and technology**, 34, 75-80.

SANTOS, J. S. Efeito de antioxidantes, cloreto de cálcio e luz ultravioleta (UV) pulsante na conservação de manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, SE. 104p.

SHETTY, S. M.; CHANDRASHEKAR , A.; VENKATESH, Y. P. 2011. Eggplant polyphenol oxidase multigene family: Cloning, phylogeny, expression analyses and immunolocalization in response to wounding. **Phytochemistry**, 72, 2275–2287.

SOLIVA-FORTUNY, R. C.; MARTIN-BELLOSO, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science Technology**, 14, 341–353.

TIECHER, A.; DE PAULA, L. A.; CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V. 2013. UV-C effect on ethylene, polyamines and the regulation of tomato fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, 86, 230-239.

TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; LOAIZA-VELARDE, J.; BONFANTI, A.; SALTVEIT, M. E. 1997. Early wound- and ethylene-induced changes in phenylpropanoid metabolism in harvested lettuce. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 122, 399-404.

VRANOVA, E.; INZÉ, D.; VAN BREUSEGEM, F. 2002. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, 53, 1227-1236.

YORUK, R.; MARSHALL, M. R. 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. **Journal of Food Biochemistry**, 27, 361-422.

ZHANG, Z.; HUBER, D. J.; RAO, J. 2013. Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, 76, 58–64.

CAPÍTULO 3

Substâncias antiescurecimento em manga minimamente processada submetida a pulsos de radiação ultravioleta

INTRODUÇÃO

Conforme observado no capítulo anterior, o 1-Metilciclopropeno não foi eficaz em inibir o escurecimento em manga minimamente processada, tratada com UV_p e armazenada a 12°C. Assim, nesse capítulo, foram testadas duas alternativas para inibir esse escurecimento: suspensão de quitosana e solução de antioxidantes.

As substâncias antiescurecimento contendo combinações de ácido ascórbico (AA), ácido cítrico (AC) e cloreto de cálcio (CaCl₂) tem sido amplamente utilizados em estudos com frutas e hortaliças minimamente processadas (Denoya et al., 2012; Siddiq et al., 2013). Por exemplo, a combinação de AA (2%) e AC (0,5%) inibiu o escurecimento em maçãs ‘Fuji’ minimamente processadas e armazenadas a 5°C e 20°C (Qi et al., 2011). Do mesmo modo, a combinação com 1% de AA/CaCl₂ e 1% de AC/CaCl₂ inibiu a atividade da polifenoloxidase (PFO) e manteve a cor de maçãs ‘Golden Delicious’, ‘Scarlet Spur’ e ‘Granny Smith’ minimamente processadas e conservadas a 5°C (Chiabrande & Giacalone, 2012). O escurecimento e a deterioração de diferentes cultivares de manga minimamente processada foram reduzidos quando imersos em solução contendo AA (2%), AC (2%) e CaCl₂ (1%) (González-Aguilar et al., 2008). O ácido cítrico, além de baixar o pH do meio, atua reduzindo a disponibilidade de cobre no sítio de ação da PFO. O ácido ascórbico age após a reação da PFO, reduzindo a quinona a difenol (Sapers & Miller, 1998). O cloreto de cálcio apresenta importante função na estabilização de membranas e paredes celulares (Poovaiah, 1986).

Revestimentos a base quitosana, são utilizados com intuito de aumentar a vida útil, diminuindo a deterioração de frutas e hortaliças por micro-organismos (Romanazzi et al., 2003; Li et al., 2010; Shao et al., 2012). Ultimamente, estudos tem investigado a quitosana como inibidor do escurecimento enzimático (Zhu et al., 2008; Sun et al., 2010; Qi et al., 2011), mostrando potencial no uso em frutas e hortaliças com alta taxa metabólica, no caso de produtos minimamente processadas (González-Aguilar et al., 2009; Dijoua et al., 2010).

Mangas ‘Tommy Atkins’, minimamente processadas e imersas em suspensão de

quitosana (0,25%), mantiveram a cor (L^* e b^*), após armazenamento refrigerado (6°C) por nove dias (Djioua et al., 2010). Zhu et al. (2008), avaliando revestimentos de quitosana nas concentrações de 0,5, 1 e 2% em mangas ‘Tainong’, verificaram que a alteração na cor foi menor quando revestidas com a maior concentração deste polímero. As mesmas concentrações de quitosana foram testadas por Chien et al. (2007), que não observaram alterações significativas na cor de mangas ‘Irwin’ minimamente processada. A coloração de mamão minimamente processado foi preservada com uso de 1% de quitosana, evitando a redução na luminosidade (L^*) e na cromaticidade (b^*) em 63% e 80%, respectivamente, durante 18 dias de conservação refrigerada (González-Aguilar et al., 2009).

Por outro lado, a quitosana pode estimular a síntese de fenólicos e a atividade da PFO em frutas e hortaliças minimamente processadas (Meng et al., 2010; Xiao et al., 2011; Edirisinghe et al., 2012). Nesse caso, a quitosana atua como elicitador exógeno, induzindo enzimas relacionadas à defesa, como a fenilalaninamônia-ase (FAL), peroxidase (POD) e PFO (Liu et al., 2007; Meng et al., 2010; Edirisinghe et al., 2012; Chen et al., 2014), e, assim, favorecendo o escurecimento enzimático. São escassos os trabalhos do efeito da quitosana na atividade da PFO e no conteúdo de fenólicos em mangas inteiras e minimamente processadas.

Considerando os resultados mencionados na inibição do escurecimento de frutas e hortaliças minimamente processadas promovidas pelo uso de substâncias antiescurecimento, se acredita que o escurecimento de mangas ‘Tommy Atkins’ irradiadas com UV_p também seja controlado por estas substâncias. Para testar tal hipótese, neste capítulo, as mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas foram tratadas com UV_p e, em seguida, imersas em solução ácida (ácido ascórbico + ácido cítrico + cloreto de cálcio) ou em suspensão de quitosana. Depois, foram armazenadas a 12°C, simulando as condições de conservação em supermercados.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal, processamento mínimo e tratamentos

A obtenção dos frutos e o fluxograma das operações de processamento mínimo foram o mesmo descrito no capítulo 1.

Amostras com aproximadamente 250g manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas foram submetidas à UV_p ($5,7J\text{ cm}^{-2}$). Logo após, as mangas foram imersas em solução contendo ácido ascórbico, AA (2%, p/v), ácido cítrico, AC (2%, p/v) e cloreto de cálcio, CC (1%, p/v) ou em suspensão de quitosana (2%, p/v), conforme descrito na tabela 1. O tratamento controle foi constituído por imersão em água destilada. O tempo de imersão em solução de ácidos ou suspensão de quitosana foi de 4 minutos. Após a imersão, as amostras ficaram em repouso por 15 minutos para que houvesse a drenagem e secagem dos pedaços de manga.

Tabela 1. Tratamentos de manga aplicados imediatamente após processamento mínimo, com ou sem UV_p seguido de imersão em solução de ácidos ou suspensão de quitosana.

Tratamentos	Descrição
Controle	Água destilada
U+Ac	UV_p + ácidos (AA + AC + CC)
Ac	Ácidos (AA + AC + CC)
U+Q	UV_p + quitosana
Q	Quitosana

A suspensão de quitosana (Polymar, 85% de desacetilação), foi preparada pela dissolução de 20g deste polissacarídeo em 300mL de água destilada, seguido da adição de ácido acético glacial (99,6%) até pH 3, em agitação constante. Adicionou-se, após solubilização da quitosana, 3mL de Tween 80, ajustando-se o volume da suspensão para 1L com água destilada.

Após aplicação dos tratamentos, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno tereftalato (PET) com tampa e foram mantidas em câmara fria ($12 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $85 \pm 5\%$), por um período de 10 dias. Foram retiradas as amostras para análise no primeiro e décimo dia de conservação

Análises

Cor (L^* e b^*), extravasamento de eletrólitos (Ee), atividade da polifenoloxidase (PFO), fenólicos totais (FT), vitamina C e capacidade antioxidante total (CA) foram avaliadas conforme a metodologia descrita no capítulo 1.

Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram analisados em parcelas subdivididas com o tratamento na parcela (5 tratamentos) e o tempo de conservação na subparcela (2 períodos de conservação). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas, sendo cada parcela constituída de aproximadamente 250g de manga minimamente processada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa ($P>0,05$) entre as substâncias antiescurecimento e o tempo de armazenamento para os valores de L^* e b^* . Os valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (b^*) dos pedaços de manga apresentaram comportamento semelhante em todos os tratamentos (Figura 1).

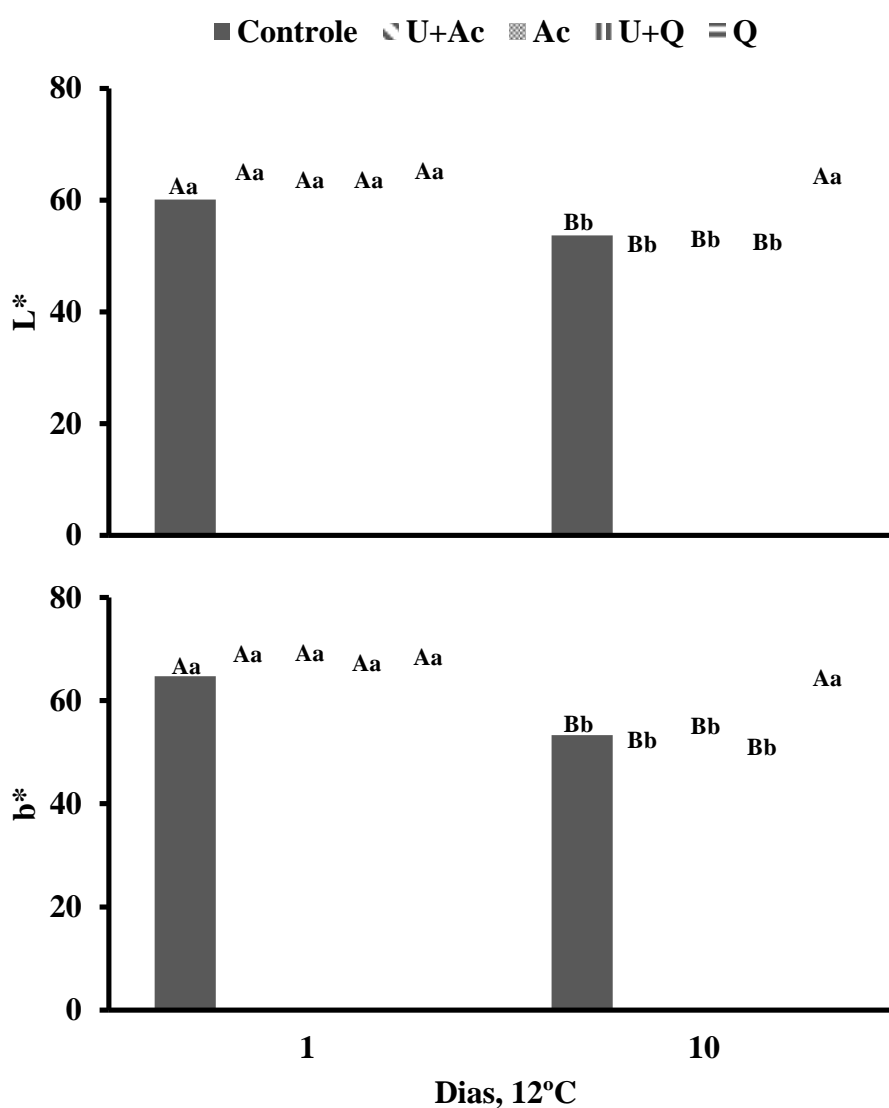


Figura 1. Cor (L^* e b^*) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p +ácidos (U+Ac); ácidos (Ac); UV_p +quitosana (U+Q) e quitosana, (Q), após 1 e 10 dias de conservação refrigerada ($12 \pm 2^\circ\text{C}$). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os tempos de conservação e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para os tratamentos não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nas amostras tratadas com U+Ac, Ac e U+Q, assim como nas não tratadas (controle), os valores de L^* e b^* decresceram ($P < 0,05$) no décimo dia de conservação. Aos 10 dias, os cubos imersos apenas em quitosana (Q), apresentaram maior ($P < 0,05$) valor de L^* e b^* , quando comparados ao controle.

Nos pedaços de manga tratados somente com quitosana, os valores de L^* e b^* não alteraram ($P > 0,05$) durante o período de conservação, confirmando o potencial da quitosana em manter a cor amarela (b^*) e evitar o escurecimento (L^*). Porém, esse efeito não foi verificado quando a quitosana foi aplicada nos cubos irradiados com UV_p .

Não houve interação ($P > 0,05$) entre as substancias antiescurecimento e o tempo de conservação para o extravasamento de eletrólitos (Ee), que não alterou aos 10 dias de conservação ($P > 0,05$) (Figura 2).

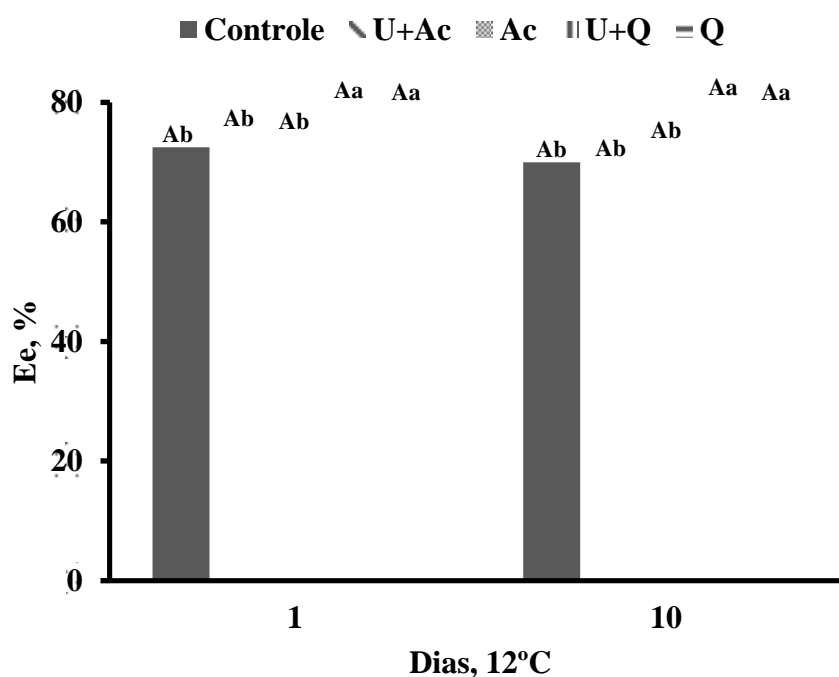


Figura 2. Extravasamento de eletrólitos (Ee) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p +ácidos (U+Ac); ácidos (Ac); UV_p +quitosana (U+Q) e quitosana, (Q), após 1 e 10 dias de conservação refrigerada ($12 \pm 2^\circ\text{C}$). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os tempos de conservação e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para os tratamentos não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No primeiro e décimo dia de conservação, nos cubos tratados com U+Ac e Ac, o Ee não diferiu ($P>0,05$) do controle, indicando que estes tratamentos não afetaram a integridade da membrana das mangas minimamente processadas. Já, nos cubos com U+Q e Q, o Ee foi maior, no primeiro e décimo dia de conservação, quando comparado ao controle ($P<0,05$). A suspensão de quitosana, provavelmente, ficou aderida às células superficiais do cubo, e durante a avaliação da condutividade elétrica da água contendo os discos das amostras tratadas com quitosana, mesmo após a lavagem dos discos, os íons presentes na suspensão migraram para o meio em avaliação sobrestimando o Ee.

Observou-se interação significativa ($P<0,05$) para a atividade da polifenoloxidase (PFO) entre as substâncias antiescurecimento e o tempo de conservação. Nos cubos tratados com quitosana, U+Q e Q, a atividade da PFO aumentou ($P<0,05$), no décimo dia de conservação (Tabela 2).

Tabela 2. Atividade da polifenoloxidase (PFO) e teor de fenólicos totais (FT) de manga (*Mangifera indica* L. var. 'Tommy Atkins') minimamente processada tratadas com UV_p+ácidos (U+Ac); ácidos (Ac); UV_p+quitosana (U+Q) e quitosana (Q); durante conservação refrigerada .

Tratamentos		Dias, 12°C	
		1	10
PFO (UA.min ⁻¹ .µg prot.)	Controle	15,2 Aa	80,3 Ab
	U+Ac	19,7 Aa	38,4 Ab
	Ac	19,7 Aa	38,9 Ab
	U+Q	48,6 Ba	392,7 Aa
	Q	55,2 Ba	548,9 Aa
FT (mg AG.100g ⁻¹ MF)	Controle	16,8 Ab	18,0 Aa
	U+Ac	30,2 Aa	22,5 Ba
	Ac	24,8 Aa	18,8 Ba
	U+Q	15,3 Ab	15,6 Aa
	Q	13,7 Ab	14,4 Aa

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No décimo dia de conservação, nos cubos tratados com U+Q e Q, a atividade da PFO foi 5 e 7 vezes maior que o controle, respectivamente. Informações sobre a influência do uso da quitosana na atividade da PFO de mangas inteiras e minimamente processadas são escassas. Contudo, assim como foi verificado neste trabalho, a

quitosana induziu o aumento na atividade da PFO em algumas frutas e hortaliças. Edirisinghe et al. (2012) observaram que a atividade da PFO triplicou em pimentões tratados com 2% de quitosana após 2 dias de conservação a 10°C. O potencial da inibição da PFO em pêra minimamente processada foi reduzido em 90% quando tratada com quitosana (Xiao et al., 2011). Foi verificado incremento de aproximadamente 27% na atividade da PFO em pêras tratadas com 1,5% de quitosana conservados a 25°C (Meng et al., 2010).

Aumento na atividade da PFO ocorre devido esta enzima desempenhar papel de defesa em frutas e hortaliças, pois as quinonas, produto formado da oxidação dos compostos fenólicos pela PFO, possui propriedades antimicrobianas (Edirisinghe et al., 2012).

Aumento na atividade da PFO nos tratamentos com quitosana sem o escurecimento dos cubos de manga ocorreu, provavelmente, devido à síntese dos substratos fenólicos necessários para a reação do escurecimento, não ter sido desencadeada em função do tratamento com quitosana (Tabela 2). A manutenção da permeabilidade de membrana das células, durante a conservação a 12°C, pode ter evitado o contato da PFO com o seu substrato.

Não houve interação significativa ($P>0,05$) para o teor de fenólicos totais (FT) entre as substâncias antiescurecimento e o tempo de conservação. No entanto, ocorreu aumento ($P<0,05$) no FT dos cubos tratados com U+Ac e Ac, aos 10 dias de conservação refrigerada (Tabela 2).

No primeiro e último dia de conservação, nos cubos com U+Ac e Ac, o teor de compostos fenólicos foi maior ($P<0,05$) que os cubos do controle. Do mesmo modo, em manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada tratadas com AA (1%), AC (1%) e CC (5%), no primeiro dia de avaliação, o teor de fenólicos totais foi maior quando comparado ao controle (Siddiq et al., 2013). A presença do ácido ascórbico pode ter aumentado o potencial redutor das amostras de manga, aumentando o teor de reagente reduzido, e isto, pode ter causado os maiores valores de FT nos pedaços de manga imersos na solução de ácidos, sobrestimando os resultados.

Os resultados de FT encontrados neste estudo, em todos os tratamentos, com exceção dos imersos em quitosana, estão de acordo com alguns trabalhos com manga ‘Tommy Atkins’, variando de 15,3 (Noratto et al., 2010) a 34mg de ácido gálico (AG).100g⁻¹ MF (González-Aguilar et al., 2007).

Houve interação significativa entre os tratamentos e o tempo de conservação refrigerada para o teor de vitamina C ($P<0,05$). Nos cubos com U+Ac e Ac, o teor de

vitamina C, no décimo dia de conservação diminui ($P < 0,05$) (Figura 3).

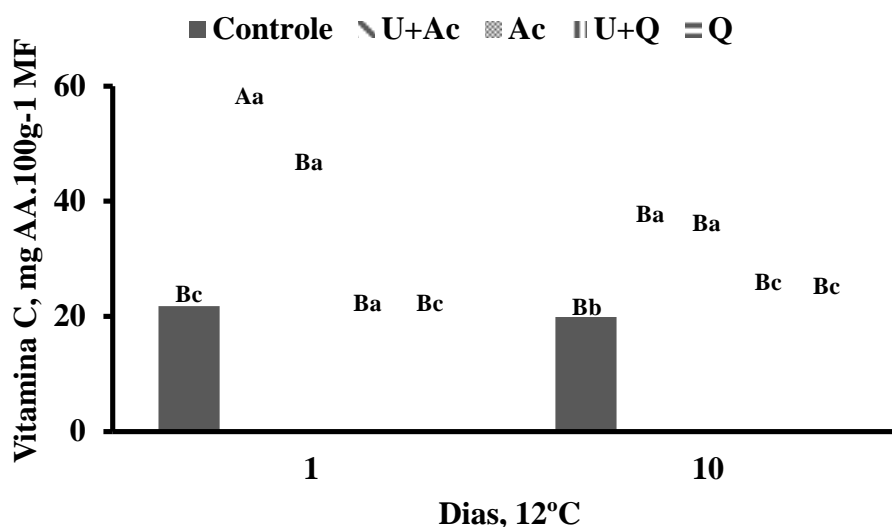


Figura 3. Vitamina C de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p+ácidos (U+Ac); ácidos (Ac); UV_p+quitosana (U+Q) e quitosana, (Q), após 1 e 10 dias de conservação refrigerada ($12 \pm 2^\circ\text{C}$). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os tempos de conservação e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para os tratamentos não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em manga ‘Atafo’, minimamente processada e tratada com as mesmas substâncias antiescurecimento utilizadas neste trabalho, também, se observou diminuição no teor de vitamina C, depois de 12 dias de conservação a 5°C (González-Aguilar et al., 2008). Apesar de ter diminuído, o teor de vitamina C nas mangas imersas em solução de ácidos, neste estudo, aos dez dias de conservação, foi maior que os cubos do controle. As reações oxidativas parecem ser a principal causa de deterioração da vitamina C em frutas e hortaliças, e o tratamento com antioxidantes pode minimizar estas perdas, levando à conservação de um produto minimamente processado com alto teor de vitamina C comparável aos frutos inteiros (González-Aguilar et al., 2008).

No primeiro dia de conservação, nos cubos tratados com Ac, o teor de vitamina C foi maior que o controle, porém menor que os cubos tratados com U+Ac ($P < 0,05$). No último dia, os cubos com U+Ac e Ac, apresentaram maior ($P < 0,05$) teor de vitamina C quando comparados ao controle.

O tratamento com ácidos (2% de AA) enriqueceu o teor de vitamina C nos cubos

de manga. No primeiro dia de conservação, os pedaços de manga tratados com UV_p, seguido de imersão em ácidos, quase triplicou o teor de vitamina C: passando de 21,7 (controle) para 55,8mg AA.100g⁻¹MF.

Ao comparar o teor de vitamina C dos cubos tratados com U+Ac e Ac, se observa que a radiação UV_p pode ter induzido aumentos no teor de vitamina C, notadamente, nos cubos imersos em solução de ácidos. Santos (2011) verificou aumento de vitamina C em manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processada e submetida à radiação ultravioleta. Contudo, em cubos tratados com UV_p, seguido da imersão de quitosana, o teor de vitamina C não foi alterado.

Não houve interação significativa entre os tratamentos e o tempo de conservação refrigerada para a capacidade antioxidante total (CA) (P<0,05).

No primeiro e último dia de conservação a CA, dos cubos tratados com U+Ac e Ac, foi maior quando comparados aos cubos do controle (P<0,05) (Figura 4).

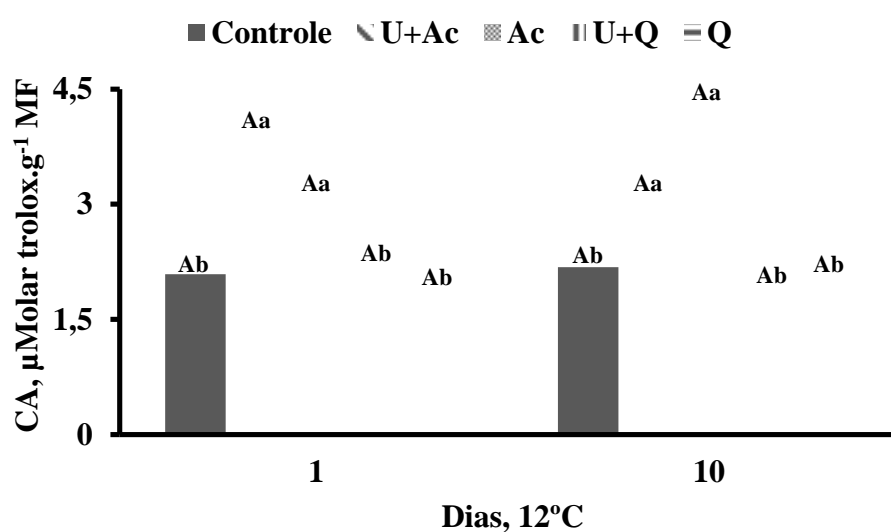


Figura 4. Capacidade antioxidante total (CA) de manga (*Mangifera indica* L. var. ‘Tommy Atkins’) minimamente processada, tratadas com UV_p+ácidos (U+Ac); ácidos (Ac); UV_p+quitosana (U+Q) e quitosana, (Q), após 1 e 10 dias de conservação refrigerada (12 ± 2°C). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os tempos de conservação e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para os tratamentos não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A imersão dos cubos em solução contendo AA, AC e CC contribuiu para maior capacidade antioxidante das mangas minimamente processadas e irradiadas, ou não,

com UV_p. No último dia de conservação refrigerada, os pedaços de manga imersas em ácidos exibiram maior capacidade antioxidante (4,3μMolar trolox.g⁻¹ MF), o dobro da CA das amostras do controle. Em outros estudos, a capacidade antioxidante, em mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Kent’ minimamente processadas, foi aumentada, também, quando submetidas a imersão com AA+AC+CC (Robles-Sánchez et al., 2009; Siddiq et al., 2013).

A metodologia de determinação da capacidade antioxidante pela captura do radical ABTS permite medir a atividade antioxidante de compostos de natureza hidrofílica, como o ácido ascórbico e os compostos fenólicos; e lipofílica, como os carotenoides (Halliwell, 1996; Kuskoski et al., 2005). Deste modo, maior conteúdo de FT e de vitamina C encontrados nos cubos, neste trabalho, contribuiu para o aumento na capacidade antioxidante observada dos pedaços de manga tratados com UV_p seguido da imersão em ácidos e dos cubos somente imersos em ácidos.

CONCLUSÃO

A quitosana e as substância antiescurecimento utilizadas não controlaram o escurecimento em manga 'Tommy Atkins', minimamente processada, tratada com radiação UV_p e armazenada a 12 ± 2°C.

No entanto, a imersão dos cubos em ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio aumentaram o teor de fenólicos totais e vitamina C, contribuindo para a maior capacidade antioxidante total, com e sem UV_p, o que pode configurar um benefício à saúde do consumidor.

REFERÊNCIAS

CHEN, J.; ZOU, X.; LIU, Q.; WANG, F.; FENG, W.; WAN, N. 2014. Combination effect of chitosan and methyl jasmonate on controlling *Alternaria alternata* and enhancing activity of cherry tomato fruit defense mechanisms. **Crop Protection**, 56, 31-36.

CHIABRANDO, V.; GIACALONE, G. 2012. Effect of antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut apples during cold storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, 36, 133-140.

CHIEN, P. J.; SHEU, F.; YANG, F. H. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. **Journal of Food Engineering**, 78, 225-229.

DENOYA, G. I.; ARDANAZ, M.; SANCHO, A. M.; BENÍTEZ, C. E.; GONZÁLEZ, C.; GUIDI, S. 2012. Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, 38, 263-26.

DJIOUA, T.; CHARLES, F.; FREIRE, M.; FILGUEIRAS, H.; DUCAMP-COLLIN, M. N.; SALLANON, H. 2010. Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.). **International Journal of Food Science & Technology**, 45, 849-855.

EDIRISINGHE, M.; ALI, A.; MAQBOOL, M.; ALDERSON, P. G. 2012. Chitosan controls postharvest anthracnose in bell pepper by activating defense-related enzymes. **Journal of Food Science and Technology**, 1-6.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; MARTINEZ-TELLEZ, M. A.; GARDEA, A. A.; AYALA-ZAVALA, J. F. 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. **Journal of Food Science**, 72, 197-202.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; CELIS, J.; SOTELO-MUNDO, R. R.; ROSA, L. A.;

RODRIGO-GARCIA, J.; ALVAREZ-PARRILLA, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5°C. **International Journal of Food Science and Technology**, 43, 91–101.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VALENZUELA-SOTO, E.; LIZARDI-MENDOZA, J.; GOYCOOLEA, F.; MARTINEZ-TÉLLEZ; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; MONROY-GARCÍA, I.N.; AYALA-ZAVALA; J. F. 2009. Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya ‘Maradol’. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 89, 15-23.

HALLIWELL, B. Antioxidants in human health and disease. 1996. **Annual Review of Nutrition**, 16, p.33-50.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; TRONCOSO, A.M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 25, 726-732.

LI, J.; YAN, J.; WANG, J.; ZHAO, Y.; CAO, J.; JIANG, W. 2010. Effects of chitosan coating on oxidative stress in bruised Yali pears (*Pyrus bretschneideri* Rehd.). **International Journal of Food Science & Technology**, 45, 2149-2154.

LIU, J.; TIAN, S.P.; MENG, X.H.; XU, Y. 2007. Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. **Postharvest Biology Technology**, 44, 300–306.

MENG, X.; YANG, L.; KENNEDY, J. F.; TIAN, S. 2010. Effects of chitosan and oligochitosan on growth of two fungal pathogens and physiological properties in pear fruit. **Carbohydrate Polymers**, 81, 70-75.

NORATTO, G. D.; BERTOLDI, M. C.; KRENEK, K.; TALCOTT, S. T.; STINGHETA, P. C.; TALCOTT, S. U. M. 2010. Anticarcinogenic effect of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. **Journal of Agricultural &**

Food Chemistry, 58, 4104-4112.

QI, H.; HU, W.; JIANG, A.; TIAN, M.; LI, Y. 2011. Extending shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 12, 62-66.

ROBLES-SÁNCHEZ, R. M.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; ODRIOZOLA-SERRANO, I.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; MARTÍN-BELLOSO, O. 2009. Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut 'Kent'mango (*Mangifera indica* L.). **Postharvest biology and technology**, 51, 384-390.

ROMANAZZI, G.; NIGRO, F.; IPPOLITO, A. 2003. Short hypobaric treatments potentiate the effect of chitosan in reducing storage decay of sweet cherries. **Postharvest Biology and Technology**, 29,73–80.

SANTOS, J. S. Efeito de antioxidantes, cloreto de cálcio e luz ultravioleta (UV) pulsante na conservação de manga Tommy Atkins minimamente processada. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, SE.

SAPERS, G. M.; MILLER, R. L. 1998. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science**, 63, 342-346.

SHAO, X. F.; TU, K.; TU, S.; TU, J. 2012. A Combination of heat treatment and chitosan coating delays ripening and reduces decay in "Gala" apple fruit. **Journal of Food Quality**, 35, 83–92.

SIDDIQ, M.; SOGI, D. S.; DOLAN, K. D. 2013. Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut 'Tommy Atkins' mangoes as affected by different pre-treatments. **Food Science and Technology**, 53, 156-162.

SUN, D.; LIANG, G.; XIE, J.; LEI, X.; MO, Y. 2010. Improved preservation effects of

litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage. **African Journal of Biotechnology**, 9, 3272-3279.

XIAO, Z.; LUO, Y.; LUO, Y.; WANG, Q. 2011. Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut D'Anjou pears. **Postharvest biology and technology**, 62, 319-326.

ZHU, X.; WANG, Q.; CAO, J.; JIANG, W. 2008. Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, 32, 770-784.

CONCLUSÃO GERAL

A radiação ultravioleta pulsada (UV_p), para a segurança alimentar (risco microbiológico) em frutas minimamente processadas, pode ser recomendada, desde que associada à cadeia de frio; pois, das hipóteses testadas neste trabalho, que utilizou a manga 'Tommy Atkins' minimamente processada como modelo biológico de estudo, apenas a refrigeração ($5^{\circ}C$) foi eficiente em controlar o escurecimento promovido por esta radiação