

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO**

**PERFIL ANTIOXIDANTE DE TOMATES SUBMETIDOS A MÉTODOS DE  
CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2020**

**NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO**

**PERFIL ANTIOXIDANTE DE TOMATES SUBMETIDOS A MÉTODOS DE  
CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA**

Dissertação (mestrado) apresentada à  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, para obtenção do  
título de Magister Scientiae.

Orientador: Dr. Gilberto Costa Braga

Coorientador: Dr. Edmar Soares de  
Vasconcelos

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2020**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cordeiro, Noélle Khristinne

Perfil antioxidante de tomates submetidos a métodos de conservação pós-colheita / Noélle Khristinne Cordeiro; orientador(a), Gilberto Costa Braga; coorientador(a), Edmar Soares de Vasconcelos, 2020.

57 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.

1. Atmosfera modificada. 2. Choque térmico. 3. Conservação pós-colheita. 4. Estresse oxidativo. I. Braga, Gilberto Costa . II. Vasconcelos, Edmar Soares de. III. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.

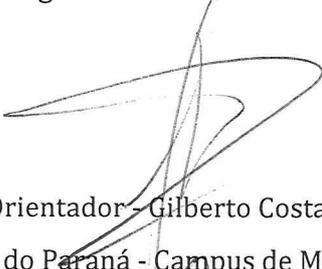


**PARANÁ**  
GOVERNO DO ESTADO

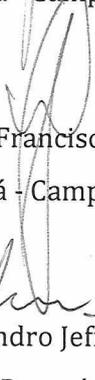
## NOÉLLE KHRISTINNE CORDEIRO

Perfil Antioxidante de Tomates Submetidos a Métodos de Conservação Pós-Colheita

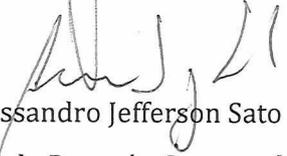
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador - Gilberto Costa Braga

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

  
Vandeir Francisco Guimarães

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

  
Alessandro Jefferson Sato

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 3 de março de 2020

*Aos meus pais  
Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Maria Cristina Batista Cordeiro e Jose Aparecido Cordeiro, pelo apoio, encorajamento e visualização de um futuro promovido por meio da educação acadêmica.

Agradeço aos meus amigos, Jaqueline de Araújo Barbosa, Juliana Fischer, Débora Gozzi Fernandes e Fátima Gozzi, pelo apoio emocional.

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório, Jeferson Carlos Carvalho e Shirlene Oliveira Souza, pela ajuda e disponibilidade de repassar novas técnicas que foram utilizadas na realização das análises laboratoriais e implantação dos ensaios.

Agradeço aos meus amigos Jaqueline de Araújo Barbosa, Maria Eunice Lima Rocha, Tauane Santos Brito, Renan Pan, Edvan Costa da Silva, Luciana Sabini da Silva e Daniel Fernandes que me ajudaram nas análises laboratoriais e em diversos momentos de dificuldade.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa Manejo de Espécies Frutíferas e Plantas Ornamentais, coordenado pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabíola Villa, e todos os seus integrantes, pela parceria e pela ajuda prestada nas análises laboratoriais.

Agradeço o meu orientador, Prof. Dr. Gilberto Costa Braga, pela disponibilidade, compartilhamento de conhecimento e orientação.

Agradeço as assistentes de coordenação do programa de pós-graduação em agronomia da Unioeste/*Campus* Marechal Cândido Rondon, Leila Dirlene Allievi Werlang e Kelnir Kunkel, pela assistência eficiente e competência profissional.

Agradeço a Deus, por não ter me permitido fraquejar.

*“Um trabalho te dá um propósito e um significado. A vida é vazia sem ambos.”  
Stephen Hawking*

## RESUMO

CORDEIRO, Noéle Khristinne, M. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Março – 2020. **Perfil antioxidante de tomates submetidos a métodos de conservação pós-colheita.** Orientador: Dr. Gilberto Costa Braga. Coorientador: Dr. Edmar Soares de Vasconcelos.

Métodos de conservação pós-colheita podem minimizar o estresse oxidativo de frutos para garantir a manutenção do seu *status* antioxidante. Alguns métodos de conservação podem até elevar o perfil nutricional e antioxidante por meio do acúmulo de fitoquímicos, como carotenoides e ácido ascórbico, pela ativação de rotas do sistema de defesa do órgão vegetal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil antioxidante de tomates submetidos ao armazenamento em atmosfera modificada e ao choque térmico. Foram realizados dois ensaios experimentais adotando dois métodos de conservação pós-colheita: tomates armazenados em atmosfera modificada e tomates submetidos ao tratamento de choque térmico com água quente (45 °C  $\pm$ 2; 10 min). No primeiro ensaio foram utilizados frutos de tomate ‘BRS Nagai’ e no segundo ensaio foram utilizados tomates ‘Sweet Grape’. Ambos os ensaios foram compostos por 5 repetições por tratamento.  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), taxa de respiração e perda de massa fresca foram avaliados a cada 7 dias no primeiro ensaio, e a cada 3 dias no segundo ensaio. Os dados foram submetidos a análise estatística, exceto os dados oriundos de análises realizadas em cromatografia líquida, os quais foram apresentados pelos valores médios. Os dados também foram submetidos a análise de correlação de Pearson a fim de esclarecer a relação entre os compostos bioativos analisados e os métodos de análise de atividade antioxidante. Os resultados mostraram que no ensaio com atmosfera modificada houve retenção do teor de  $\beta$ -caroteno na polpa e aumento de  $\beta$ -caroteno na casca dos tomates ‘BRS Nagai’ durante o armazenamento. Houve diminuição de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da polpa e da casca dos tomates. O aparecimento de patógenos nos tomates durante o armazenamento em atmosfera modificada em temperatura ambiente contribuiu para seu maior estresse, com conseqüente aumento da taxa respiratória. O choque térmico, por sua vez, promoveu aumento do teor de  $\beta$ -caroteno e da atividade antioxidante DPPH na casca, além disso, promoveu retenção da atividade antioxidante ABTS e FRAP na polpa dos tomates ‘Sweet Grape’. O estresse moderado promovido pelo choque térmico esteve associado ao aumento do conteúdo de  $\beta$ -caroteno, assim como demais compostos foram afetados positivamente pelo tratamento térmico. Houve aumentos da taxa de respiração e da perda de massa fresca dos tomates tratados, porém, sintomas de murchamento ou desidratação não foram observados, apresentando boa aparência até o último dia de armazenamento. Os resultados da análise de correlação indicaram que o ácido ascórbico esteve associado a atividade antioxidante DPPH, enquanto  $\beta$ -caroteno e compostos fenólicos totais da casca dos tomates de ambos os ensaios se associaram a atividade antioxidante ABTS. Diante dos resultados apresentados, o tratamento de choque térmico proporcionou melhor retenção e incremento das propriedades antioxidante dos tomates, em relação ao tratamento com atmosfera modificada, demonstrando ser um tratamento eficaz na manutenção do perfil antioxidante de tomates.

Palavras-chave: atmosfera modificada; choque térmico; conservação pós-colheita; estresse oxidativo.

## ABSTRACT

CORDEIRO, Noéle Khristinne, M. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, March – 2020. **Antioxidant profile of tomatoes subjected to postharvest conservation methods.** Advisor: Dr. Gilberto Costa Braga. Co-Advisors: Dr. Edmar Soares de Vasconcelos.

Post-harvest conservation methods can minimize the oxidative stress of fruits to guarantee the maintenance of their antioxidant status. Some conservation methods may even raise the nutritional and antioxidant profile through the accumulation of phytochemicals, such as carotenoids and ascorbic acid, by activating the defense system of the plant organ. The objective of this work was to evaluate the antioxidant profile of tomatoes subjected to storage in a modified atmosphere and to thermal shock. Two experimental tests were carried out using two methods of post-harvest conservation: tomatoes stored in a modified atmosphere and tomatoes subjected to heat shock treatment with hot water ( $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ; 10 min). In the first trial, 'BRS Nagai' tomato fruits were used, and in the second trial 'Sweet Grape' tomatoes were used. Both trials consisted of 5 replicates per treatment.  $\beta$ -carotene, ascorbic acid, total phenolic compounds, antioxidant activity (DPPH, ABTS and FRAP), respiration rate and loss of fresh weight were evaluated every 7 days in the first trial, and every 3 days in the second trial. The data were subjected to statistical analysis, except for data from analyzes performed on liquid chromatography, which were presented by average values. The data were also submitted to Pearson's correlation analysis in order to exclude the relationship between the bioactive compounds analyzed and the methods of analysis of antioxidant activity. The results showed that in the test with modified atmosphere there was retention of the content of  $\beta$ -carotene in the pulp and an increase of  $\beta$ -carotene in the skin of 'BRS Nagai' tomatoes during storage. There was a decrease in ascorbic acid, total phenolic compounds and antioxidant activity of the pulp and skin of tomatoes. The appearance of pathogens in tomatoes during storage in a modified atmosphere at room temperature contributed to their greater stress, with a consequent increase in respiratory rate. The thermal shock, in turn, promoted an increase in the  $\beta$ -carotene content and the antioxidant DPPH activity in the peel, in addition, it promoted retention of the antioxidant activity ABTS and FRAP in the pulp of 'Sweet Grape' tomatoes. The moderate stress caused by heat shock was associated with an increase in the content of  $\beta$ -carotene, as well as other compounds were positively affected by heat treatment. There was an increase in the respiration rate and loss of fresh weight of the treated tomatoes, however, wilting or dehydration symptoms were not observed, showing good appearance until the last day of storage. The results of the correlation analysis indicated that ascorbic acid was associated with antioxidant DPPH activity, while  $\beta$ -carotene and total phenolic compounds from the peel of tomatoes in both trials were associated with ABTS antioxidant activity. In view of the results presented, the thermal shock treatment provided better retention and increase in the antioxidant properties of tomatoes, compared to the treatment with modified atmosphere, demonstrating to be an effective treatment in maintaining the antioxidant profile of tomatoes.

Keywords: modified atmosphere; thermal shock; post-harvest conservation; oxidative stress.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Correlação entre atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e os compostos fenólicos totais, $\beta$ -caroteno da polpa dos tomates 'BRS Nagai' armazenados em atmosfera modificada e dos tomates 'Sweet Grape' tratados com choque térmico, armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). .....	43
Tabela 2 - Correlação entre atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e os compostos fenólicos totais, $\beta$ -caroteno da casca dos tomates 'BRS Nagai' armazenados em atmosfera modificada e dos tomates 'Sweet Grape' tratados com choque térmico, armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). .....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de calibração de ácido gálico para cálculo dos compostos fenólicos totais. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT. ....	26
Figura 2 - Curva de calibração de Trolox para cálculo da atividade antioxidante pelo método DPPH. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT. ....	27
Figura 3 - Curva de calibração de Trolox para cálculo da atividade antioxidante pelo método ABTS. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT. ....	28
Figura 4 - Curva de calibração de sulfato ferroso para cálculo da atividade antioxidante pelo método FRAP. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT. ....	29
Figura 5 – Teor de $\beta$ -caroteno na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).....	31
Figura 6 – Teor de $\beta$ -caroteno na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). .....	32
Figura 7 – Teor de ácido ascórbico na polpa de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).....	33
Figura 8 – Teor de ácido ascórbico na polpa de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). ....	34
Figura 9 - Compostos fenólicos totais na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).....	35
Figura 10 – Compostos fenólicos totais na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). ....	36
Figura 11 - Atividade antioxidante pelo método DPPH na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). .....	38
Figura 12 - Atividade antioxidante pelo método DPPH na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). ....	38
Figura 13 - Atividade antioxidante pelo método ABTS na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). .....	39

Figura 14 - Atividade antioxidante pelo método ABTS na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	40
Figura 15 - Atividade antioxidante pelo método FRAP na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	41
Figura 16 - Atividade antioxidante pelo método FRAP na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	42
Figura 17 - Taxa de respiração de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	45
Figura 18 - Taxa de respiração de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	46
Figura 19 - Perda de massa fresca de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	47
Figura 20 – Perda de massa fresca de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ±4). .....	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	O TOMATE E SUA QUALIDADE NUTRICIONAL .....	14
2.2	RESPIRAÇÃO DE FRUTOS E SENESCÊNCIA .....	16
2.3	EMBALAGEM DE ATMOSFERA MODIFICADA (AM) .....	17
2.4	TRATAMENTO DE CHOQUE TÉRMICO (CT) .....	18
2.5	ESPÉCIES REATIVAS DO OXIGÊNIO E ESTRESSE OXIDATIVO .....	19
2.6	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1	AMOSTRAS DE TOMATES .....	22
3.2	PLANO EXPERIMENTAL .....	22
3.3	B-CAROTENO .....	23
<b>3.3.1</b>	<b>Preparo do extrato lipofílico .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Teor de <math>\beta</math>-caroteno.....</b>	<b>23</b>
3.4	ÁCIDO ASCÓRBICO.....	24
<b>3.4.1</b>	<b>Extrato hidrofílico .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Teor de ácido ascórbico.....</b>	<b>24</b>
3.5	COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE ..	25
<b>3.5.1</b>	<b>Extrato etanólico.....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Compostos fenólicos totais .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Atividade antioxidante .....</b>	<b>26</b>
3.5.3.1	Análise do sequestro do radical livre DPPH .....	26
3.5.3.2	Análise do sequestro do radical livre ABTS .....	27
3.5.3.3	FRAP ( <i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i> ) .....	28
3.6	TAXA DE RESPIRAÇÃO E PERDA DE MASSA FRESCA .....	29
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
4.1	TEOR DE B-CAROTENO E ÁCIDO ASCÓRBICO.....	31
4.2	COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS .....	35
4.3	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	37
<b>4.3.1</b>	<b>Análise do sequestro do radical livre DPPH .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Análise do sequestro do radical livre ABTS.....</b>	<b>39</b>

<b>4.3.3</b>	<b>FRAP (<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>).....</b>	<b>40</b>
4.4	CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS .....	43
4.5	TAXA DE RESPIRAÇÃO .....	45
4.6	PERDA DE MASSA FRESCA .....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está entre as três culturas hortifruti mais produzidas no Brasil, sendo uma excelente fonte de compostos antioxidantes, como licopeno,  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico e compostos fenólicos. Trata-se de um importante alimento de consumo tradicional das populações e está associado a prevenção de doenças, como doenças cardiovasculares e câncer (ELBADRAWY; SELLO, 2016; STAJCIC et al., 2015). Assim como outros produtos vegetais, tomates são órgãos vegetais que necessitam de atenção especial quanto as técnicas de conservação pós-colheita devido a aceleração de eventos deteriorativos que ocorrem durante o armazenamento em função de processos fisiológicos, bioquímicos e microbiológicos (LUVIELMO; LAMAS, 2012).

Diversas técnicas de conservação pós-colheita são utilizadas para retardar processos fisiológicos normais de frutos, como o amadurecimento e deteriorações microbianas, a fim de estender a sua vida de prateleira que, em tese, proporcionam retenção de qualidade nutricional e sensorial. Métodos de conservação pós-colheita, como o frio e a atmosfera modificada (AM) minimizam o estresse oxidativo de órgãos vegetais, podendo até atuar na manutenção do perfil nutricional e antioxidante de frutos (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010; DJIOUA et al., 2009). Além dessas técnicas de conservação pós-colheita, o choque térmico (CT) também tem sido estudado para a mesma finalidade e, de modo geral, submetem os frutos a condições diferentes do ambiente natural, alterando tanto os processos vitais de microrganismos, como processos bioquímicos/fisiológicos do órgão vegetal que agem na sua deterioração (CHARLES et al., 2009).

A AM tem sido amplamente utilizada para frutas e hortaliças, e tem como principal vantagem a simplicidade e o baixo custo (BRACKMANN et al., 2006; ZUCOLOTO et al., 2015). A modificação da atmosfera é alcançada quando o produto é embalado em filme plástico semipermeável, o qual serve como barreira parcial a gases ( $O_2$  e  $CO_2$ ) e vapor de água. A redução parcial da concentração de gases no interior da embalagem com AM causa diminuição da taxa respiratória e da produção de etileno do fruto para atrasar processos fisiológicos e estender a conservação do produto.

O CT é uma técnica de conservação pós-colheita onde tradicionalmente é aplicado em frutos por meio de imersão em água aquecida (45 a 60 °C), ar quente ou vapor de água (USALL et al., 2016). O CT tem sido utilizado, principalmente, para o controle de doenças pós-colheita de frutos através da eliminação de esporos em germinação afim de reduzir sintomas de doenças e processos deteriorativos durante o armazenamento (FRANCESCO; MARI; ROBERTI,

2018), considerada uma técnica segura, livre de produtos químicos e importante no controle de perdas pós-colheita por microrganismos.

Além dos benefícios associados a inibição de microrganismos, já foi verificado que o CT com água quente foi capaz de agir positivamente na manutenção do perfil antioxidante enzimático de laranjas (BASSAL; EL-HAMAHMY, 2011). Outros autores também afirmaram que o estresse moderado causado pelo CT, além de elevar a atividade de enzimas antioxidantes, também foi capaz de melhorar o perfil antioxidante não enzimático, como aumento dos conteúdos de ácido ascórbico e compostos fenólicos (NG; KUPPUSAMY, 2019; ZHANG et al., 2019).

Estudos têm sugerido que técnicas de conservação pós-colheita podem agir na manutenção do perfil nutricional e antioxidante de frutos por meio do acúmulo de fitoquímicos, como carotenoides e ácido ascórbico, desencadeado pela ativação de rotas do sistema de defesa do órgão vegetal. Isso acontece porque algumas dessas técnicas induzem mecanismos que interferem a atividade metabólica dos frutos tratados, gerando um estresse celular moderado que, conseqüentemente, induz sistemas de defesa mediados por mecanismos de síntese e degradação de metabólitos antioxidantes do fruto (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil antioxidante de duas cultivares de tomates armazenados com AM e tratados com CT em água quente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O TOMATE E SUA QUALIDADE NUTRICIONAL

O tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) é um dos frutos mais produzidos no mundo, excelente fonte de nutrientes, minerais e compostos antioxidantes, como ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno, licopeno, compostos fenólicos e entre outros, sendo o seu consumo associado a prevenção de doenças cardiovasculares, câncer e doenças crônicas (STAJCIC et al., 2015; ELBADRAWY; SELLO, 2016). Entretanto, a concentração de compostos antioxidantes em tomates depende de alguns fatores, como cultivar, condições de armazenamento pós-colheita, fatores ambientais, como luz, temperatura, além de práticas culturais (VINHA et al., 2014; GARCÍA-VALVERDE et al., 2013).

O tomate é um fruto muito consumido *in natura*, entretanto, quando processado industrialmente, grandes quantidades de resíduos são geradas, como cascas e sementes. Estes resíduos representam cerca de 7% do fruto, o qual é atribuído mínimo valor comercial, porém, uma rica fonte nutricional (NOUR et al., 2018). Sua casca apresenta maiores níveis de compostos antioxidantes em relação a polpa, além de apresentar quantidades superiores de aminoácidos, minerais e ácidos graxos, como ácido oleico e ácido linoleico (ELBADRAWY; SELLO, 2016). Portanto, remover a casca do tomate durante seu processamento representa perdas nutricionais significativas, além de se tornar um resíduo agroindustrial (STAJCIC et al., 2015).

Os compostos bioativos com poder antioxidante podem ser classificados em lipofílicos e hidrofílicos. Em tomates, o grupo lipofílico é representado pelos carotenoides, dentre eles, o licopeno e  $\beta$ -caroteno, pelos fenólicos lipofílicos e entre outros. Já a fração hidrofílica é composta, principalmente, pelo ácido ascórbico e pelos compostos fenólicos solúveis (PINELA et al., 2016).

Em relação a porção lipofílica, os carotenoides são importantes representantes em tomates. Na maioria dos tecidos vegetais, estão localizados nas membranas dos cloroplastos, e embora seu principal papel seja atuar como pigmentos fotorreceptores do complexo antena durante a fotossíntese, sabe-se que estes compostos também são importantes contra danos oxidativos, principalmente os carotenos, protegendo os lipídeos da membrana celular (LURIE, 2003).

Os carotenoides são hidrocarbonetos compostos por 40 carbonos (tetraterpenos) responsáveis pelas cores vermelho, alaranjado e amarelo em frutos e vegetais, classificados em

dois grupos: xantofilas e carotenos. Xantofilas são representadas principalmente pela luteína e carotenos pelo  $\beta$ -caroteno e licopeno, sendo estes os ex/emplos de maior relevância devido seu poder antioxidante (CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2018; LIU et al., 2015b; OROIAN; ESCRICHE, 2015).

A classificação dos carotenoides em xantofilas e carotenos está baseada na presença ou ausência de oxigênio em sua estrutura molecular, sendo xantofilas dotadas de derivados oxigenados, e carotenos de cadeia hidrocarbônica linear ou cíclica, sendo ambos os grupos considerados hidrofóbicos por estarem localizados em regiões hidrofóbicas das células, como membranas lipídicas (SONG; MOON; CHOI, 2019; MESQUITA; TEIXEIRA; SERVULO, 2017). Em frutos de tomate, licopeno e  $\beta$ -caroteno são os carotenoides de maior importância, relatados como antioxidantes promissores no combate de radicais livres (BOCKUVIENE; SEREIKAITE, 2019).

O  $\beta$ -caroteno é um carotenoide lipofílico pouco solúvel em água e precursor da vitamina A presente em tomates, vegetais de folhas verdes e demais frutos e vegetais. A atividade pró vitamina A é uma propriedade de alguns carotenoides, sendo necessário que este apresente no mínimo 11 carbonos em sua molécula, um anel  $\beta$  e duplas ligações conjugadas, como é o caso do  $\beta$ -caroteno e demais carotenoides. Entretanto, o  $\beta$ -caroteno é o único carotenoide, que quando ingerido, gera duas moléculas de retinol, a vitamina A (NEHA et al., 2019; MESQUITA; TEIXEIRA; SERVULO, 2017).

O ácido ascórbico é um composto hidrofílico responsável por proteger os tecidos celulares contra danos oxidativos, eliminando radicais livres em conjunto com outros antioxidantes, como o a glutatona, através do ciclo ascorbato-glutatona. Neste ciclo, a ascorbato peroxidase reduz  $H_2O_2$  em água, produzindo monodehidroascorbato, que por sua vez, pode reagir com outro composto semelhante a si para formar ácido ascórbico e desidroascorbato. O subproduto do ácido ascórbico após oxidação é o ácido desidroascórbico, o qual pode ser reduzido novamente à ácido ascórbico pela ação da enzima dehidroascorbato redutase, utilizando a glutatona como fonte doadora de elétrons (BURZLE et al., 2013; LURIE, 2003).

O ácido ascórbico é um nutriente encontrado em diversos produtos vegetais frescos e essencial para a saúde humana, porém, a espécie humana não é capaz de sintetizar esse composto, sendo então necessário sua obtenção de fontes externas através da alimentação (BUETTNER; SCHAFER, 2004). Trata-se de um excelente parâmetro de qualidade nutricional de frutos que deve ser mantido em níveis apropriados, entretanto, seus níveis tendem a diminuir durante o armazenamento por ser um antioxidante altamente instável, passível de degradação

quando exposto ao O<sub>2</sub>, altas temperaturas, raios ultravioletas e demais processos fonte de estresse ao órgão vegetal (NG; KUPPUSAMY, 2019; OLIVEIRA et al., 2018; LURIE, 2003).

Compostos fenólicos, por sua vez, são metabólitos secundários com propriedades antioxidantes caracterizados pela presença do grupo hidroxila em anéis aromáticos e podem ser classificados como fenóis e polifenóis. No grupo dos fenóis encontram-se os fenóis simples, ácidos fenólicos, flavonoides, xantonas, estilbenos e lignanas, sendo cada um dotado de diferentes mecanismos de ação de acordo com sua particularidade estrutural, conferindo propriedades antioxidantes aos compostos (VUOLO; LIMA; MARÓSTICA JÚNIOR, 2019; ARAÚJO, 2011).

A biossíntese dos compostos fenólicos, em sua maioria, é proveniente da via dos fenilpropanóides, que direciona compostos aromáticos da via do ácido chiquímico, tendo como principal enzima precursora a fenilalanina amônia-liase. O desencadeamento do metabolismo dos fenilpropanóides é associado a exposição da planta ou do órgão vegetal a estresses ambientais, desencadeando estresses oxidativos. Desta forma, os fenilpropanóides tem sido associados a várias funções relacionadas ao estresse nas plantas, como defesa contra patógenos e eliminação de radicais livres, evidenciando a importância dos compostos fenólicos na qualidade nutricional de frutos (LIU et al., 2015a; GRACE, 2004).

## 2.2 RESPIRAÇÃO DE FRUTOS E SENESCÊNCIA

Quando se fala em conservação de frutos, a respiração é um dos fatores de maior influência na conservação da vida útil, fazendo com que o órgão vegetal apresente qualidade nutricional satisfatória por mais tempo, pois frutos e hortaliças, de modo geral, possuem vida útil curta, o que leva a perda de qualidade do produto, acarretando a perdas nutricionais e econômicas. Portanto, a taxa de respiração dos órgãos vegetais atua como fator primordial no processo de senescência dos produtos (SOUSA; OLIVEIRA; SOUSA-GALLAGHER, 2017).

Frutos são órgãos vegetais metabolicamente ativos e não cessam seu processo respiratório após a colheita. Isso se dá devido a reações de oxidação-redução catalisadas por enzimas, oxidando substratos armazenados, como açúcares e ácidos orgânicos, em CO<sub>2</sub> e água, levando a aceleração da senescência (KESHRI et al., 2019; SOUSA; OLIVEIRA; SOUSA-GALLAGHER, 2017). Entretanto, a presença de CO<sub>2</sub> em altas concentrações é um aliado na conservação dos órgãos vegetais, pois este atua inibindo a produção de etileno e a taxa de respiração, retardando o amadurecimento e o processo natural de senescência, enquanto níveis

muito baixos de  $O_2$  pode levar a anaerobiose, fato não interessante à conservação do fruto (KERBAUY, 2012).

O processo de senescência envolve a peroxidação lipídica, resultando na perda de integridade da membrana celular, levando à morte do tecido. A diferenciação do amadurecimento e senescência pode ser difícil, porém os eventos que envolvem o amadurecimento são a mudança de cor, perda de firmeza, aumento do teor de sólidos solúveis totais, mudança de sabor, mas não há a perda da integridade da membrana celular, sendo este último, característico de tecidos senescentes (LESTER, 2003).

Segundo o mesmo autor, a senescência desencadeada pelo estresse oxidativo tem origem no citoplasma da célula e pode ser medida pelo declínio no conteúdo de fosfolipídeos, a qual prossegue até a irreversibilidade, quebrando a homeostase do sistema e gerando perdas econômicas significativas. Portanto, a retenção da qualidade pós-colheita e o atraso da senescência de frutos e vegetais frescos atua na melhoria da distribuição do produto no momento da venda e contribui para a melhora de sua qualidade nutricional.

### 2.3 EMBALAGEM DE ATMOSFERA MODIFICADA (AM)

O uso de AM é uma técnica de conservação pós-colheita que visa prolongar a vida útil de frutos e vegetais frescos, sem perda de qualidade sensorial e nutricional. A AM se baseia na modificação da atmosfera interna da embalagem, onde o processo dinâmico de respiração do órgão vegetal e transferência de gases da embalagem semipermeável resultará na redução da concentração do  $O_2$  e ao aumento do  $CO_2$  no interior da embalagem, até que seja alcançado o equilíbrio (CASTELLANOS et al., 2016).

Segundo os mesmos autores, os níveis ideais de  $O_2$  e  $CO_2$  estão entre 1 e 10% para cada gás, os quais são atingidos quando a taxa de entrada de  $O_2$  é igual a sua taxa de consumo e quando a taxa de saída de  $CO_2$  é equivalente à sua produção. Portanto, é importante que a permeabilidade da embalagem seja adequada para que a condição ótima de concentração de gases em seu interior seja atingida.

A temperatura aliada a AM é um fator importante no que se refere a redução da taxa respiratória de frutos e sua conservação, uma vez que as reações biológicas tendem a aumentar de 2 a 3 vezes para cada aumento  $10\text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura. Desta forma, a redução da temperatura irá resultar em maior tempo de vida útil do produto devido a redução na taxa das reações químicas, que irão acarretar o atraso do processo de senescência do fruto, ou seja, a morte celular de seus tecidos (SOUSA; OLIVEIRA; SOUSA-GALLAGHER, 2017).

## 2.4 TRATAMENTO DE CHOQUE TÉRMICO (CT)

Tratamentos físicos têm gerado grande interesse no controle de doenças pós-colheita de órgãos vegetais devido ao mínimo impacto ambiental gerado. O tratamento físico mais difundido e utilizado é o calor, tradicionalmente aplicado pela imersão do produto em água quente por curto período, podendo ser associado ao armazenamento a frio em AM com a finalidade de reduzir injúrias pelo frio em alguns tipos de frutos, ou simplesmente retardar o desenvolvimento de patógenos pós-colheita, desta forma, mantendo a qualidade do produto (ROMANAZZI et al., 2016; USALL et al., 2016). Tratamentos térmicos utilizando ar quente também são utilizados, mas como a água quente é um meio de condução de calor mais eficiente que o ar, adota-se o tratamento em água quente mais frequentemente (ENDO et al., 2019).

O tratamento térmico gera estresse no fruto e pode afetar a estabilidade de diversas proteínas, membranas, estruturas do citoesqueleto e eficiência de reações enzimáticas, acarretando acúmulo de EROs. O estresse celular gerado pelo tratamento térmico pode alterar a síntese de proteínas, ocorrendo breve pausa na síntese proteica, e posteriormente, retomada com novo conjunto de proteínas, incluindo as proteínas de CT “*Hot Shock Proteins*” (HSPs). Tais proteínas irão inibir o amadurecimento por um tempo, podendo ser prolongado esse efeito se o produto for submetido a refrigeração (LURIE; PEDRESCHI, 2014).

Embora a alta temperatura tenha sido identificada como agente causador de estresse oxidativo, os tratamentos com temperaturas moderadas são responsáveis pela produção das HSPs, além de atuarem no amadurecimento, fazendo com que tais tratamentos diminuam os efeitos do estresse oxidativo (WISMER, 2003). Estudos mostram que o aumento da expressão de HSPs em tomates armazenados sob refrigeração evidencia a participação dessas proteínas nos mecanismos envolvidos na proteção contra as injúrias pelo frio (RÉ et al., 2017).

As HSPs quando descritas, foram primeiramente relacionadas a altas temperaturas, mas também são induzidas em resposta a demais tipos de estresses na planta, como salinidade, baixas temperaturas e estresse hídrico, por exemplo. Foram identificadas 5 famílias principais em plantas (HSP100s, HSP90s, HSP70s, HSP60s e HSPs) transcritas pelo gene HSP e regulada por fatores de transcrição de CT através da ligação de elementos de CT (ROMERO et al., 2018; SCHARF et al., 2012).

As HSPs apresentam a principal função de proteção durante o estresse por serem acompanhantes moleculares que impedem a agregação de proteínas, sendo apontadas como fundamentais na primeira resposta ao estresse contra injúrias pelo frio em tomates, por exemplo. Entretanto, as HSPs não desempenham papel protetivo contra o estresse responsável por seu

acúmulo, mas também contra demais estresses subsequentes, denominado tolerância cruzada, onde o órgão vegetal que é exposto a uma condição de estresse pode obter proteção contra estresses posteriores (ROMERO et al., 2018; SANCHEZ-BEL et al., 2012).

Além dos benefícios associados a inibição de injúrias pelo frio e ao controle de pragas e microrganismos, já foi verificado que o tratamento de CT com água quente foi capaz de melhorar o perfil antioxidante enzimático de laranjas (BASSAL; EL-HAMAHMY, 2011). Outros autores também afirmam que o tratamento térmico é capaz de elevar a atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase, peroxidase, além de antioxidante não enzimático, como ácido ascórbico e compostos fenólicos (NG; KUPPUSAMY, 2019; ZHANG et al.; 2019).

## 2.5 ESPÉCIES REATIVAS DO OXIGÊNIO E ESTRESSE OXIDATIVO

As espécies reativas do oxigênio (EROs), mais conhecidas como “ROS”, sigla oriunda do inglês “*Reactive Oxygen Species*”, refere-se a moléculas quimicamente reativas, com um ou mais elétrons desemparelhados, derivadas do  $O_2$ . Três exemplos comuns e biologicamente importantes de EROs são  $O_2^-$  (ânion superóxido),  $H_2O_2$  (peróxido de hidrogênio) e  $OH^\bullet$  (radical hidroxila) (YE et al., 2015). Reações de oxidação-redução são essenciais para as células vivas, entretanto, tais reações durante o metabolismo sob estresse produzem maiores quantidades de EROs, também chamadas de radicais livres, alterando o balanço redox intracelular (MENG et al., 2017).

Os radicais livres foram descritos pela primeira vez a cerca de 100 anos por Moses Gomberg, e devido sua alta reatividade não foram considerados como sistemas biológicos. Anos mais tarde ressurgiram os interesses acerca do papel dos radicais livres em processos biológicos, estimulando pesquisas desde então (LUSHCHAK, 2014).

Pequenas quantidades de EROs são consideradas importantes contra infecções, enquanto, maiores quantidades desencadeiam processos de estresse oxidativo, gerando danos como oxidação de proteínas, amidos e lipídios, alterações na permeabilidade da membrana celular, nos níveis de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, podendo desencadear lesões e distúrbios fisiológicos em função do tempo de exposição e da capacidade de suportar o estresse oxidativo (NEHA et al., 2019; MENG et al., 2017; TOIVONEN, 2003).

A série de processos que desencadeiam o estresse oxidativo também está relacionada ao aumento da taxa de EROs e/ou a diminuição da concentração de antioxidantes, ao local de sua geração, a eficiência do sistema antioxidante da célula alvo com as quais eles interagem e,

principalmente, as consequências fisiológicas geradas, como o aumento da produção das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e glutathione redutase (NEHA et al., 2019; LUSHCHAK, 2014). Entretanto, em circunstâncias normais o excesso de EROs pode ser combatido ou prevenido pelo sistema de defesa antioxidante enzimático e não enzimático (NEHA et al., 2019; MENG et al., 2017).

Os efeitos do estresse oxidativo podem se manifestar através da senescência acelerada, da alteração do perfil antioxidante, o qual aumenta quando se trata de um estresse leve e diminui com alto nível de estresse, e do desenvolvimento de distúrbios fisiológicos. As alterações dos níveis de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, peroxidase, catalase, e de compostos antioxidantes, como glutathione, carotenos e ácidos ascórbico, são indicativos de estresse oxidativo que afetam diretamente o perfil antioxidante de produtos vegetais (TOIVONEN, 2003).

## 2.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Antioxidantes são substâncias que combatem ou previnem reações de oxidação causadas pelos EROs. A eficácia dos antioxidantes é influenciada pela sua característica estrutural, desta forma, sua estrutura química irá determinar a reatividade em relação aos radicais livres, ou seja, seu potencial antioxidante (SHAHIDI; ZHONG, 2015; VALERO; SERRANO, 2010).

Os organismos vivos possuem sistemas capazes de manter baixos níveis de EROs, resultando em um estado estacionário. No entanto, a perturbação deste equilíbrio entre os processos de geração e eliminação de EROs gera estresse oxidativo no organismo, que é denominado como aumento da quantidade EROs, ou queda da atividade antioxidante. A atividade oxidante, por sua vez, relaciona-se com a capacidade dos compostos com capacidade antioxidante de reagir com tais radicais e anular sua capacidade oxidativa danosa (PISOSCHI; POP, 2015; LUSHCHAK, 2014; GIAMPIERI et al., 2012).

Segundo Caroch, Morales e Ferreira (2018) há sete possíveis mecanismos de ação que os antioxidantes podem seguir para evitar a oxidação promovida pelas EROs, variando de acordo com o tipo do antioxidante: sequestro de radicais livres do meio; quelação de íons metálicos; inibição de enzimas produtoras de radicais livres; ativação de enzimas antioxidantes endógenas; prevenção da peroxidação lipídica; prevenção de danos ao DNA; flexão da modificação da proteína e da destruição do açúcar.

Os principais antioxidantes exógenos são os carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico, vitamina E, vitamina A, entre outros compostos, os quais estão envolvidos diretamente na proteção do sistema biológico pela captura dos radicais livres (NEHA et al., 2019). Os compostos com atividade antioxidante estão distribuídos em algumas classes principais, como as vitaminas, os carotenoides e os fenóis, encontrados, principalmente, nos órgãos vegetais (AVALOS-LLANO; MARTÍN-BELLOSO; SOLIVA-FORTUNY, 2018).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 AMOSTRAS DE TOMATES

Tomates (*Solanum lycopersicum* L.), cultivares ‘BRS Nagai’ e ‘Sweet Grape’, foram adquiridos na Associação Central dos Produtores Rurais Ecológicos (ACEMPRE), no município de Marechal Cândido Rondon, localizado na região oeste do Paraná (24°33’27”S; 54°2’57”O; 410 m). Os frutos foram selecionados para obtenção de amostras experimentais uniformes quanto ao tamanho, padrão de maturação (vermelho maduro), ausência de danos mecânicos ou sintomas de doenças. Posteriormente, foram higienizados em solução de hipoclorito de sódio (1%) e secos sob bancada em temperatura ambiente (25 °C ±4).

#### 3.2 PLANO EXPERIMENTAL

Foram realizados dois ensaios experimentais adotando dois métodos de conservação pós-colheita: AM e CT com água quente (45 °C ±2). No ensaio com AM foi utilizado tomates ‘BRS Nagai’ e no ensaio com CT foram utilizados tomates ‘Sweet Grape’.

No ensaio com AM, os tomates foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido e posteriormente embalados com filme plástico de PVC semipermeável. Um ensaio controle (sem AM) também foi conduzido. Os tomates foram armazenados por 21 dias sob condições de bancada (ambiente não controlado) em temperatura ambiente (25 °C ±4). Amostragens analíticas foram realizadas a cada 7 dias.

No ensaio com CT, os tomates foram imersos em banho de água quente a 45 °C ±2, em banho maria (Novatecnica, NT 266) por 10 minutos. Um ensaio com tomates não tratados foram adotados como controle. Logo após o CT, os frutos foram secos naturalmente sob bancada, depois foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido e armazenados por 9 dias sob condições de bancada (ambiente não controlado) a 25 °C ±4. Amostragens analíticas foram retiradas a cada 3 dias.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Foram consideradas 5 repetições para cada período de amostragem. β-caroteno, ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), taxa de respiração e perda de massa fresca foram avaliados em ambos os ensaios.

### 3.3 $\beta$ -CAROTENO

#### 3.3.1 Preparo do extrato lipofílico

Para o ensaio com AM foi preparado extrato lipofílico dos tomates de acordo com García-Valverde et al. (2013), com algumas modificações. Amostras da polpa e da casca dos tomates foram secas em estufa de ar forçado (50 °C), pesadas e maceradas em macerador automático (FastPrep-24™ 5G) utilizando metanol P.A. como solvente na proporção 1:10 (m/v). Após a maceração, o material foi levado ao banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 15 minutos, e centrifugado a 14.462g em microcentrífuga (Sigma 1-14 k) por 10 minutos. Posteriormente, os extratos foram recolhidos com auxílio de seringa de 10 mL, filtrados em filtro para seringa (Chromafil® Xtra PES-45  $\mu$ m/25 mm), transferidos para vials de 2 mL (Agilent Technologies) e realizada uma injeção de 10  $\mu$ L em HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).

Para a análise de  $\beta$ -caroteno dos tomates do ensaio com CT foi preparado o extrato lipofílico segundo metodologia de extração proposta por Pan, Welti e Wang (2008). Amostras da polpa e da casca dos tomates foram secas em estufa de ar forçado (50 °C), pesadas e maceradas em macerador automático (FastPrep-24™ 5G) utilizando 0,75 mL de álcool isopropílico/água ultrapura/ácido clorídrico (2:1:0,002, v/v/v) como solvente de extração. Após a maceração, o material foi levado em banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 30 minutos e centrifugado a 14.462g em microcentrífuga (Sigma 1-14 k) por 10 minutos. Posteriormente foi adicionado 0,75 mL de n-hexano P.A. em cada amostra e novamente levado ao banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 30 minutos. A porção sobrenadante do extrato contendo n-hexano foi recolhida com auxílio de seringa de 10 mL, filtrada em filtro para seringa (Chromafil® Xtra PES-45  $\mu$ m/25 mm), transferida para vial de 2 mL (Agilent Technologies) e realizada uma injeção de 10  $\mu$ L em HPLC.

#### 3.3.2 Teor de $\beta$ -caroteno

Para a realização das análises de  $\beta$ -caroteno de ambos os ensaios (AM e CT) os extratos preparados foram injetados em HPCL (Waters, Alliance) com detector Diode Array (DAD) (Waters, 995) e coluna C18 (250 x 4,6mm, 3 $\mu$ m). Foi utilizado 100% de metanol como fase móvel com fluxo de 1 mL min<sup>-1</sup>, segundo metodologia adaptada de García-Valverde et al. (2013). Os resultados foram confrontados com padrão  $\beta$ -caroteno. Na análise do ensaio com

AM, o tempo de retenção do composto e o comprimento de onda de maior absorção foi de aproximadamente 22 minutos e 451,1 nm, respectivamente. No ensaio com CT o tempo de retenção do composto e o comprimento de onda de maior absorção foi de aproximadamente 23 minutos e 457,2 nm, respectivamente.

### 3.4 ÁCIDO ASCÓRBICO

#### 3.4.1 Extrato hidrofílico

O extrato hidrofílico foi preparado segundo Liu et al. (2019) com algumas adaptações para análise de ácido ascórbico dos tomates do ensaio com AM. Foram preparados extratos hidrofílicos da polpa dos tomates a partir de amostras frescas pesadas e maceradas em macerador automático (FastPrep-24™ 5G), na proporção 1:10 (m/v), utilizando água ultrapura acidificada a 1% com ácido ortofosfórico como solvente. Após a maceração, o material foi agitado em banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 15 minutos e centrifugados a 14.462g em microcentrífuga (Sigma 1-14 k), por 10 minutos. Posteriormente, os extratos foram recolhidos com auxílio de seringa de 10 mL, filtrados em filtro para seringa (Chromafil® Xtra PES-45 µm/25 mm) e transferidos para vials de 2 mL (Agilent Technologies) para análise em HPLC.

#### 3.4.2 Teor de ácido ascórbico

Para a realização da análise de ácido ascórbico do ensaio em AM o extrato preparado foi injetado em HPLC (Waters, Alliance) com detector Diode Array (DAD) (Waters, 995) e coluna C18 (250 x 4,6mm, 3µm). Foi utilizado 95% de água ultrapura acidificada a 1% com ácido ortofosfórico e 5% de metanol como fase móvel com fluxo de 0,3 mL min<sup>-1</sup>, segundo metodologia adaptada de Liu et al. (2019). Os resultados foram confrontados com padrão do ácido ascórbico. O tempo de retenção do composto e o comprimento de onda de maior absorção foi de aproximadamente 9 minutos e 265,6 nm, respectivamente.

A análise de ácido ascórbico do ensaio com tratamento de CT foi realizada pelo método de titulação segundo Benassi e Antunes (1988). Foi preparado extrato de 5 mL contendo a amostra de tomate, na qual foi adicionado 50 mL de ácido oxálico (2%). Foi realizada titulação com solução de 2,6-diclorofenolindofenol sal sódico (DCFI) (0,01%). O valor foi calculado e expresso em mg g<sup>-1</sup> (ácido ascórbico/amostra seca). Esta análise não foi realizada em HPLC,

como no primeiro ensaio, devido a questões técnicas que impossibilitaram o uso do equipamento.

### 3.5 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

#### 3.5.1 Extrato etanólico

O extrato etanólico foi preparado para as análises de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e compostos fenólicos totais de ambos os ensaios. Amostras frescas de polpa e casca dos tomates pesadas e maceradas em macerador automático (FastPrep-24™ 5G) com etanol P.A., na proporção 1:10 (m/v). Posteriormente, as amostras foram agitadas em banho ultrassônico (Unique, USC-2850 a) por 20 minutos e centrifugadas a 20.000 g em centrífuga (MPW 350-350R) a 4 °C, por 20 minutos. Após a centrifugação, os extratos foram filtrados em papel filtro qualitativo e transferidos para tubos de ensaio. Os extratos foram armazenados a -18 °C até o momento das análises.

#### 3.5.2 Compostos fenólicos totais

A análise de compostos fenólicos totais foi realizada pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu de acordo com Cheng et al. (2013) para amostras frescas de polpa e casca dos frutos de ambos os ensaios. Alíquota de 0,5 mL do extrato etanólico foi adicionada a 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu:água (1:10 v/v), permanecendo em repouso por 3 minutos. Posteriormente foram adicionados 2,0 mL de solução de carbonato de sódio, permanecendo em repouso por 15 minutos a 50 °C no escuro. Imediatamente após 15 minutos nas condições descritas, as amostras foram colocadas em banho de gelo e realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) a 760 nm.

Os resultados foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  amostra seca em equivalente ácido gálico (EqAG), calculados por meio de curvas de calibração para dados do ensaio com AM ( $y = 146,2x - 0,4969$ ,  $R^2 = 0,9999$ ) (Figura 1A) e para dados do ensaio com CT ( $y = 97,187x - 1,8799$ ,  $R^2 = 0,9997$ ) (Figura 1B). As análises foram realizadas em triplicata.

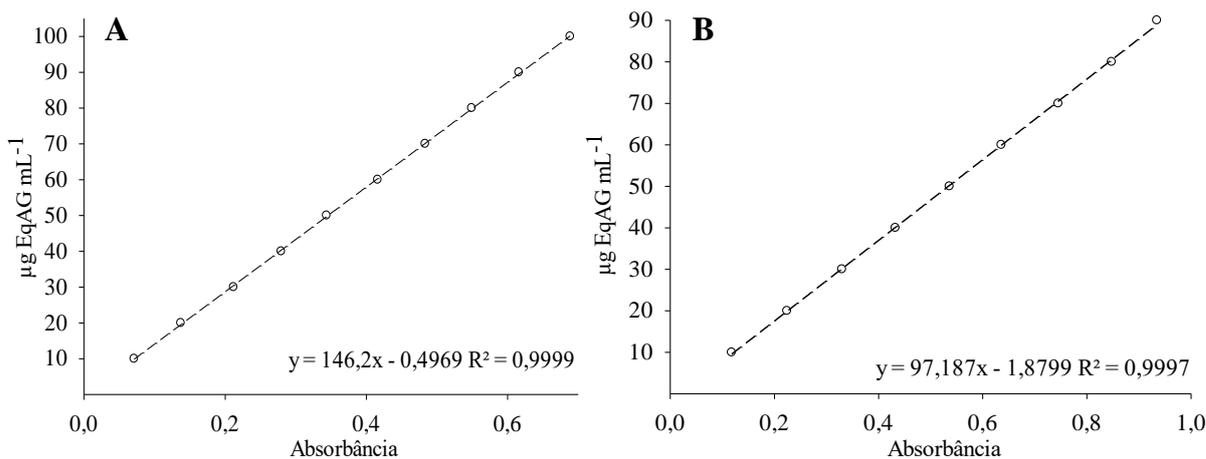


Figura 1 - Curva de calibração de ácido gálico para cálculo dos compostos fenólicos totais. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT.

### 3.5.3 Atividade antioxidante

#### 3.5.3.1 Análise do sequestro do radical livre DPPH

O DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazil) é um radical estável e orgânico de nitrogênio. Para este método analítico, a presença de um doador de hidrogênio ou elétron faz com que o radical DPPH de cor púrpura seja reduzido à hidrazina de coloração amarela, portanto, a solução com o radical perde a cor de acordo com o número de elétrons capturados (MOLYNEUX, 2004; BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSSET, 1995).

A determinação do sequestro do radical livre DPPH foi realizada segundo Siripatrawan e Harte (2010) para amostras frescas de polpa e casca dos tomates de ambos os ensaios. Em 3,0 mL de etanol 80% foram adicionados 0,5 mL do extrato etanólico, 0,3 mL da solução de DPPH ( $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e mantidos em repouso no escuro por 60 minutos. Posteriormente a absorbância das amostras foram lidas em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) em absorbância de 517 nm. Solução contendo 3,5 mL de etanol 80% e 0,3 mL da solução de DPPH foi utilizado como branco.

Os resultados foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  amostra seca em equivalente Trolox (EqTrolox), calculados por meio de curvas de calibração para dados do ensaio em AM ( $y = -0,0732x + 0,0357$ ,  $R^2 0,9988$ ) (Figura 2A) e para dados do ensaio com CT ( $y = -0,1573x + 0,0754$ ,  $R^2 0,9982$ ) (Figura 2B). As análises foram realizadas em triplicata.

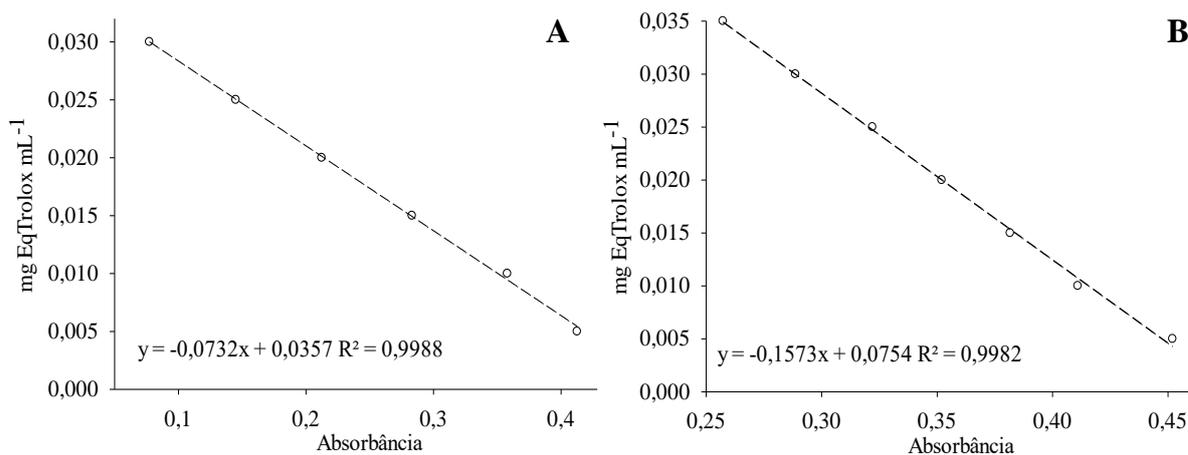


Figura 2 - Curva de calibração de Trolox para cálculo da atividade antioxidante pelo método DPPH. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT.

### 3.5.3.2 Análise do sequestro do radical livre ABTS

O método ABTS [2,2'azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)] é um teste de atividade antioxidante que permite análises lipofílicas e hidrofílicas. Através da adição de um antioxidante ocorre a redução do radical  $ABTS^+$  a ABTS, promovendo a perda da cor azul esverdeado no meio (KUSKOSKI et al., 2006).

A determinação do sequestro do radical livre ABTS foi realizada conforme Rufino et al. (2007) para amostras frescas de polpa e casca dos frutos de ambos os ensaios. Em 30  $\mu$ L do extrato etanólico foi adicionado 3,0 mL do reagente ABTS (5,0 mL da solução estoque ABTS 7 mM acrescidos de 88  $\mu$ L da solução persulfato de potássio 140 mM, mantida por 16 horas no escuro e diluída em etanol até absorbância de 0,700 nm a 0,734 nm). Após 6 minutos em ambiente escuro, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) a 734 nm.

Os resultados foram expressos em mg g<sup>-1</sup> amostra seca em equivalente Trolox (EqTrolox), calculados por meio de curvas de calibração para dados do ensaio em AM ( $y = -0,8734x + 0,597$ ,  $R^2 = 0,9988$ ) (Figura 3A) e para dados do ensaio com CT ( $y = -1,1426x + 0,7462$ ,  $R^2 = 0,9999$ ) (Figura 3B). As análises foram realizadas em triplicata.

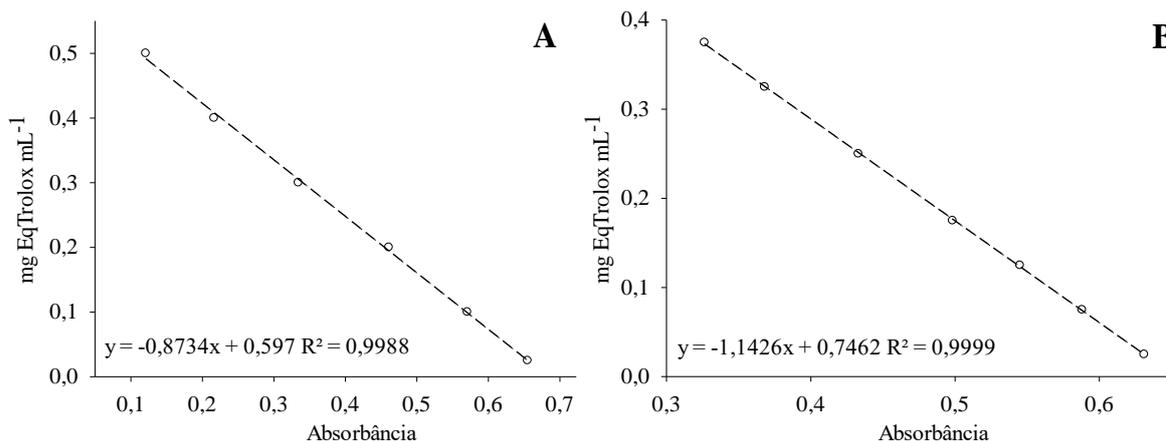


Figura 3 - Curva de calibração de Trolox para cálculo da atividade antioxidante pelo método ABTS. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT.

### 3.5.3.3 FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*)

O método FRAP se baseia na habilidade de compostos antioxidantes reduzirem o complexo férrico  $[(\text{Fe}^{+3}\text{-TPTZ})_2]^{+3}$  para um complexo ferroso  $[(\text{Fe}^{+3}\text{-TPTZ})_2]^{+2}$ , de coloração azul (MAGALHÃES et al., 2008).

A determinação da redução dos íons ferro através do método FRAP foi realizada conforme Rufino et al. (2006) para amostras frescas de polpa e casca dos tomates de ambos os ensaios. Em 90  $\mu\text{L}$  do extrato etanólico foi adicionado 240  $\mu\text{L}$  em água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP (25 mL de tampão acetato 0,3 M, 2,5 mL de uma solução de TPTZ 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM). Após 30 minutos em ambiente escuro a 37 °C, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível Shimadzu (UV-1800) a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco para calibração do espectrofotômetro.

Os resultados foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  amostra seca em equivalente sulfato ferroso (EqSF), calculados por meio de curvas de calibração para dados do ensaio em AM ( $y = 0,4086x + 0,0382$ ,  $R^2 = 0,9974$ ) (Figura 4A) e para dados do ensaio com CT ( $y = 0,4208x - 0,0222$ ,  $R^2 = 0,9986$ ) (Figura 4B). As análises foram realizadas em triplicata.

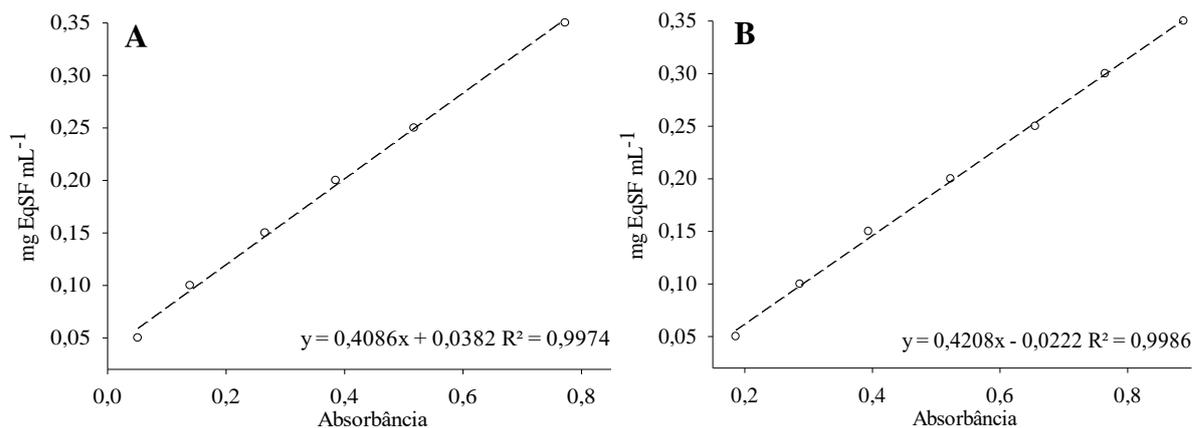


Figura 4 - Curva de calibração de sulfato ferroso para cálculo da atividade antioxidante pelo método FRAP. (A) ensaio com AM; (B) ensaio com CT.

### 3.6 TAXA DE RESPIRAÇÃO E PERDA DE MASSA FRESCA

Para determinação da atividade respiratória em ambos os ensaios, frutos de tomate foram acondicionados em frascos herméticos de plástico com volume de 500 mL e septo de silicone na tampa para amostragem de CO<sub>2</sub>. Foram utilizados 5 repetições (5 potes), com 2 frutos por pote no ensaio com AM e 5 frutos por pote no ensaio com CT. Amostras de 1,0 mL foram coletadas do interior dos frascos com auxílio de uma seringa gastight (Hamilton, EUA) e injetadas em cromatógrafo gasoso (Finnigan, 9001) calibrado para as temperaturas de coluna [Restek RT-QPlot (30 m, 0,53 mm id)], injetor (*splitless*), metanador e detector de ionização em chama para 120, 100, 350 e 250 °C, respectivamente. O nitrogênio foi utilizado como gás de arraste e a respiração foi expressa em mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

A perda de massa fresca foi mensurada através da pesagem dos frutos, individualmente, em balança digital de 4 casas, e os resultados expressos em porcentagem (%).

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), compostos fenólicos totais, taxa de respiração, perda de massa fresca e ácido ascórbico (método de titulação; ensaio com CT) foram submetidos a análise de variância e os parâmetros cujo teste F foi significativo, foram aplicados teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), através do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Os dados das análises realizadas em HPLC ( $\beta$ -caroteno e ácido ascórbico no ensaio com AM) foram apresentados por meio dos valores médios. Os dados referente as análise de  $\beta$ -

caroteno, ácido ascórbico e compostos fenólicos totais foram submetidos a análise de correlação de Pearson contra os dados das análises de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 TEOR DE $\beta$ -CAROTENO E ÁCIDO ASCÓRBICO

Na Figura 5 estão contidos os valores referentes aos teores de  $\beta$ -caroteno dos tomates ‘BRS Nagai’ submetidos ao ensaio com AM. A AM proporcionou retenção do conteúdo de  $\beta$ -caroteno da polpa do tomate (Figura 5A) durante o armazenamento, pois os valores se mantiveram praticamente inalterados durante o armazenamento, com valor médio de  $4,71 \text{ mg g}^{-1}$ , enquanto os frutos controle mostraram forte redução do  $\beta$ -caroteno da polpa no início do armazenamento, que reduziu de  $4,32$  para  $1,81 \text{ mg g}^{-1}$  no 7º dia. Tais resultados indicam que a AM foi eficaz na retenção do conteúdo de  $\beta$ -caroteno do tomate, que é resultado do efeito regulador da degradação fisiológica promovido pela mudança da atmosfera gasosa no interior da embalagem dos frutos.

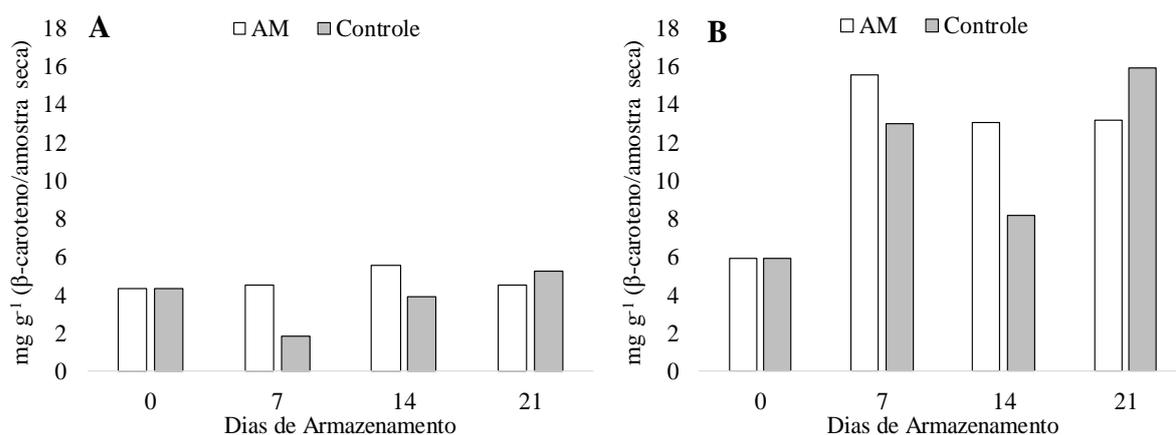


Figura 5 – Teor de  $\beta$ -caroteno na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 4$ ).

Em relação a casca (Figura 5B), houve forte aumento do teor de  $\beta$ -caroteno até o 7º dia de armazenamento, tanto para os frutos com AM ( $15,56 \text{ mg g}^{-1}$ ), como para o controle ( $12,98 \text{ mg g}^{-1}$ ). No 14º dia de armazenamento também foi verificado conteúdo mais elevado de  $\beta$ -caroteno na casca dos frutos com AM ( $13,02 \text{ mg g}^{-1}$ ), quando comparado ao tratamento controle ( $8,19 \text{ mg g}^{-1}$ ), reforçando a eficiência da AM na manutenção de valores mais altos de  $\beta$ -caroteno.

Apesar da atmosfera normal proporcionar metabolismo mais elevado nos frutos do controle, o que implicaria em maior estresse oxidativo (CHITARRA; CHITARRA, 2005) e indução de rotas de síntese de compostos secundários (TOOR; SAVAGE, 2005), tal condição

resultou em redução mais elevada de  $\beta$ -caroteno do que com AM. Estes resultados estão de acordo com os verificados por D'Aquino et al. (2016) que encontraram aumento do teor de carotenoides totais em tomates embalados ao longo do armazenamento.

Com relação aos tomates 'Sweet Grape' tratados com CT, a Figura 6A mostra que no 3º, 6º e 9º dia de armazenamento os conteúdos de  $\beta$ -caroteno da polpa dos frutos tratados (0,239, 0,244 e 0,219  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente) foram maiores do que no controle (0,164, 0,161 e 0,149  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente). O estresse moderado causado pelo CT pode induzir rotas metabólicas de síntese de compostos antioxidantes responsáveis pelo equilíbrio e manutenção celular (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2010; BASSAL; EL-HAMAHMY, 2011; ZHANG et al., 2019), e isso pode explicar o aumento do conteúdo de  $\beta$ -caroteno dos tomates tratados.

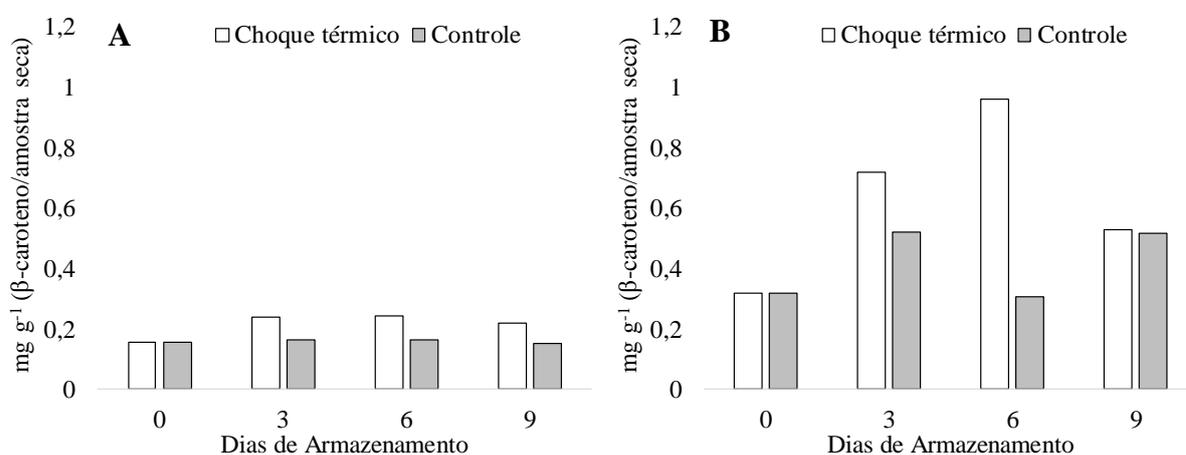


Figura 6 – Teor de  $\beta$ -caroteno na polpa (A) e na casca (B) de tomates 'Sweet Grape' tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).

Para a casca dos tomates tratados com CT (Figura 6B), houve aumentos do conteúdo de  $\beta$ -caroteno no 3º (0,720  $\text{mg g}^{-1}$ ) e no 6º dia de armazenamento (0,960  $\text{mg g}^{-1}$ ), que foram superiores ao controle nos mesmos períodos (0,518 e 0,300  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente). Esses conteúdos mais elevados de  $\beta$ -caroteno na casca do tomate tratado com CT, assim como ocorreu também na polpa, evidencia o efeito indutor do estresse moderado na síntese de compostos antioxidantes, conforme comentado anteriormente.

O benefício mais evidente do CT foi verificado na casca dos tomates, que foi a parte do fruto mais exposta ao calor do CT, induzindo uma resposta positiva ao estresse, ou seja, aumento do teor do  $\beta$ -caroteno. De acordo com Couso et al. (2012), a síntese de carotenoides está diretamente relacionada a maior geração de EROs, que segundo Imahori (2014) é consequência do estresse causado pelo calor.

Variações dos níveis de carotenoides em tomates estão muito mais relacionados a elevada presença na casca, em comparação a polpa (D'AQUINO et al., 2016), como mostram as Figuras 5 e 6, uma vez que se trata de um pigmento característico do tomate que sofre grande variação de seu conteúdo, especialmente durante o amadurecimento (SOTO-ZAMORA et al., 2005). Em adição, foi observado que o tratamento de CT proporcionou incremento do teor de  $\beta$ -caroteno na casca dos tomates e isso é interessante sob o ponto de vista nutricional.

Com relação ao efeito da AM no conteúdo de ácido ascórbico dos tomates 'BRS Nagai' (Figura 7), os resultados mostraram forte redução no teor de ácido ascórbico na polpa dos tomates com e sem AM durante o armazenamento. Tomates com AM apresentaram maior redução do ácido ascórbico no 7º dia de armazenamento em relação aos tomates do controle (0,56 e 1,66 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), porém, no 14º e no 21º dia os tomates com AM apresentaram conteúdos de ácido ascórbico (2,04 e 1,76 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente) similares aos tomates do controle (2,20 e 1,72 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), ou seja, a AM não proporcionou retenção ou aumento de ácido ascórbico nos frutos.

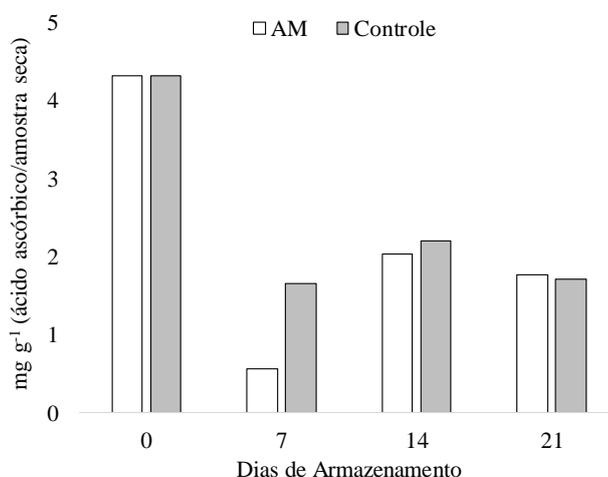


Figura 7 – Teor de ácido ascórbico na polpa de tomates 'BRS Nagai' armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4).

Embora os tomates tenham sido expostos a uma menor pressão de oxigênio promovida pela AM, o que teoricamente leva a uma redução do metabolismo e menor demanda por antioxidantes, como o ácido ascórbico, outros eventos geradores de estresse oxidativo foram mais determinantes para a forte redução do ácido ascórbico dos frutos, como provavelmente a temperatura de armazenamento (25 °C ±4), o estágio fisiológico maduro senescente e a ação de microrganismos. De acordo com Li e Zhang (2015) o ácido ascórbico é um dos compostos mais

sensíveis as condições adversas de armazenamento e manuseio, sendo facilmente degradado por processos fonte de estresse ao órgão vegetal.

Os resultados da Figura 7 estão de acordo com os verificados por Chitravathi, Chauhan e Raju (2015), quando encontraram decréscimo do ácido ascórbico em pimentões verdes armazenados em AM, além do avanço da senescência. Li et al. (2012), em estudo com frutos de pomelo minimamente processados armazenados em atmosfera controlada verificaram queda do teor de ácido ascórbico nos frutos submetidos a baixa concentração de O<sub>2</sub> e alta concentração de CO<sub>2</sub>, o que contribuiu para o aumento do estresse oxidativo, e consequente degradação do ácido ascórbico.

Para o conteúdo de ácido ascórbico dos tomates ‘Sweet Grape’ tratados com CT (Figura 8), foi verificado menor degradação de ácido ascórbico em relação aos tomates controle. No 3º dia de armazenamento, o conteúdo de ácido ascórbico dos tomates tratados foi de 6,67 mg g<sup>-1</sup>, o que representou uma redução de 26,4%, enquanto para o controle o conteúdo foi de 3,96 mg g<sup>-1</sup>, ou seja, uma redução de 56,3%, sendo o CT superior ( $P < 0,01$ ) ao controle. No 6º dia, o conteúdo de ácido ascórbico dos tomates tratados também se manteve superior ao controle ( $P < 0,05$ ), mas houve redução quando comparado ao 3º dia. Resultados contrários foram encontrados por Loayza et al. (2020), que observaram menor teor de ácido ascórbico em tomates tratados termicamente com água quente a 54 °C.

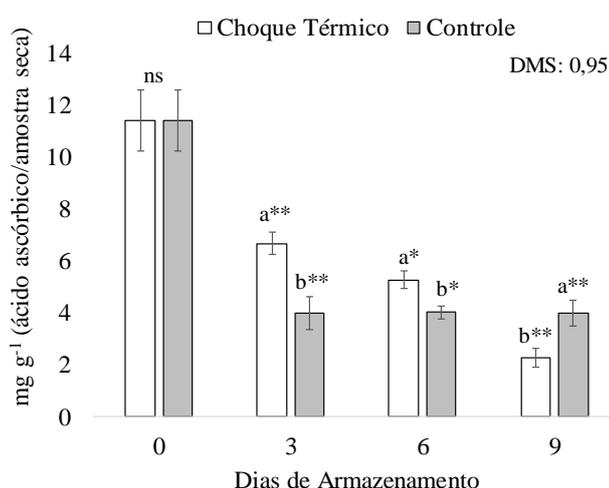


Figura 8 – Teor de ácido ascórbico na polpa de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ± 4).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Em ambos os ensaios experimentais (Figuras 7 e 8) houve degradação do ácido ascórbico durante o armazenamento. Entretanto, o CT foi efetivo na retenção do ácido ascórbico

do que a AM. Apesar da elevada instabilidade do ácido ascórbico frente a processos oxidativos e altas temperaturas (KELEBEK et al., 2017), o CT foi favorável para o tomate até o 6º dia de armazenamento.

#### 4.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Para o ensaio com AM, os teores de compostos fenólicos totais dos tomates ‘BRS Nagai’ são exibidos na Figura 9. No 7º e 14º dia de armazenamento (Figura 9A) a polpa dos tomates armazenados com AM apresentaram resultados inferiores ( $P<0,01$ ) em relação aos tomates do controle, ou seja, a AM influenciou reduções de compostos fenólicos totais da polpa dos frutos, enquanto no controle ocorreram acréscimos.

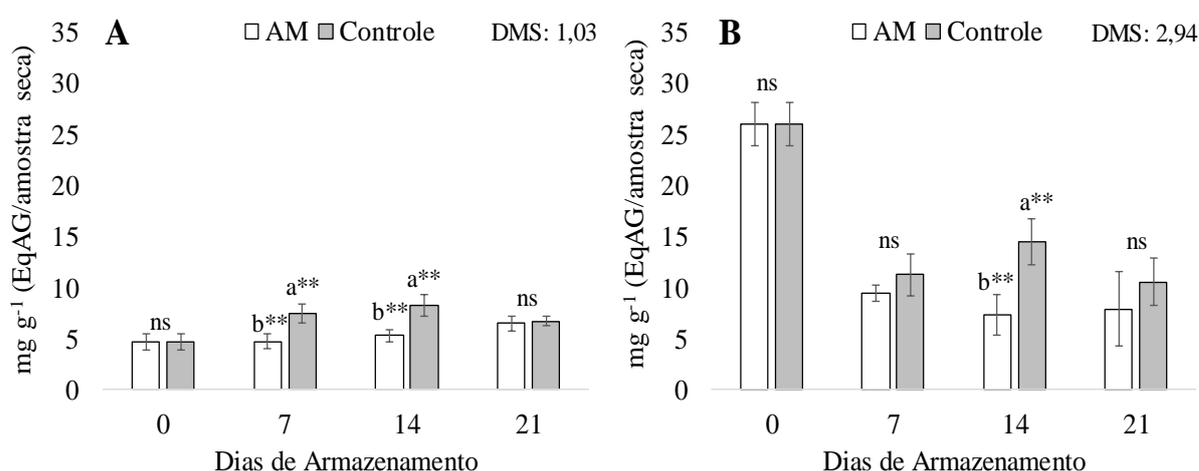


Figura 9 - Compostos fenólicos totais na polpa (A) e na casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Na casca dos frutos (Figura 9B) houve queda acentuada, tanto dos frutos com AM, quanto do controle no 7º dia de armazenamento, entretanto, no 14º dia a AM influenciou maior redução de compostos fenólicos totais em relação ao controle durante o armazenamento, ou seja, no 14º ( $P<0,01$ ) dia o tratamento controle apresentou o dobro de conteúdo de compostos fenólicos totais (14,455 mg g⁻¹) em relação aos tratados (7,400 mg g⁻¹).

Esses resultados mostram que a AM influenciou em maior degradação de compostos fenólicos da polpa e da casca dos tomates ‘BRS Nagai’. Resultado semelhante foi encontrado por Chitravathi, Chauhan e Raju (2015) quando avaliaram pimentões verdes armazenados com

AM, e encontraram que houve menor retenção de compostos fenólicos totais em pimentões com AM.

Segundo Ghasemnezhad et al. (2013), o processo de senescência durante o armazenamento de frutos leva a diminuição do teor de compostos fenólicos pela quebra estrutural das células, e isso ocorre acentuadamente na casca dos tomates, parte primeiramente afetada por agentes externos que causam estresse no fruto, como ataque por patógenos. Tal afirmação corrobora com os resultados apresentados na Figura 9.

No ensaio com CT, tomates ‘Sweet Grape’ mostraram redução do conteúdo de compostos fenólicos na polpa (Figura 10A) no 3º dia de armazenamento, independente do tratamento. No 6º dia CT foi superior ( $P<0,05$ ) ao tratamento controle (2,18 e 1,87 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), que se manteve superior ( $P<0,01$ ) até os 9 dias de armazenamento (3,17 e 1,19 mg g<sup>-1</sup>; CT e controle, respectivamente), entretanto, não houve efeito positivo do CT na polpa ao longo do tratamento devido o tratamento não ter proporcionado aumento do teor de compostos fenólicos em relação ao conteúdo inicial.

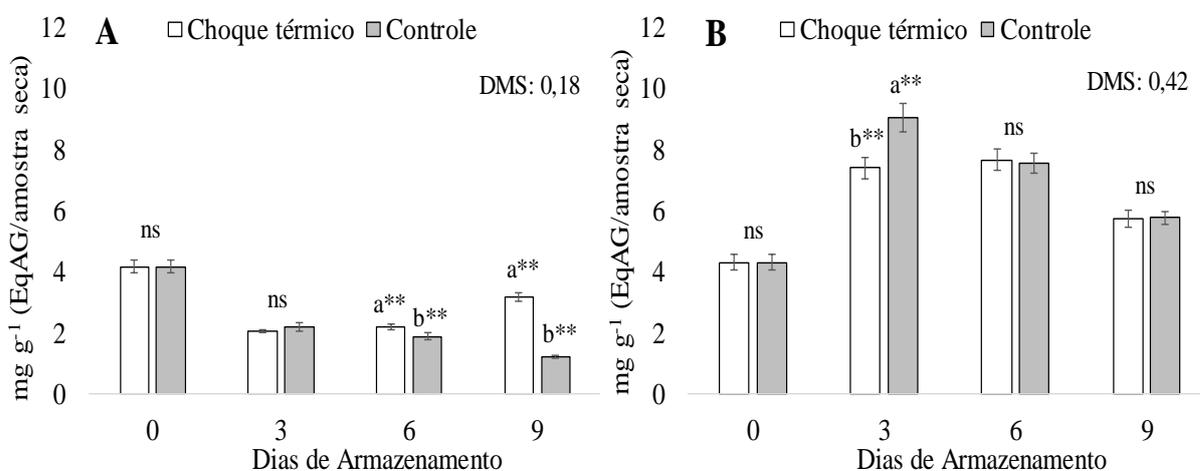


Figura 10 – Compostos fenólicos totais na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente (25 °C ±4).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Na casca (Figura 10B) houve aumento dos valores no 3º dia de armazenamento em ambos os tratamentos, entretanto, o controle apresentou maior conteúdo de compostos fenólicos totais ( $P<0,01$ ) em relação ao tratamento com CT (9,02 e 7,40 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Apesar do tratamento com CT não ter proporcionado queda dos valores de compostos fenólicos totais na casca em relação ao conteúdo inicial, este foi inferior ou igual ao controle, o que demonstra que não houve efeito positivo do tratamento.

Em ambos os ensaios a casca apresentou teor de compostos fenólicos totais superior em relação a polpa, independente do tratamento, conforme apresentado nas Figuras 9 e 10. Segundo Strack (1997), compostos fenólicos tendem a se acumular mais frequentemente na epiderme dos frutos devido seu papel protetivo contra radiação ultravioleta e de defesa contra patógenos, fenômeno que explica o maior conteúdo do composto na casca, assim como observado também por Toor e Savage (2005) analisando conteúdo fenólico de diferentes frações de tomates.

Os compostos fenólicos são compostos oriundos do metabolismo secundário da planta, que englobam desde moléculas simples até moléculas complexas com alto grau de polimerização (ANGELO; JORGE, 2007). A análise de compostos fenólicos totais pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu não é um método de análise específica, sua detecção abrange todos os grupos fenólicos presente no extrato, além de poder extrair algumas proteínas e reduzir o ácido ascórbico (NACZK; SHAHIDI, 2004). Portanto, diante da grande diversidade de compostos fenólicos presentes na natureza, não é possível apontar o composto predominando nos frutos de tomate analisados, mas sim, o teor de compostos fenólicos de maneira geral, demonstrando serem frutos ricos em compostos fenólicos, principalmente quando se trata da casca dos tomates.

### 4.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

#### 4.3.1 Análise do sequestro do radical livre DPPH

A atividade antioxidante DPPH da polpa e da casca dos tomates 'BRS Nagai' apresentaram queda na polpa e na casca dos tomates tratados com AM (Figuras 11A e 11B). Na polpa, os tomates do tratamento controle apresentaram resultados superiores ( $P < 0,01$ ) no 7° e 14° dia de armazenamento (1,72 e 1,77 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), em relação ao tratamento com AM (0,67 e 0,57 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Na casca, a AM proporcionou queda mais acentuada da atividade antioxidante dos tomates no 7° dia de armazenamento, apresentando teor inferior ( $P < 0,01$ ) ao controle (1,49 e 2,05 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Portanto, a AM agiu negativamente na atividade antioxidante pelo método DPPH em ambas as frações dos tomates.

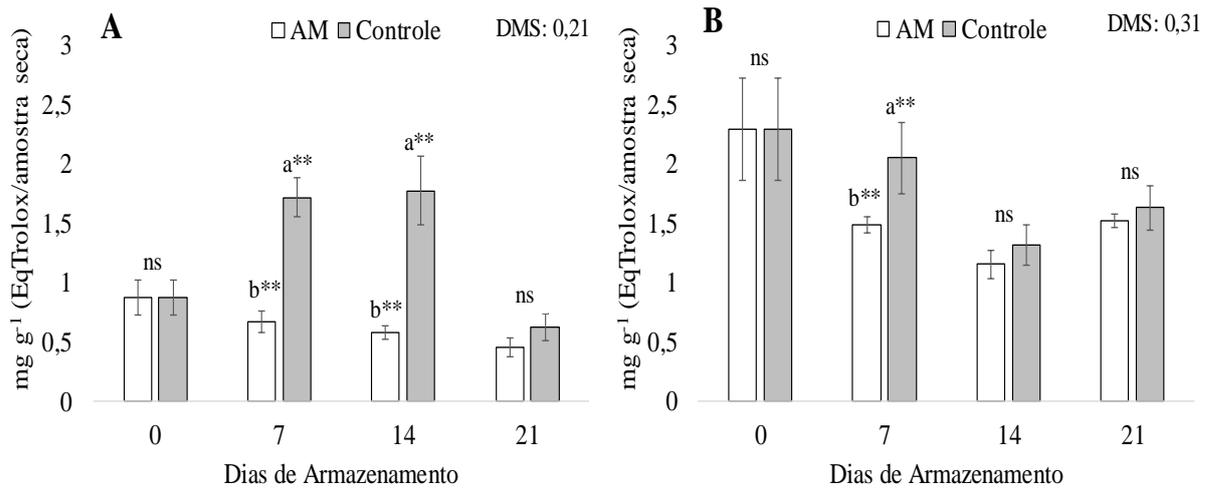


Figura 11 - Atividade antioxidante pelo método DPPH na polpa (A) e casca (B) de tomates 'BRS Nagai' armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ). Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

No ensaio com CT os dados da análise DPPH apresentaram variações entre polpa e casca, como demonstrado na Figura 12A e 12B. Houve redução da atividade antioxidante na polpa dos tomates tratados no 3º dia de armazenamento (Figura 12A), sendo o tratamento controle superior ( $P < 0,01$ ) ao tratamento de CT (4,44 e 2,16 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). No entanto, aos 6 dias de armazenamento, o tratamento controle apresentou valor inferior ao tratamento térmico ( $P < 0,05$ ) (2,64 e 3,59 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Apesar da variação dos valores nos tratamentos durante o armazenamento, o CT não foi efetivo na retenção ou aumento do perfil antioxidante, apresentando grande queda do teor já no 3º dia de armazenamento.

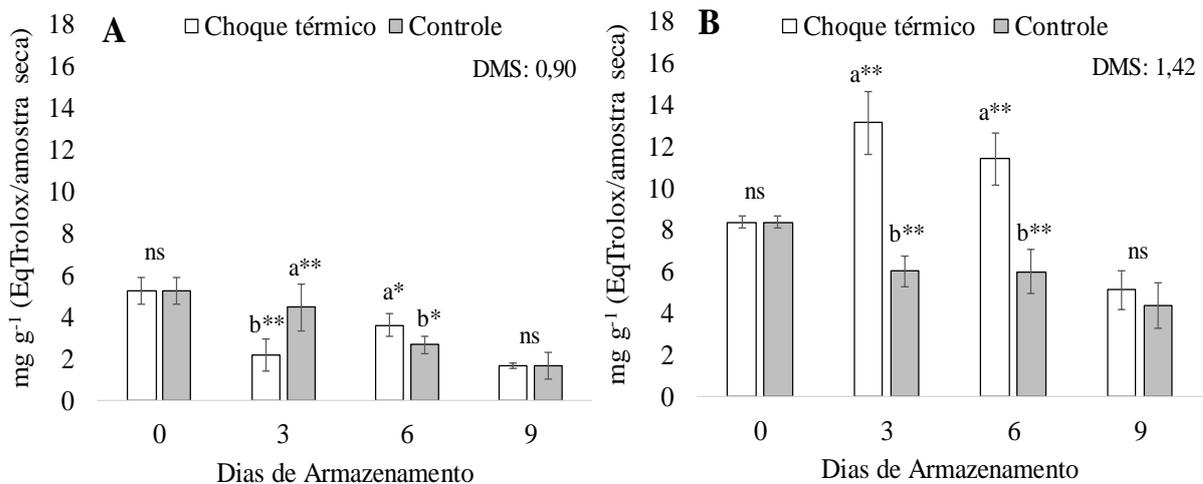


Figura 12 - Atividade antioxidante pelo método DPPH na polpa (A) e casca (B) de tomates 'Sweet Grape' tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Nos dados referentes a casca dos tomates ‘Sweet Grape’ (Figura 12B), houve aumento da atividade antioxidante nos frutos tratados com CT, que proporcionou valores superiores ( $P<0,01$ ) no 3° e 6° dia de armazenamento (13,13 e 11,40 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), em relação ao tratamento controle (6,01 e 5,98 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Diferente do ocorrido na polpa, o tratamento com CT foi efetivo no aumento da atividade antioxidante dos tomates até o 6° dia.

### 4.3.2 Análise do sequestro do radical livre ABTS

Os resultados da atividade antioxidante ABTS na polpa e na casca dos tomates armazenados com AM são mostrados na Figura 13A e 13B. Houve aumento da atividade antioxidante ABTS na polpa (Figura 13A) dos tomates ‘BRS Nagai’ até o 14° dia de armazenamento, independente do tratamentos, no entanto, a AM proporcionou valores inferiores no 7° ( $P<0,05$ ) e 14° dia de armazenamento (1,64 e 2,19 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente).

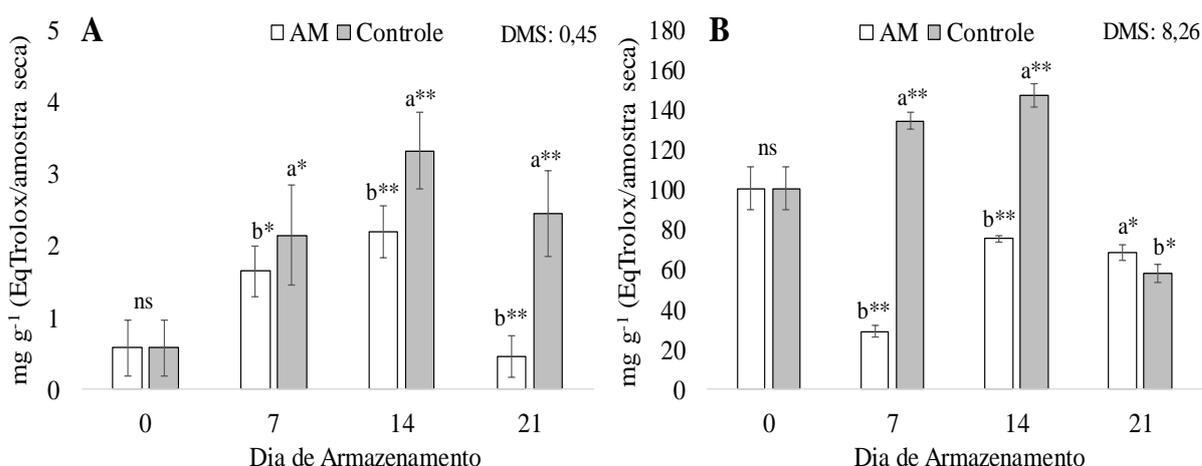


Figura 13 - Atividade antioxidante pelo método ABTS na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ± 4). Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Na casca (Figura 13B), o tratamento controle também foi superior no 7° e 14° ( $P<0,01$ ) de armazenamento, (134,59 e 147,31 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente) em relação a AM (29,15 e 75,51 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Desta forma, também fica claro o efeito negativo da AM na retenção da atividade antioxidante ABTS nos frutos de tomate ‘BRS Nagai’, que pode estar associado a temperatura ambiente de armazenagem, a qual contribuiu para reações de degradação dos compostos antioxidantes dos frutos.

No ensaio com CT houve retenção da atividade antioxidante ABTS da polpa (Figura 14A) dos tomates ‘Sweet Grape’ tratados com CT durante o armazenamento, com valor médio de  $7,03 \text{ mg g}^{-1}$ , enquanto a atividade antioxidante da polpa do controle apresentou redução dos valores, sendo inferior ( $P < 0,01$ ) no 6º e no 9º dia de armazenamento. Já na casca (Figura 14B) houve queda da atividade antioxidante em ambos os tratamentos sendo o tratamento com CT aquele que apresentou queda mais acentuada no 3º dia de armazenamento, sendo o tratamento controle superior ( $P < 0,01$ ) ao tratamento de CT ( $25,07$  e  $6,72 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente).

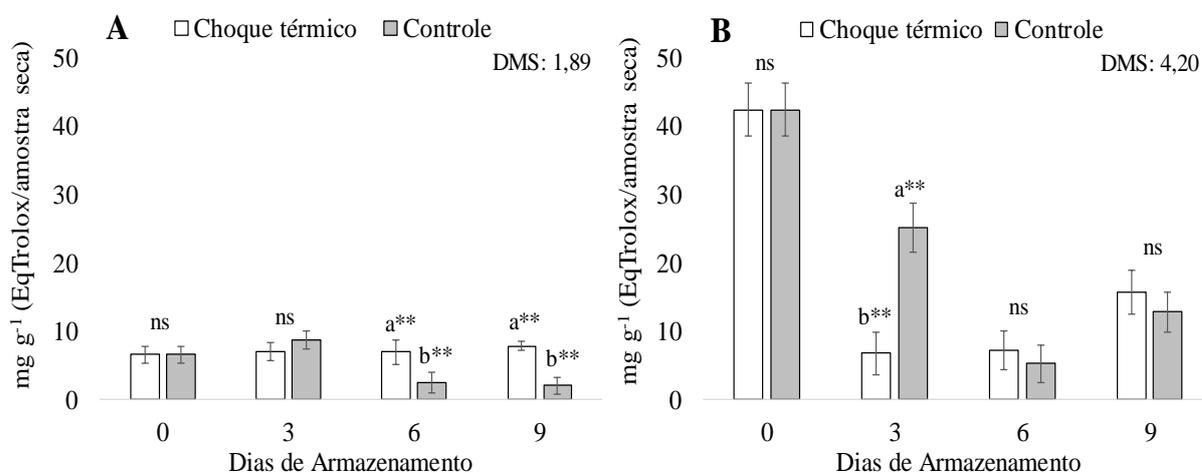


Figura 14 - Atividade antioxidante pelo método ABTS na polpa (A) e casca (B) de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25 \text{ °C} \pm 4$ ).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

O tratamento com CT foi capaz de reter a atividade antioxidante ABTS na polpa (Figura 14A), enquanto a casca (Figura 14B) foi afetada negativamente, apresentando queda dos teores antioxidantes. A casca é a parte mais externa dos frutos, portanto, está sujeita a sofrer primeiramente aos estresses causados pelo ambiente, portanto, estresse causado pelo CT possivelmente foi responsável por degradar os compostos antioxidantes detectados pelo método ABTS presentes na casca, sendo responsável pela queda do teor.

#### 4.3.3 FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*)

A atividade antioxidante FRAP da polpa (Figura 15A) e da casca (Figura 15B) dos tomates ‘BRS Nagai’ armazenados em AM reduziram mais do que os seus respectivos controles durante todo o período de armazenamento. Na polpa (Figura 15A), os valores referentes ao tratamento com AM se mantiveram inferiores no 7º, 14º e 21º dia de armazenamento ( $P < 0,01$ )

(8,73, 10,12 e 8,05 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente) em relação ao controle (22,24, 16,38 e 11,84 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente). Da mesma forma, na casca (Figura 15B) a AM proporcionou queda do perfil antioxidante e valores inferiores ( $P<0,05$ ) ao 7 e 14 dias (61,43 e 64,82 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente) em relação aos valores do tratamento controle (76,07 e 77,25 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), indicando que a AM não foi um método de conservação favorável à manutenção da qualidade nutricional dos tomates nas condições de armazenagem testada.

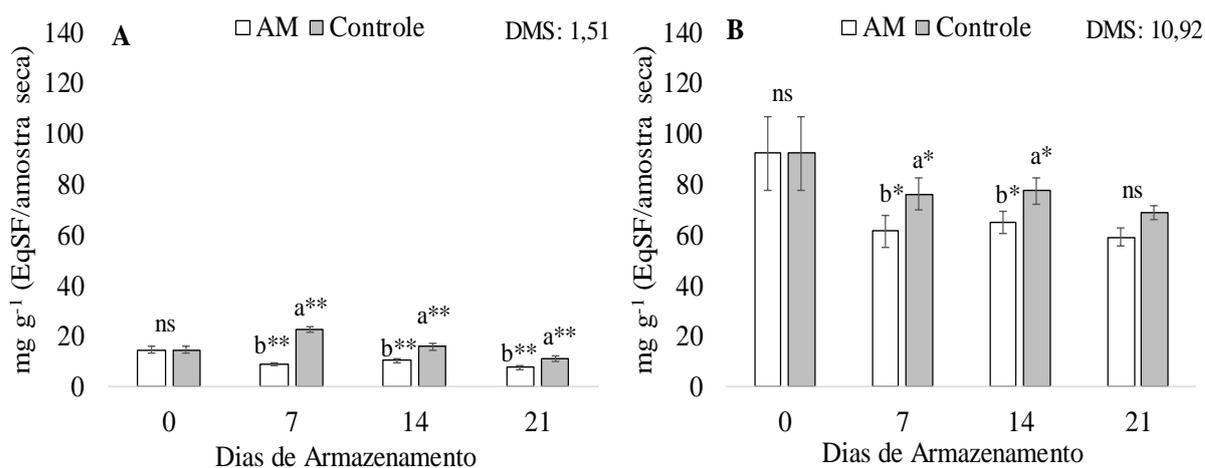


Figura 15 - Atividade antioxidante pelo método FRAP na polpa (A) e na casca (B) de tomates 'BRS Nagai' armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ±4). Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenagem; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Para o ensaio de CT com tomates 'Sweet Grape', em ambos os tratamentos a atividade antioxidante FRAP da polpa dos tomates não demonstrou variação até o 6º dia de armazenagem (Figura 16A), com valor médio de 14,37 mg g<sup>-1</sup> nos tomates tratados e de 14,93 mg g<sup>-1</sup> nos tomates controle. Na casca (Figura 16B), a atividade antioxidante dos tomates tratados sofreu redução e se manteve inferior ao tratamento controle até no 3º, 6º ( $P<0,01$ ) e 9º dia ( $P<0,05$ ) de armazenagem.

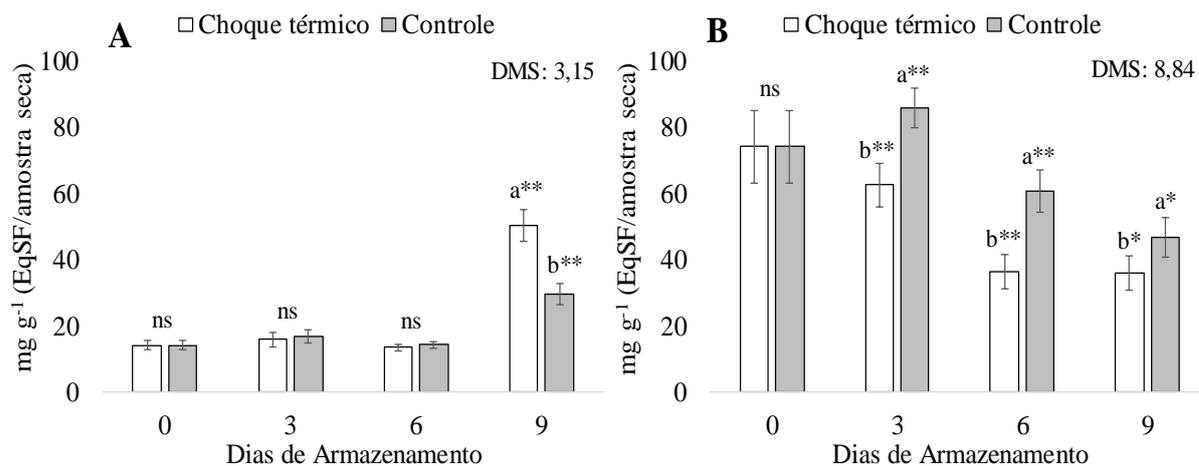


Figura 16 - Atividade antioxidante pelo método FRAP na polpa (A) e casca (B) de tomates 'Sweet Grape' tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).

Barra vertical se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Da mesma forma que ocorreu no método ABTS (Figura 14), a polpa apresentou retenção do teor antioxidante FRAP, enquanto a casca demonstrou que houve queda dos valores nos tomates tratados com CT, demonstrando que, novamente, o CT pode ter causado degradação dos compostos antioxidantes da casca, parte que primeiro sofreu pelo estresse do tratamento, que por sua vez, agiu na retenção da atividade antioxidante ABTS (Figura 14A) e FRAP (Figura 16A) da polpa.

Loayza et al. (2020) trabalhando com diferentes variedades de tomate observaram variações nos resultados do conteúdo antioxidante FRAP em tomates tratados com água quente ( $54\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), onde o mesmo tratamento foi capaz de elevar o teor de  $\beta$ -caroteno em determinadas variedades, enquanto nas demais, não foi verificado acréscimo dos teores, o que evidencia que há variadas respostas fisiológicas ao estresse térmico em frutos da mesma espécie, assim como os diferentes comportamentos observados na polpa e na casca dos tomates tratados termicamente nos três métodos de análise de atividade antioxidante.

No ensaio em AM, todas as análises de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) demonstraram que a embalagem não foi capaz de manter o perfil antioxidante, tanto da polpa, como da casca dos tomates 'BRS Nagai'. Estes resultados demonstram que as reações oxidativas prevaleceram ao longo do armazenamento em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ), o que pode estar relacionado com o estágio fisiológico maduro dos frutos, com a temperatura ambiente e com o aparecimento de patógenos nos tomates, que contribuindo para o aumento do estresse oxidativo, e consequente degradação de compostos antioxidantes.

Apesar da AM não ter sido suficiente para a manutenção da atividade antioxidante, a análise de atividade antioxidante evidenciou que a casca apresenta atividade antioxidante mais elevada do que a polpa, assim como relatado por Toor e Savage (2005), quando quantificou compostos antioxidantes em diferentes partes do tomate. Entretanto, mesmo a casca apresentando queda de seus teores antioxidantes, continua sendo uma fonte nutricional superior a polpa. O ensaio com CT, por outro lado, proporcionou aumento do conteúdo antioxidante DPPH (Figura 12B) da casca, e manutenção do conteúdo antioxidante ABTS (Figura 14A) e FRAP (Figura 16A) da polpa.

#### 4.4 CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS

Na Tabela 1 é possível verificar o comportamento da análise de correlação entre os compostos analisados e os métodos de análise da atividade antioxidante da polpa dos tomates de ambos os ensaios experimentais. Nesta análise de correlação, houve correlação ( $R^2$ ) positiva apenas entre o teor de ácido ascórbico e os métodos DPPH e ABTS (0,70 e 0,31, respectivamente), sendo o método DPPH aquele que apresentou maior correlação.

Tabela 1 - Correlação entre atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e os compostos fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno da polpa dos tomates 'BRS Nagai' armazenados em atmosfera modificada e dos tomates 'Sweet Grape' tratados com choque térmico, armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 4$ ).

	Compostos fenólicos totais	$\beta$ -caroteno	Ácido ascórbico
DPPH	-0,44	-0,79	0,70
ABTS	-0,40	-0,64	0,31
FRAP	-0,17	-0,39	-0,38

A maior correlação entre o teor de ácido ascórbico e o método DPPH demonstra que, possivelmente, o potencial antioxidante do ácido ascórbico está mais associado ao método DPPH, enquanto isso, compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno apresentaram correlação negativa com todas as análises de atividade antioxidante (Tabela 1), demonstrando que a atividade antioxidante varia entre as metodologias, e possivelmente o teor de compostos fenólicos e  $\beta$ -caroteno presente na polpa dos frutos de tomate não estão associados aos métodos de análise da atividade antioxidante realizados.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de correlação das variáveis bioquímicas analisadas na casca dos tomates de ambos os ensaios experimentais. Diferente do observado na

Tabela 1, na casca houve correção positiva entre os compostos fenólicos totais e os métodos ABTS ( $R^2$  0,69) e FRAP ( $R^2$  0,62), assim como  $\beta$ -caroteno também apresentou correlação positiva com os mesmos métodos de análise antioxidante ( $R^2$  0,64 e 0,27, respectivamente).

Tabela 2 - Correlação entre atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e os compostos fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno da casca dos tomates 'BRS Nagai' armazenados em atmosfera modificada e dos tomates 'Sweet Grape' tratados com choque térmico, armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 4$ ).

	Compostos fenólicos totais	$\beta$ -caroteno
DPPH	-0,17	-0,55
ABTS	0,69	0,64
FRAP	0,62	0,27

As maiores correlações verificadas na casca (Tabela 2) entre os compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno com estão associadas ao método ABTS. O método de análise ABTS é aplicável para a determinação da atividade antioxidante tanto de amostras hidrofílicas como lipofílicas, sendo os compostos fenólicos totais um composto hidrofílico e o  $\beta$ -caroteno um composto lipofílico, e, portanto, um método eficiente para determinação da atividade antioxidante devida de diferentes compostos com atividade antioxidante.

As correlações dos compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno com os métodos de análise antioxidante se comportou de maneira distinta na polpa (Tabela 1) e na casca (Tabela 2), sendo positivas apenas na casca. Isso pode estar associado aos valores superiores dos teores encontrados na casca, tanto dos compostos analisados, quanto nas análises de atividade antioxidante ABTS e FRAP, ocasionando em correlações positivas.

Diante das análises de correlação, é possível observar que não houve um único método que melhor se correlacionou com todas as variáveis analisadas na polpa e na casca dos tomates utilizados neste trabalho. Entretanto, de modo geral, o método ABTS foi aquele que melhor se correlacionou com os teores de compostos fenólicos e  $\beta$ -caroteno na casca, apontando que a atividade antioxidante destas variáveis estão mais associadas a tal método analítico, enquanto o ácido ascórbico analisado na polpa dos tomates apresentou maior correlação com o método DPPH.

Foi possível observar que a polpa e a casca dos tomates apresentam resultados distintos acerca das mesmas variáveis, segundo Melo et al. (2006), essa ausência de padronização em diferentes amostras possivelmente ocorra devido as diferentes características e mecanismos de ação dos compostos bioativos das amostras, os reagentes utilizados, os princípios dos métodos ou possíveis erros analíticos. Resultados parecidos já foram encontrados por Pellegrini et al.

(2003), analisando a atividade antioxidante de diferentes extratos vegetais, onde os resultados das análises não seguiram a mesma ordem nos métodos FRAP e ABTS.

#### 4.5 TAXA DE RESPIRAÇÃO

Para o ensaio com AM os resultados da taxa de respiração dos tomates ‘BRS Nagai’ são apresentados na Figura 17. Houve aumento da taxa de respiração dos frutos durante o armazenamento, com pico de produção de CO<sub>2</sub> no 14º dia de armazenamento. Entretanto, tomates armazenados com AM apresentaram taxa de respiração ( $P < 0,01$ ) mais elevada do que o controle, especialmente no 14º dia de armazenamento (2,46 e 1,80  $\mu\text{g CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente), diferente do esperado para órgãos vegetais submetidos a embalagem de AM. O aparecimento de patógenos nos tomates embalados pode ter contribuído para o maior estresse fisiológico nos tomates, levando a uma maior taxa respiratória.

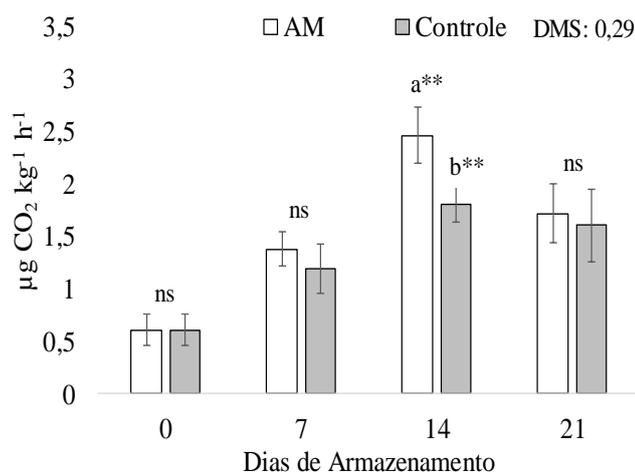


Figura 17 - Taxa de respiração de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente (25 °C ± 4).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

A elevação da atividade respiratória ocorrida durante o armazenamento está muito associada ao avanço da senescência, uma vez que os frutos foram armazenados já maduros, que neste caso foi favorecida devido a temperatura de armazenamento (25 °C ± 4). Nesta condição, há esgotamento dos substratos respiratórios conduzindo o fruto à morte celular.

Segundo D’Aquino et al. (2016), o armazenamento de tomates com AM é eficiente sob refrigeração, mas neste caso, o ambiente com temperatura elevada pode ter influenciado processos deteriorativos conduzindo a uma elevação da taxa de respiração, tornando a

permeabilidade do filme plástico da embalagem incapaz de manter uma atmosfera favorável ao armazenamento. Isso indica que o filme plástico utilizado na AM foi desfavorável para a conservação dos tomates para o armazenamento em temperatura ambiente.

Durante o período de armazenamento foi verificado acúmulo de umidade no interior da embalagem, fato que contribuiu para o desenvolvimento microbiano verificado a partir do 14º dia de armazenamento em frutos embalados, contribuindo para o pico respiratório no momento da avaliação.

No ensaio com CT (Figura 18), a taxa de respiração dos tomates ‘Sweet Grape’ em ambos os tratamentos se manteve estável até o 3º dia. Entretanto, no 6º dia de armazenamento houve redução da produção de CO<sub>2</sub> nos tomates controle, onde o CT influenciou em uma taxa respiratória superior ( $P < 0,05$ ) em relação ao controle, (1,11 e 0,87  $\mu\text{g CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente).

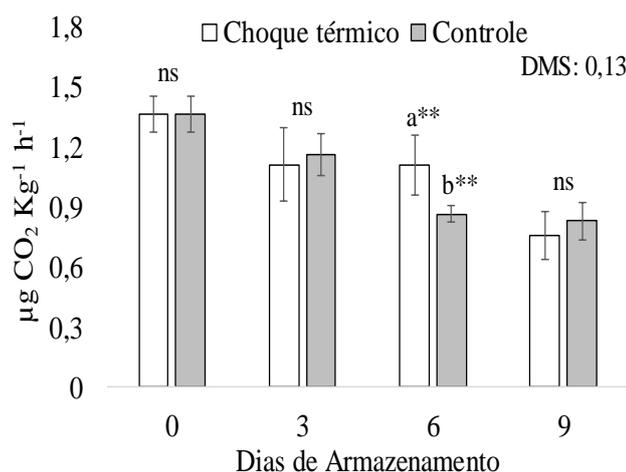


Figura 18 - Taxa de respiração de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 4$ ).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

Os dados demonstram que o estresse fisiológico do CT manteve a atividade respiratória dos tomates próxima ao nível inicial até o 6º dia de armazenamento, enquanto no controle houve redução. Essa maior atividade respiratória dos tomates esteve relacionado com uma maior concentração de  $\beta$ -caroteno da casca dos frutos (Figura 6B), mas para ácido ascórbico (Figura 8) e compostos fenólicos totais da polpa (Figura 10A) foi verificado redução dos conteúdos.

#### 4.6 PERDA DE MASSA FRESCA

No ensaio com AM, os resultados referentes a perda de massa fresca são apresentados na Figura 19. Os tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM apresentaram perda de massa fresca inferior ( $P<0,01$ ) (5,68 %) em relação ao controle (6,72 %) no final do armazenamento. No entanto, a maior perda de massa fresca ocorreu nos frutos que respiraram menos, conforme a análise da taxa de respiração (Figura 17). Possivelmente o ambiente da AM mais saturado de umidade associado a temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ) tenha favoreceu a proliferação de patógenos nos tomates com AM, fazendo com que estes tivessem sua taxa respiratória aumentada.

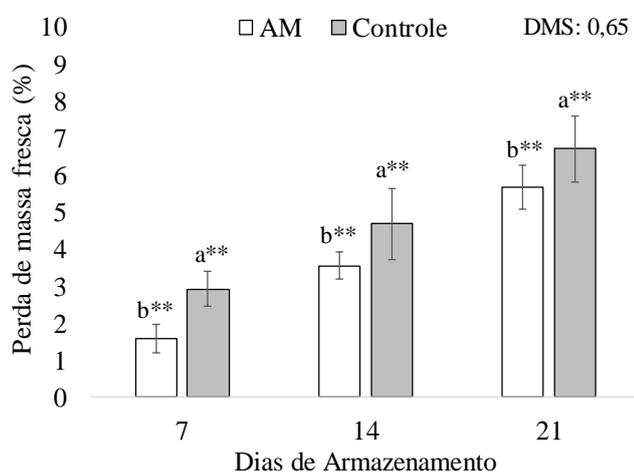


Figura 19 - Perda de massa fresca de tomates ‘BRS Nagai’ armazenados com AM e sem AM (controle) em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

A respiração está diretamente relacionada a transpiração devido a produção de energia térmica durante o processo respiratório, que se reflete na maior perda de vapor de água através da transpiração, principal fator de perda de massa, e consequentemente de murcha, enrugamento e perda de brilho do fruto (XANTHOPOULOS et al., 2017; CHITARRA; CHITARRA, 2005), porém, este padrão não foi observado neste ensaio.

No ensaio com CT (Figura 20) foi verificado maior perda de massa fresca dos tomates ‘Sweet Grape’ tratados no 6° ( $P<0,05$ ) e 9° dia ( $P<0,01$ ) de armazenamento. Tomates tratados com CT apresentaram perda de massa fresca total de 11,56%, enquanto tomates do controle perderam 9,18% de massa fresca aos 9 dias de armazenamento. O CT proporcionou maior taxa respiratória (Figura 18) e maior perda de massa fresca, mostrando que a perda de umidade se

relacionou com a maior taxa respiratória, corroborando com Chitarra e Chitarra (2005), como citado anteriormente.

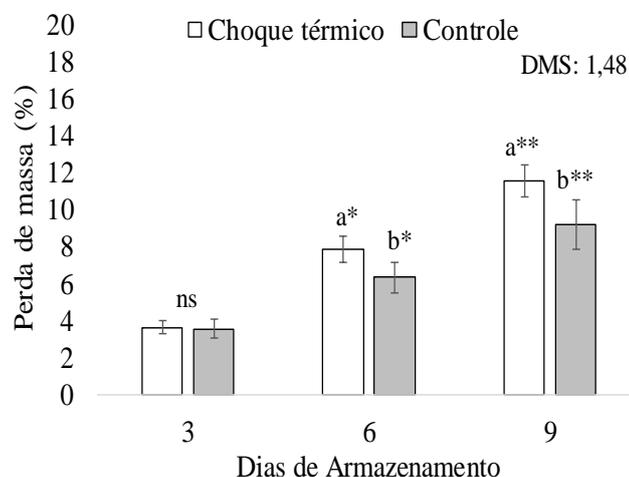


Figura 20 – Perda de massa fresca de tomates ‘Sweet Grape’ tratados e não tratados (controle) com choque térmico armazenados em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ).

Barras verticais se referem ao desvio padrão do tratamento em cada tempo de armazenamento; \*significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\*significativo a 1% de probabilidade de erro; letras minúsculas demonstram diferença estatística entre os tratamentos.

O estresse causado pelo tratamento térmico proporcionou maior perda de massa fresca nos tomates, como já observado por Boonkorn (2016) em seu trabalho. Provavelmente a maior atividade metabólica associada ao estresse causado pelo CT seria a causa da maior perda de massa fresca em frutos submetidos a esse tratamento. Porém, apesar da maior perda de umidade, os tomates tratados termicamente não demonstraram sintomas de murchamento ou desidratação, apresentando boa aparência até o 9º dia de armazenamento.

O armazenamento em AM em temperatura ambiente foi eficaz apenas na retenção do  $\beta$ -caroteno na polpa e no seu aumento na casca dos tomates ‘BRS Nagai’ até os 14 dias de armazenamento, sendo, portanto, um indicativo de seja esse um prazo limite para o consumo deste produto. A AM também foi responsável pela menor perda de massa fresca em todos os tempos avaliados, enquanto demais compostos analisados apresentaram queda de seus conteúdos durante o armazenamento em AM, que na condição de temperatura ambiente, não foi eficiente na manutenção do perfil antioxidante dos tomates avaliados.

O tratamento de CT, por sua vez, foi eficaz no aumento dos parâmetros  $\beta$ -caroteno, no aumento da atividade antioxidante DPPH na casca, na retenção da atividade antioxidante ABTS e FRAP na polpa dos tomates ‘Sweet Grape’. Entretanto, os tomates tratados apresentaram maior taxa de respiração e perda de massa fresca, porém, não suficiente para afetar a qualidade visual dos frutos. Desta forma, o tratamento térmico pós-colheita aplicado foi mais eficaz na

manutenção do perfil antioxidante dos frutos, sendo uma técnica interessante para manter a qualidade nutricional de tomates frescos.

Através da análise de correlação realizada, foi possível observar que a atividade antioxidante do ácido ascórbico esteve mais relacionada ao método de análise de atividade antioxidante DPPH, enquanto a atividade antioxidante dos compostos fenólicos totais e do  $\beta$ -caroteno da casca estão associados ao método ABTS. Por outro lado, não foi possível verificar correlação positiva entre os compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno da polpa com nenhum dos métodos realizados, que pode estar relacionado com os menores teores dos compostos analisados presentes na polpa.

## 5 CONCLUSÕES

O uso de embalagem de AM sob temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4$ ) foi eficiente apenas na retenção do conteúdo de  $\beta$ -caroteno e na menor perda de massa fresca, enquanto os demais parâmetros não foram influenciados positivamente pela AM na retenção ou aumento da atividade antioxidante na polpa e na casca de tomates 'BRS Nagai'. Portanto, a AM associada a temperatura ambiente foi ineficaz na melhora do perfil antioxidante de tomates. O tratamento de CT com água quente ( $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ), por sua vez, foi capaz de aumentar o teor de  $\beta$ -caroteno e a atividade antioxidante DPPH da casca, e atuou na retenção da atividade antioxidante ABTS e FRAP na polpa dos tomates 'Sweet Grape', contribuindo para a manutenção do perfil antioxidante dos frutos. Embora o CT tenha contribuído para uma maior taxa respiratória e perda de massa fresca, estas não afetaram os aspectos visuais dos tomates. Portanto, o tratamento térmico, além de ser uma técnica de conservação pós-colheita de baixo custo e de simples aplicação, foi favorável na manutenção do perfil antioxidante de tomates.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 601 p.
- AVALOS-LLANO, K. R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. Effect of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut strawberries. **Food Chemistry**, Norwich, v. 264, n. 1, p. 393-400, out. 2018.
- BASSAL, M.; EL-HAMAHMY, M. Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 60, n. 3, p. 186-191, jun. 2011.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 31 n. 4, p. 507-513, out./dez. 1988.
- BOCKUVIENE, A.; SEREIKAITĖ, J. Preparation and characterization of novel water-soluble  $\beta$ -carotene chitoooligosaccharides complexes. **Carbohydrate Polymers**, Tenbury Wells, v. 225, 115226, dez. 2019.
- BOONKORN, P. Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. **International Food Research Journal**, Seri Kembangan, v. 23, n. 3, p. 934-938, 2016.
- BRACKMANN, A.; STEFFENS, C. A.; SESTARI, I.; NEUWALD, D. A.; GIEHL, R. F. H. Armazenamento em atmosfera modificada e controlada de banana 'prata' com absorção de etileno. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 914-919, set./out. 2006.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, Athens, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.
- BUETTNER, G. R.; SCHAFER, F. Q. Ascorbate as an antioxidant. In: ASARD, H.; MAY, J. M.; SMIRNOFF, N. (Ed.) **Vitamin C: function and biochemistry in animals and plants**. London: Taylor & Francis, 2004. cap. 10, p. 191-208.
- BURZLE, M.; SUZUKI, Y.; ACKERMANN, D.; MIYAZAKI, H.; MAEDA, N.; CLÉMENÇON, B.; BURRIER, R.; HEDIGER, M. A. The sodium-dependent ascorbic acid transporter family SLC23. **Molecular Aspects of Medicine**, Boston, v. 34, n. 2-3, p. 436-454, abr./jun. 2013.
- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Antioxidants: reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. **Trends in Food Science & Technology**, Norwich, v. 71, n. 1, p. 107-120, jan. 2018.

CASTELLANOS, D. A.; CERISUELO, J. P.; HERNANDEZ-MUÑOZ, P.; HERRERA, A. O.; GAVARA, R. Modelling the evolution of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations in MAP of a fresh product: application to tomato. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 168, n. 1, p. 84-95, jan. 2016.

CHARLES, M. T.; TANO, K.; ASSELIN, A.; ARUL, J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: V. constitutive defense enzymes and inducible pathogenesis-related proteins. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 51, n. 3, p. 414-424, mar. 2009.

CHENG, K. C.; WU, J. Y.; LIN, J. T.; LIU, W. H. Enhancements of isoflavone aglycones, total phenolic content, and antioxidant activity of black soybean by solid-state fermentation with *Rhizopus* spp. **European Food Research and Technology**, Dresden, v. 236, n. 6, p. 1107-1113, jun. 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CHITRAVATHI, K.; CHAUHAN, O. P.; RAJU, P. S. Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.). **Food Packaging and Shelf Life**, Awantipora, v. 4, n. 1, p. 1-9, jun. 2015.

COUSO, I.; VILA, M.; VIGARA, J.; CORDERO, B. F.; VARGAS, M. Á.; RODRÍGUEZ, H.; LEÓN, R. Synthesis of carotenoids and regulation of the carotenoid biosynthesis pathway in response to high light stress in the unicellular microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. **European Journal of Phycology**, London, v. 47, n. 3, p. 223-232, ago. 2012.

D'AQUINO, S.; MISTRITOTIS, A.; BRIASSOULIS, D.; LORENZO, M. L. D.; MALINCONICO, M.; PALMA, A. Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20 °C. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 115, n. 1, p. 103-112, mai. 2016.

DJIOUA, T.; CHARLES, F.; LOPEZ-LAURI, F.; FILGUEIRAS, H.; COUDRET, A.; FREIRE JR, M.; DUCAMP-COLLIN, M. N.; SALLANON, H. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 52, n. 2, p. 221-226, mai. 2009.

ELBADRAWY, E.; SELLO, A. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. **Arabian Journal of Chemistry**, Riyadh, v. 9, supplement 2, p. 1010-1018, nov. 2016.

ENDO, H.; MIYAZAKI, K.; OSE, K.; IMAHORI, Y. Hot water treatment to alleviate chilling injury and enhance ascorbate glutathione cycle in sweet pepper fruit during postharvest cold storage. **Scientia Horticulturae**, Viterbo, v. 257, n. 1, 108715, nov. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, dez. 2011.

FRANCESCO, A. D.; MARI, M.; ROBERTI, R. Defense response against postharvest pathogens in hot water treated apples. **Scientia Horticulturae**, Viterbo, v. 227, n. 1, p. 181-186, jan. 2018.

GARCÍA-VALVERDE, V.; NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; GARCÍA-ALONSO, J.; PERIAGO, M. J. Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars. **Food Bioprocess Technology**, Dublin, v. 6, n. 2, p. 391-402, fev. 2013.

GHASEMNEZHAD, M.; ZARED, S.; RASSA, M.; SAJEDI, R. H. Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Davis, v. 93, n. 2, p. 368-374, jan. 2013.

GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, Rome, v. 28, n. 1, p. 9-19, jan. 2012.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; VILLA-RODRIGUES, J. A.; AYALA-ZAVALA, J. F.; YAHIA, E. M. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Trends in Food Science and Technology**, Norwich, v. 21, n. 10, p. 475-482, out. 2010.

GRACE, S. C. Phenolics as antioxidants. In: ASARD, H.; MAY, J. M.; SMIRNOFF, N. (Ed.) **Vitamin C: function and biochemistry in animals and plants**. London: Taylor & Francis, 2004. cap. 6, p. 141-168.

IMAHORI, Y. Role of ascorbate peroxidase in postharvest treatments of horticultural crops. In: AHMAD, P. (Ed.). **Oxidative damage to plants: antioxidants networks and signaling**. Srinagara: S.P. College, 2014. cap. 14, p. 425-451.

KELEBEK, H.; SELLI, S.; KADIROGLU, P.; KOLA, O.; KESEN, S.; UÇAR, B.; ÇETINER, B. Bioactive compounds and antioxidant potential in tomato pastes as affected by hot and cold break process. **Food Chemistry**, Norwich, v. 220, n. 1, p. 31-41, abr. 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431 p.

KESHRI, N.; TRUPPEL, I.; HERPPICH, W. B.; GEYER, M.; WELTZIEN, C.; MAHAJAN, P. V. Development of sensor system for real-time measurement of respiration rate of fresh produce. **Computers and Electronics in Agriculture**, Gainesville, v. 157, n. 1, p. 322-328, fev. 2019.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, jul./ago. 2006.

LESTER, G. E. Oxidative stress affecting fruit senescence. In: HODGES, D. M. (Ed.). **Postharvest oxidative in horticultural crops**. New York: Food Products Press, 2003. cap. 6, p. 113-125.

LI, L.; BAN, Z.; LI, X.; WANG, X.; GUAN, J. Phytochemical and microbiological changes of honey pomelo (*Citrus grandis* L.) slices stored under super atmospheric oxygen, low-oxygen and passive modified atmospheres. **International Journal of Food Science & Technology**, Christchurch, v. 47, n. 10, p. 2205-2211, jul. 2012.

LI, T.; ZHANG, M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window on the quality of stored green asparagus (*Asparagus officinalis* L) spears. **LWT –Food Science and Technology**, Athens, v. 60, n. 2, p. 1046-1053, mar. 2015.

LIU, C.; LIU, W.; CHEN, W.; YANG, J.; ZHENG, L. Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit. **Food Chemistry**, Norwich, v. 173, n. 1, p. 482-488, abr. 2015a.

LIU, H.; MENG, F.; CHEN, S.; YIN, T.; HU, S.; SHAO, Z.; LIU, Y.; ZHU, C.; YE, H.; WANG, Q. Ethanol treatment improves the sensory quality of cherry tomatoes stored at room temperature. **Food Chemistry**, Norwich, v. 298, n. 1, p. 1-7, nov. 2019.

LIU, L.; SHAO, Z.; ZHANG, M.; WANG, Q. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. **Molecular Plant**, Shanghai, v. 8, n. 1, p. 28-39, jan. 2015b.

LOAYZA, F. E.; BRECHT, J. K.; SIMONNE, A. H.; PLOTTO, A.; BALDWIN, E. A.; BAI, J.; LON-KAN, E. Enhancement of the antioxidant capacity of ripe tomatoes by the application of a hot water treatment at the mature-green stage. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 161, n. 1, 111054, mar. 2020.

LURIE, S. Antioxidants. In: HODGES, D. M. (Ed.). **Postharvest oxidative in horticultural crops**. New York: Food Products Press, 2003. cap. 7, p. 131-144.

LURIE, S.; PEDRESCHI, R. Fundamental aspects of postharvest heat treatments. **Horticulture Research**, Nanjing, v. 1, n. 1, p. 14030, jun. 2014.

LUSHCHAK, V. I. Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. **Chemico-Biological Interactions**, Konstanz, v. 224, n. 1, p. 164-175, dez. 2014.

LUVIELMO, M. M.; LAMAS, S. V. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 8-15, jan./jun. 2012.

MAGALHÃES, L. M.; SEGUNDO, M. A.; REIS, S.; LIMA, J. L. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. **Analytica Chimica Acta**, Geelong, v. 613, n. 1, p. 1-19, abr. 2008.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; LEAL, F. L. L.; CAETANO, A. C. S.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de hortaliças usualmente consumidas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 639-644, 2006.

MENG, D.; ZHANG, P.; ZHANG, L.; WANG, H.; HO, C. T.; LI, S.; SHAHIDI, F.; ZHAO, H. Detection of cellular redox reactions and antioxidant activity assays. **Journal of Functional Foods**, Wageningen, v. 37, n. 1, p. 467-479, out. 2017.

MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoides: propriedades, aplicações e mercado. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 2, p. 672-688, abr. 2017.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, Songkla, v. 26, n. 2, p. 211-219, mar. 2004.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, Ames, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, out. 2004.

NEHA, K.; HAIDER, M. R.; PATHAK, A.; YAR, S. Medicinal prospects of antioxidants: a review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, Paris, v. 178, n. 1, p. 687-704, set. 2019.

NG, Z. X.; KUPPUSAMY, U. R. Effects of different heat treatments on the antioxidant activity and ascorbic acid content of bitter melon, *Momordica charantia*. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 1-9, nov. 2019.

NOUR, V.; PANAITI, T. D.; ROPOTA, M.; TURCU, R.; TRANDAFIR, I.; CORBU, A. R. Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste. **CyTa – Journal of Food**, London, v. 16, n. 1, p. 222-229, jan. 2018.

OLIVEIRA, A. C.; PINTO, C. A. S. O.; BABY, A. R.; BEDIN, V.; VELASCO, M. V. R. Efeitos do ácido ascórbico no combate ao envelhecimento cutâneo. **BWS Journal**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-7, abr. 2018.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidants: characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, São Paulo, v. 74, n. 1, p. 10-36, ago. 2015.

PAN, X.; WELTI, R.; WANG, X. Simultaneous quantification of major phytohormones and related compounds in crude plant extracts by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. **Phytochemistry**, Nantes, v. 69, n. 8, p. 1773-1781, mai. 2008.

PELLEGRINI, N.; SERAFINI, M.; COLOMBI, B.; DEL RIO, D.; SALVATORE, M. B.; BRIGHENTI, F. Total antioxidant capacity of plants foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 133, p. 2812-2819, 2003.

PINELA, J.; PRIETO, M. A.; BARREIRO, M. F.; CARVALHO, A. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; VÁZQUEZ, J. A.; FERREIRA, I. C. F. R. Optimization of microwave-assisted extraction of hydrophilic and lipophilic antioxidants from a surplus tomato crop by response surface methodology. **Food and Bioproducts Processing**, London, v. 98, n. 1, p. 283-298, abr. 2016.

PISOSCHI, A. M.; POP, A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, Paris, v. 97, n. 1, p. 55-74, jun. 2015.

RÉ, M. D.; GONZALEZ, C.; ESCOBAR, M. R.; SOSSI, M. L.; VALLE, E. M.; BOGGIO, S. B. Small heat shock proteins and the postharvest chilling tolerance of tomato fruit. **Physiologia Plantarum**, Uppsala, v. 159, n. 2, p. 148-160, fev. 2017.

ROMANAZZI, G.; SMILANICK, J. L.; FELIZIANI, E.; DROBY, S. Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 113, n. 1, p. 69-76, mar. 2016.

ROMERO, I.; CASILLAS-GONZALEZ, A. C.; CARRAZANA-VILLALBA, S. J.; ESCRIBANO, I.; MERODIO, C.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T. Impact of high CO<sub>2</sub> levels on heat shock proteins during postharvest storage of table grapes at low temperature. Functional *in vitro* characterization of VVIHSP18.1. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 145, n. 1, p. 108-116, nov. 2018.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado Técnico Online**, Fortaleza, v. 125, p. 1-4, dez. 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>. **Comunicado Técnico Online**, Fortaleza, v. 128, p. 1-4, jul. 2007.

SANCHEZ-BEL, P.; EGEEA, I.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T.; SEVILLANO, L.; BOLARON, M. D. C.; FLORES, F. B. Proteome changes in tomato fruits prior to visible symptoms of chilling injury are linked to defensive mechanisms, uncoupling of photosynthetic processes and protein degradation machinery. **Plant and Cell Physiology**, Chikusa-ku, v. 53, n. 2, p. 470-484, fev. 2012.

SCHARF, K. D.; BERBERICH, T.; EBERSBERGER, I.; NOVER, L. The plant heat stress transcription factor (Hsf) family: structure, function and evolution. **Biochimica et Biophysica Acta**, Pennsylvania, v. 1819, n. 2, p. 104-119, fev. 2012.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, Wageningen, v. 18, part B, p. 757-781, out. 2015.

SIRIPATRAWAN, U.; HARTE, B. R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 24, n. 8, p. 770-775, nov./dez. 2010.

SONG, H. Y.; MOON, T. W.; CHOI, S. J. Impact of antioxidant on the stability of  $\beta$ -carotene in model beverage emulsions: role of emulsion interfacial membrane. **Food Chemistry**, Norwich, v. 279, n. 1, p. 194-201, mai. 2019.

SOTO-ZAMORA, G.; YAHIA, E. M.; BRECHT, J. K.; GARDEA, A. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. **LWT - Food Science and Technology**, Athens, v. 38, n. 6, p. 657-663, set. 2005.

SOUSA, A. R.; OLIVEIRA, J. C.; SOUSA-GALLAGHER, M. J. Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 206, n. 1, p. 13-22, ago. 2017.

STAJCIC, S.; CETKOVIC, G.; CANADANOVIC-BRUNET, J.; DJILAS, S.; MANDIC, A.; CETOJEVIC-SIMIN, D. Tomato waste: carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. **Food Chemistry**, Norwich, v. 172, n. 1, p. 225-232, abr. 2015.

STRACK, D. Phenolic metabolism. In: DEY, P.; HARBORNE, J. B. (Ed.). **Plant biochemistry**. London: Academic Press, 1997. p. 387-416.

TOIVONEN, P. M. A. Effects of storage conditions and postharvest procedures on oxidative stress in fruits and vegetables. In: HODGES, D. M. (Ed.). **Postharvest oxidative in horticultural crops**. New York: Food Products Press, 2003. cap. 4, p. 69-81.

TOOR, R. K.; SAVAGE, G. P. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. **Food Research International**, Campinas, v. 38, n. 5, p. 487-494, jun. 2005.

USALL, J.; IPPOLITO, A.; SISQUELLA, M.; NERI, F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Leuven, v. 122, n. 1, p. 30-40, dez. 2016.

VALERO, D.; SERRANO, M. **Postharvest biology and technology for preserving fruit quality**. CRC Press -Taylor & Francis, Boca Raton, 2010. 288 p.

VINHA, A. F.; ALVES, R. C.; BARREIRA, S. V. P.; CASTRO, A.; COSTA, A. S. G.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. **LWT - Food Science and Technology**, Athens, v. 55, n. 1, p. 197-202, jan. 2014.

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Phenolic Compounds: structure, classification, and antioxidant power. In: CAMPOS, M. R. S. (ed.). **Bioactive compounds: health benefits and potential applications**. Woodhead Publishing, p. 33-50, 2019.

WISMER, W. V. Low temperature as a causative agent of oxidative stress in postharvest crops. In: HODGES, D. M. (Ed.). **Postharvest oxidative in horticultural crops**. New York: Food Products Press, 2003. cap. 6, p. 55-65.

XANTHOPOULOS, G. T.; TEMPLALEXIS, C. G.; ALEIFERIS, N. P.; LENTZOU, D. I. The contribution of transpiration and respiration in water loss of perishable agricultural products: the case of pears. **Biosystems Engineering**, Hexham, v. 158, n. 1, p. 76-85, jun. 2017.

YE, Z. W.; ZHANG, J.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. Oxidative stress, redox regulation and diseases of cellular differentiation. **Biochimica et Biophysica Acta**, North Carolina, v. 1850, n. 8, p. 1607-1621, ago. 2015.

ZHANG, M.; LIU, W.; LI, C.; SHAO, T.; JIANG, X.; ZHAO, H.; AI, W. Postharvest hot water dipping and hot water forced convection treatments alleviate chilling injury for zucchini fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, Viterbo, v. 249, n. 1, p. 219-227, abr. 2019.

ZUCOLOTO, M.; ANTONIOLLI, L. R.; SIQUEIRA, D. L.; CZERMAINSKI, A. B. C. Extended cold storage of winter pears by modified atmosphere packaging. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, n. 1, p. 1-10, mar. 2015.