

RAQUEL CARLOS FERNANDES

**QUALIDADE DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK' ARMAZENADAS SOB
REFRIGERAÇÃO COM 1-MCP E EM PRESSÕES PARCIAIS BAIXAS,
ULTRABAIXAS E EXTREMAMENTE BAIXAS DE O₂**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens

**LAGES, SC
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração
automática da Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Fernandes, Raquel

Qualidade de maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob refrigeração com 1-MCP e em pressões parciais baixas, ultrabaixas e extremamente baixas de O₂ / Raquel Fernandes. -- 2020.

86 p.

Orientador: Cristiano André Steffens

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação , Lages, 2020.

1. Malus domestica (Borkh). 2. maturação. 3. atividade antioxidante. 4. compostos voláteis. I. Steffens, Cristiano André. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . III. Título.

RAQUEL CARLOS FERNANDES

**QUALIDADE DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK' ARMAZENADAS SOB
REFRIGERAÇÃO COM 1-MCP E EM PRESSÕES PARCIAIS BAIXAS,
ULTRABAIXAS E EXTREMAMENTE BAIXAS DE O₂**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Banca examinadora

Orientador: _____

Professor Dr. Cristiano André Steffens

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias (CAV-UDESC)

Membro: _____

Professor Dr. Cassandro Vidal Talamini do Amarante

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias (CAV-UDESC)

Membro: _____

Professor Dr. Vanderlei Both

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Lages, SC, 27 de fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todos os dias abençoados.

À minha família, pelas palavras e gestos de incentivo.

Ao meu orientador professor Cristiano, pela paciência, ensinamentos e dedicação que sempre demonstrou.

Aos demais professores, que também foram responsáveis pela minha formação acadêmica e pessoal.

Aos amigos e colegas, que, nos momentos de trabalho e descanso, tornaram esta caminhada mais leve.

À UDESC, pelo ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES e FAPESC pela concessão da bolsa e ao Programa de Apoio a Pesquisa UDESC/FAPESC pelo auxílio financeiro para a execução do projeto.

À Agropecuária Schio, pelo fornecimento dos frutos.

RESUMO

FERNANDES, Raquel Carlos. **Qualidade de maçãs ‘Cripps Pink’ armazenadas sob refrigeração com 1-MCP e em pressões parciais baixas, ultrabaixas e extremamente baixas de O₂**. 2020. 86 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Biologia e Tecnologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2020.

Maçãs ‘Cripps Pink’ possuem um grande potencial de armazenamento quando submetidas a condições de atmosfera controlada (AC). A manutenção da qualidade também pode ser prolongada com o uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de 1-MCP e de pressões parciais de oxigênio [baixas (2 kPa), ultrabaixas (1,0 kPa) e extremamente baixas (0,6 e 0,25 kPa)] sobre a qualidade organoléptica, atividade antioxidante total e o perfil de compostos voláteis de maçãs ‘Cripps Pink’. Os tratamentos utilizados foram 21,0 kPa de O₂ (armazenamento refrigerado; AR), 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂, 0,25 kPa de O₂ e AR com aplicação de 1-MCP (1,0 µL L⁻¹). Em todas as condições de armazenamento a pressão parcial de CO₂ permaneceu <0,5 kPa. Os frutos foram armazenados por 4,5 e 8 meses a 1,5±0,2 °C e 92±0,4% de UR. O experimento foi conduzido em um esquema fatorial 6 x 2 (seis condições de armazenamento e dois períodos de armazenamento). Os frutos foram avaliados quanto aos atributos físico-químicos, taxas respiratória e de produção de etileno, ocorrência de escaldadura, polpa farinácea e doenças, atividade antioxidante total e teor de compostos fenólicos totais da casca e polpa e perfil de compostos voláteis. De maneira geral, os frutos tratados com 1-MCP apresentaram redução da taxa respiratória e da produção de etileno, menores índices de escaldadura e polpa farinácea e maior número de frutos sadios quando armazenados por 4,5 meses. Após o armazenamento prolongado (8 meses), frutos armazenados na pressão parcial de 0,6 kPa de O₂ apresentaram maior número de frutos sadios, menor ocorrência de distúrbios fisiológicos (polpa farinácea, escaldadura superficial e oleosidade da epiderme), embora tenham apresentado maiores índices de escurecimento de polpa. A atividade antioxidante total e teor de compostos fenólicos totais foram mais elevados nas pressões parciais de oxigênio extremamente baixas (0,6 e 0,25 kPa). A pressão parcial de 0,25 kPa induziu a respiração anaeróbica, resultando em acúmulo de etanol nos frutos, em ambos os períodos de armazenamento. Foram detectados 57 diferentes compostos aromáticos no perfil de compostos voláteis após 8 meses de armazenamento, classificados principalmente em ésteres, aldeídos e álcoois. Os ésteres foram responsáveis pela maioria dos compostos identificados, e não foram afetados pelo uso de 1-MCP. Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram reduções na composição de alguns álcoois como 1-butanol e 1-hexanol. A AC nas pressões extremamente baixas de O₂ (0,6 e 0,25 kPa) reduziu a emissão de alguns ésteres como o acetato de butila, acetato de hexila e acetato de amila e o sesquiterpeno α-farneseno, que está relacionado com a incidência de escaldadura superficial. Não foram observadas alterações significativas na composição dos aldeídos.

Palavras-chave: *Malus domestica* (Borkh), maturação, atividade antioxidante, compostos voláteis.

ABSTRACT

FERNANDES, Raquel Carlos. **Quality of 'Cripps Pink' apples in cold storage with 1-MCP and at low, ultralow and extremely low oxygen partial pressures.** 2020. 86 p. Dissertation (Master's degree in Plant Production – Post-Harvest Physiology Area) – State of Santa Catarina University. Postgraduate Program in Plant Production, Lages, 2020.

'Cripps Pink' apples have great storage potential when subjected to controlled atmosphere conditions (CA). Quality maintenance can also be extended with additional technologies to storage techniques, such as the use of 1-methylcyclopropene (1-MCP). The objective of this work was to evaluate the effect of 1-MCP application and oxygen partial pressures [low (2.0 kPa), ultra-low (1.0 kPa) and extremely low (0.6 and 0.25 kPa)] on the organoleptic quality, total antioxidant activity and the volatile compound profile of 'Cripps Pink' apples. The treatments evaluated were 21.0 kPa of O₂ (cold storage; CS), 2 kPa of O₂, 1 kPa of O₂, 0.6 kPa of O₂, 0.25 kPa of O₂ and CS with 1-MCP application (1,0 µL L⁻¹). In all storage conditions, the CO₂ partial pressure remained <0.5 kPa. The fruit were stored for 4,5 and 8 months at 1,5 ± 0,2 °C and 92 ± 0,4% RH. The experiment was conducted in a factorial scheme 6 x 2 (six storage conditions and two storage periods). The fruits were evaluated for physical-chemical attributes, respiratory and ethylene production rates, superficial scald, mealiness and diseases, total antioxidant activity, total phenolic compounds, and profile of volatile compounds. In general, fruits treated with 1-MCP showed a reduction in respiratory rate and ethylene production, lower mealiness and a higher number of healthy fruits when stored for 4.5 months. After 8 months of storage partial pressure of 0.6 kPa of O₂ showed a greater number of healthy fruits and lower occurrence of physiological disorders (mealiness, superficial scald and greasiness), although it had higher flesh browning incidence. Total antioxidant activity and phenolic compounds were higher at the extremely low partial pressures of oxygen (0.6 and 0.25 kPa). The partial pressure of 0.25 kPa induced anaerobic respiration, resulting in ethanol accumulation in the fruits in both storage periods. 57 different volatile compounds were detected after 8 months of storage, classified mainly in esters, aldehydes and alcohols. Esters were responsible for most of the compounds identified, and were not affected by 1-MCP. Alcohols 1-butanol and 1-hexanol were reduced by 1-MCP. Esters butyl acetate, hexyl acetate and amyl acetate and sesquiterpene α-farnesene, which is related to incidence of superficial scald, were reduced by CA storage with extremely low oxygen partial pressure (0.6 and 0.25 kPa of O₂). There were no significant changes in the composition of the aldehydes.

Keywords: *Malus domestica* (Borkh), ripening, antioxidant activity, volatile compounds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Ângulo *hue* (h°) da cor de fundo em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento..... 43
- Figura 2 - Ângulo *hue* (h°) da cor de fundo em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 44
- Figura 3 - Oleosidade da epiderme em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento..... 52
- Figura 4 - Oleosidade da epiderme em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 53

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e taxa respiratória ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 42
- Tabela 2 - Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente. 45
- Tabela 3 - Relação SS/AT (*rátio*) e porcentagem de frutos sadios em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente. 46
- Tabela 4 - Incidência de podridões em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 47
- Tabela 5 - Incidência de escaldadura superficial em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente. 49
- Tabela 6 - Incidência de polpa farinácea e escurecimento de polpa em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente. 50
- Tabela 7 - Produção de acetaldeído, etanol e acetato de etila em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 55
- Tabela 8 - Teor de compostos fenólicos totais ($\text{mg EAG } 100\text{g}^{-1}$ de massa fresca) na polpa e casca em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 57

Tabela 9 - Atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca na polpa e casca em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente..... 59

Tabela 10 - Perfil de compostos voláteis ($\mu\text{g L}^{-1}$) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos em condição ambiente. 65

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

1-MCP	1-metilciclopropeno
AR	Armazenamento refrigerado
AC	Atmosfera controlada
O ₂	Oxigênio
CO ₂	Dióxido de carbono
kPa	Quilo Pascal
ULO	Ultra Low Oxygen (Oxigênio Ultra Baixo)
C ₂ H ₄	Etileno
N ₂	Nitrogênio
Ca (OH) ₂	Cal hidratada
°C	Graus celsius
UR	Umidade Relativa
SS	Sólidos Solúveis
NaOH	Hidróxido de sódio
CFT	Compostos Fenólicos Totais
AAT	Atividade Antioxidante Total
ABTS	2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico
DPPH	2,2-difenil-1-picril hidrazil
Trolox	6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico
<i>h</i> °	Ângulo <i>hue</i>
C	Cromaticidade
L	Luminosidade
AT	Acidez titulável
SS/AT	Relação sólidos solúveis/acidez titulável
° Brix	Graus Brix
μMol	Micro Mol
g	Gramas
mg	Miligramas
mL	Mililitros
L	Litros
nm	Nanomol
μL L ⁻¹	Microlitro por litro

CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
CaCl ₂	Cloreto de cálcio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 CARACTERÍSTICAS DA MAÇÃ 'CRIPPS PINK'	23
2.2 ATMOSFERA CONTROLADA E ARMAZENAMENTO DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK'	24
2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS EM MAÇÃS	26
2.4 1-METILCICLOPROPENO.....	29
2.5 PERFIL AROMÁTICO	30
3 COMPOSTOS FENÓLICOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK' COM 1-MCP E PRESSÕES PARCIAIS BAIXAS, ULTRABAIXAS E EXTREMAMENTE BAIXAS DE O₂.....	33
3.1 RESUMO.....	33
3.2 INTRODUÇÃO	33
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.5 CONCLUSÕES	60
4 PERFIL AROMÁTICO DE MAÇÃS CRIPPS PINK ARMAZENADAS EM DIFERENTES PRESSÕES PARCIAIS DE OXIGÊNIO E TRATADAS COM 1-MCP.....	61
4.1 RESUMO.....	61
4.2 INTRODUÇÃO	61
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	63
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.5 CONCLUSÕES	70
5 CONCLUSÕES GERAIS	71
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de macieiras tem significativa relevância econômica em todo mundo. De acordo com a FAO (2019), a produção mundial de maçãs em 2017 foi estimada em mais de 80 milhões de toneladas, em uma área total de 4,9 milhões de hectares, aproximadamente. No Brasil, a produção atingiu cerca de 1,1 milhão de toneladas na safra 2017/18, com expansão de algumas áreas de cultivo nas regiões de Fraiburgo e São Joaquim, SC (BARROS et al., 2019). A exportação brasileira da fruta movimentou 52 milhões de dólares no ano de 2018, valor que correspondeu a um aumento de 25% em relação ao comércio do ano anterior, o que indica grande crescimento o setor (KIST et al., 2019).

Esta produção expressiva no mundo e no Brasil é resultado de tecnologias aplicadas à toda cadeia produtiva da fruta. Diante do grande volume de frutos produzido em uma janela curta de colheita, se torna necessário a aplicação de tecnologias associadas ao armazenamento refrigerado (AR), como a atmosfera controlada (AC) com baixo, ultrabaixo e extremamente baixo O_2 , e uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP), que se tornam vantajosas ao produtor e mercado consumidor, pois possibilita regular a oferta ao longo do ano, reduzindo perdas e regulando o preço de mercado do produto.

Em câmaras de AC, a composição gasosa da atmosfera é continuamente monitorada, em geral, com baixas pressões parciais de oxigênio e/ou altas pressões parciais de gás carbônico, além do controle da baixa temperatura do ambiente. O armazenamento de frutos e/ou vegetais nesta técnica exige um elevado capital de investimento e operacional, e por esse motivo, é comum utilizá-lo em produtos agrícolas com valores de mercado mais elevados, como a maçã (BODBODAK; MOSHFEGHIFAR, 2016).

Apesar de já ser utilizado por várias empresas, o armazenamento de maçãs em AC pode resultar em frutos com alterações fisiológicas que podem depreciar o produto, algumas ainda pouco compreendidas. Entre as variáveis que interferem diretamente na qualidade do produto final, estão as pressões parciais de O_2 e CO_2 dentro das câmaras, o tempo de armazenamento, a temperatura de armazenamento, as cultivares e possíveis outras técnicas aliadas, como o tratamento com 1-MCP, bem como o manejo adotado na produção dos frutos, o ponto de colheita e o local de produção.

Em maçãs 'Pink Lady', o armazenamento em AC mantém a qualidade dos frutos quando utilizadas pressões parciais de 1,5 kPa de O₂, associado com pressões de 2,0; 1,0 e < 0,5 kPa de CO₂, nas temperaturas de -0,5 e 0,5°C (BRACKMANN et al., 2005a). A tecnologia do 1-MCP também se mostrou vantajosa em clones de 'Pink Lady' pois segundo Williamson et al. (2018), manteve a firmeza de polpa e reduziu a produção de etileno dos frutos durante o armazenamento. Como resultado das diferentes combinações possíveis a serem adotadas no armazenamento, os frutos podem apresentar distintos atributos físico-químicos que são relevantes, e até mesmo determinantes, para a compra do fruto, pois ao longo dos últimos anos, o comportamento dos consumidores na escolha dos alimentos tem levado em consideração, além do preço, a qualidade e sanidade do produto e seu valor nutricional (NISSEN, 2018).

Os benefícios do consumo regular de maçãs para a saúde têm sido comprovados por diversas pesquisas em todo o mundo. Uma dieta que inclui a ingestão de maçã pode contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares (BONDONNO et al., 2017), no controle de diabetes e perda de peso (HYSON, 2011), e reduz o risco de câncer (JAGANATHAN, 2014) devido a sua constituição de polifenóis (TU; CHEN; HO, 2017). A alteração da composição de compostos fenólicos e sua atividade antioxidante em maçãs 'Galaxy', devido as condições de armazenamento, foi demonstrado por Stanger et al. (2018), indicando que técnicas de AC podem resultar em frutos com maior potencial de contribuição à saúde humana.

Além da alteração do valor nutricional, o perfil de compostos voláteis também pode ser modificado pela AC durante o armazenamento, refletindo na qualidade dos frutos. O perfil aromático na fase pós-colheita de maçãs já foi investigado em diferentes cultivares de maçãs, com diferentes condições de armazenamento (DONADEL et al., 2019; ANESE et al., 2020; SCHMIDT et al., 2020)

Apesar do avançado conhecimento sobre o efeito da AC com pressões extremamente baixas de O₂ e do 1-MCP em maçãs, de maneira geral, pouco se sabe sobre a influência dessas tecnologias no conteúdo de compostos fenólicos, na atividade antioxidante e no perfil de compostos voláteis em maçãs 'Cripps Pink'.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes pressões parciais de oxigênio em AC e do tratamento com 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre a

qualidade, a atividade antioxidante total, o conteúdo de compostos fenólicos e o perfil aromático em maçãs cultivar Cripps Pink.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DA MAÇÃ 'CRIPPS PINK'

A cultivar Cripps Pink é resultado do cruzamento das cultivares Golden Delicious e Lady Williams, e exige em média 400 a 500 horas de frio. Os frutos se caracterizam pela coloração rosa-avermelhada, sem estrias e sem russeting, além de possuírem maior acidez quando comparados as cultivares Fuji e Gala, apresentando sabor moderadamente ácido (FIORANÇO et al., 2011). Essa cultivar pode ser encontrada à venda sob o nome comercial 'Pink Lady®' (APAL, 2019). Contudo, maçãs 'Pink Lady®' podem ser produzidas e comercializadas apenas com licença autorizada, por ser uma marca registrada da empresa "Apple and Pear Australia Limited (APAL)". A empresa comercializa três cultivares da marca: os clones Cripps Pink, Rosy Glow e Lady in Red, que incluem padrões de qualidade determinados pela coloração da epiderme, teor de sólidos solúveis e ausência de defeitos, que as tornam integrantes da marca (APAL, 2019). Embora sejam clones, e tenham seu material genético muito semelhante, Williamson et al. (2018) afirmam que o comportamento pós-colheita de cada clone é diferente e deve ser levado em consideração.

Fioranço et al. (2011) avaliaram a produção de maçãs 'Pink Lady®', cultivar Cripps Pink, no município de Vacaria, RS, entre as safras de 2007/08 e 2010/11. De maneira geral, nesta região a floração ocorre durante os meses de setembro e outubro e a maturação dos frutos de abril a maio, ocorrendo em época mais tardia quando comparado a cultivar Fuji. Segundo os autores, este é um fator importante para a racionalização dos trabalhos e beneficiamento dos frutos. Seu ciclo dura, em média, 201 dias, o que pode ser um fator negativo no manejo de doenças, já que é mais longo que as demais cultivares avaliadas. Cultivada sobre o porta-enxerto M9, a 'Pink Lady®' se mostrou muito produtiva, superando a produtividade de 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema', podendo ser plantada em condução de líder central com alta densidade (3.333 plantas ha⁻¹).

2.2 ATMOSFERA CONTROLADA E ARMAZENAMENTO DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK'

A atmosfera controlada (AC) é uma técnica de armazenamento de frutos, utilizada no Brasil a partir de 1982. Este modo de armazenamento é um complemento do armazenamento refrigerado, onde, além do controle da temperatura e umidade das câmaras, tem-se o controle da composição atmosférica de oxigênio e gás carbônico no interior das câmaras. A concentração ideal dos gases para cada fruto é variável de acordo com a espécie ou cultivar. Este tipo de armazenamento pode ser utilizado para diferentes espécies vegetais, sendo mais comum para a conservação de maçã, caqui, banana, pêssigo e pera (BRACKMANN, 2007). Steffens et al. (2007) relataram que o uso da AC reduz a taxa respiratória em diferentes cultivares de pêssigo, caqui e maçã.

A manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AC é prolongada e é possível manter os frutos armazenados por mais tempo, pois as reduzidas pressões parciais de oxigênio e/ou altas de gás carbônico atuam no metabolismo celular dos frutos, interferindo na síntese e na ação do etileno, na respiração e na síntese e atividade de enzimas (BRACKMANN, 2007). A AC também é eficaz no controle de patógenos durante o armazenamento, pois níveis elevados de CO₂ induzem mudanças metabólicas e alteração do pH nas membranas celulares (YAHIA et al., 2019).

De acordo com Brackmann (2007), os benefícios da redução do oxigênio na atmosfera ocorrem em níveis inferiores a 5 kPa. Entretanto, níveis próximos ou menores de 1,2 kPa, considerados ultrabaixos (até 0,8 kPa) e extremamente baixos ($\leq 0,7$ kPa), podem induzir a respiração anaeróbica dos frutos, gerando acúmulo de etanol e acetaldeído e causando escurecimento da polpa. Trabalho realizado por Thewes et al. (2015a) indicou que pressão parcial de oxigênio de 0,4 kPa em maçãs 'Gala' aumenta a concentração de etanol na polpa, reduz a produção de etileno e diminui a atividade da enzima ACC oxidase. Além da acumulação de compostos do metabolismo fermentativo, pode haver maior ocorrência de desordens fisiológicas como escurecimento de polpa, em maçãs 'Royal Gala' armazenadas em pressões parciais inferiores a 0,8 kPa de oxigênio (WEBER et al., 2011).

Segundo Brackmann et al. (2005a), a melhor condição de armazenamento em AC para a cultivar Pink Lady é com pressões parciais de 1,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ nas temperaturas de -0,5°C e 0,5°C.

A evolução na utilização da AC no armazenamento e produtos agrícolas permitiu técnicas mais aprimoradas para cada produto em particular. Entre os sistemas mais utilizados para o armazenamento de maçãs, pode-se classificá-los em: AC convencional, AC com ultrabaixo oxigênio (AC-UBO), AC dinâmica (ACD) e AC com oxigênio extremamente baixo (AC-ELO) (YAHIA et al., 2019).

A AC convencional, entre os modelos de AC, é o que mais se utilizou no armazenamento de maçã e peras nas últimas décadas. Os níveis de oxigênio e CO₂ desejados são alcançados a partir da redução do oxigênio com injeção de nitrogênio gasoso atmosférico aliado ao processo de respiração dos próprios frutos e monitorados diariamente. A concentração de dióxido de carbono é controlada por adsorvedores de CO₂ e a injeção de ar atmosférico (YAHIA et al., 2019).

As condições de AC-UBO mantêm os níveis de O₂ próximos a 1 kPa. Esta pressão parcial pode ser um ponto crítico para algumas cultivares, por possivelmente induzir respiração anaeróbica, exigindo um monitoramento e controle muito mais precisos (YAHIA et al., 2019).

Na ACD as condições de armazenamento são ajustadas dinamicamente, ao longo do período de armazenamento, conforme a resposta do produto à tal condição, com maior controle sobre os processos fisiológicos dos frutos. A determinação da ACD atualmente pode ser realizada por três métodos: pelo quociente respiratório, pela produção de etanol e pela fluorescência de clorofilas. Tais tecnologias são adotadas para garantir o máximo período de armazenamento com a manutenção da qualidade, considerando que a condição ideal para isso é o armazenamento em pressões parciais de oxigênio iguais ou acima do ponto de compensação anaeróbico. Neste ponto, mantem-se a qualidade por reduzir a taxa respiratória e a respiração aeróbica, e diminuir a fermentação dos frutos (PRANGE, 2018). O armazenamento de maçãs Cripps Pink em ACD foi investigado por Klein et al. (2020) utilizando o monitoramento por quociente respiratório em níveis de 1,3 e 1,5 kPa de O₂.

O armazenamento em AC-ELO mantém os valores de O₂ em condições extremas para a respiração, atingindo valores $\leq 0,7$ kPa, muito próximo dos níveis

de anaerobiose dos frutos. O controle das câmaras de armazenamento nestes níveis de oxigênio exige um sistema de sensores calibrados e muito sensíveis a pequenas alterações nas pressões parciais dos gases (YAHIA et al., 2019).

Entretanto, o armazenamento sob AC pode resultar em potenciais efeitos negativos. O uso incorreto ou equivocado desta tecnologia pode induzir fermentação dos frutos por processos de anaerobiose, alterações no sabor e aroma dos produtos e desordens fisiológicas (YAHIA et al., 2019).

Segundo Gualanduzzi et al. (2005), maçãs 'Pink Lady[®]' armazenadas apresentaram como principal problema o escurecimento interno, que foi maior em frutos colhidos em estágio de maturação mais avançado, e em frutos armazenados por períodos prolongados, que também apresentaram maior incidência de podridões e polpa farinácea. Em contrapartida, os mesmos autores observaram que frutos colhidos precocemente apresentaram maior incidência de escaldadura superficial.

Em pesquisa realizada por Castro et al. (2008), maçãs 'Pink Lady' armazenadas por 2 meses a temperatura de 0,5°C em AC com pressões atmosféricas de 5 kPa de CO₂ e 1,5kPa de O₂ resultaram em 15% dos frutos com escurecimento interno de polpa. Williamson et al. (2018) observaram em maçãs 'Rosy Glow', que o armazenamento refrigerado durante 6 meses a 1°C, sem tratamento de 1-MCP, apresentou incidência de escaldadura superficial com severidade de até 73% de recobrimento dos frutos, ocorrendo principalmente após os 14 dias de simulação de prateleira. Todavia, maçãs 'Cripps Pink' apresentaram escaldadura apenas após 7,5 meses de armazenamento refrigerado (WILLIAMSON et al., 2018). Estes mesmos autores observaram também que o escurecimento interno de polpa foi registrado após 6 meses de armazenamento, com maior ocorrência em 'Rosy Glow' do que em 'Cripps Pink'.

2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS EM MAÇÃS

Os compostos fenólicos nos vegetais exercem papel importante em seu crescimento e desenvolvimento. A maioria destes compostos possui grande capacidade antioxidante, permitindo neutralizar os efeitos do estresse oxidativo. Alguns inclusive são capazes de quelar íons de metais pesados (KULBAT, 2016). Ao longo dos últimos anos, é crescente o interesse pelo estudo relacionado aos

compostos fenólicos, pois o consumo de alimentos ricos nestes compostos pode reduzir as chances de desenvolver diferentes doenças, devido aos seus efeitos antioxidantes. Estes compostos são amplamente distribuídos em alimentos vegetais. Os mais encontrados são os grupos dos taninos, cumarinas, flavonoides e ácidos fenólicos (GIADA, 2013).

O perfil de compostos fenólicos em maçã é variável de acordo com a cultivar analisada, o estágio de maturação dos frutos avaliados, a condição de armazenamento em que os frutos foram submetidos e ao ambiente de plantio, correspondendo pelas características de amargor, adstringência, cor e aroma (ALBERTI, 2014). A composição dos compostos fenólicos em maçã é formada na maioria pela catequina, epicatequina, quercetina-3-glicosídeo, ácido clorogênico, floridizina e procianidinas B1 e B2 (STANGER et al., 2017).

A distribuição de compostos fenólicos no fruto é variável entre a casca e a polpa, estando presentes em maiores concentrações na região da casca (ŁATA, 2009; ZARDO et al., 2009; STANGER et al., 2017; 2018). Yang et al. (2015) encontraram valores de flavonoides 2,2 vezes maiores na casca em relação à polpa de maçãs 'Pink Lady®'. Juhaimi et al. (2016) encontraram valores de compostos fenólicos totais de 136,2 mg 100 g⁻¹ para 'Pink Lady®', superiores aos valores obtidos para a cultivar Golden, de 87,8 mg 100 g⁻¹ de peso fresco. Hoang et al. (2011) avaliando compostos fenólicos em clones 'Cripps Pink' obtiveram valor médio de 1.358 µg g⁻¹ de peso fresco de compostos fenólicos na casca dos frutos no início do período de armazenamento. Estes compostos foram encontrados em 35%, 27%, 14% e 12% para flavan 3-óis, procianidinas, flavonoides e antocianinas, respectivamente. Para o tecido da polpa o ácido clorogênico representou 54% do total dos compostos fenólicos.

De maneira geral, todos os frutos ao serem colhidos sofrem algum tipo de estresse. Esta situação induz a produção de espécies reativas de oxigênio, que ativarão a produção de compostos fenólicos pela rota dos fenilpropanoides (LAROSA et al., 2019). Normalmente, a exposição do produto a altas temperaturas induz a produção de compostos fenólicos do fruto, entretanto, esta acumulação também é influenciada por outras condições de armazenamento, pelas características do próprio fruto (grau de maturidade) e dos tipos de compostos fenólicos que este produz. A produção de compostos fenólicos é induzida pela temperatura, pois ativa diferentes rotas metabólicas, como a ação das enzimas

catalase, polifenol oxidase e superóxido desmutase. A alteração nessas rotas é mais frequente na porção da epiderme do fruto, que é a região que mais interage com as condições térmicas do ambiente quando comparado à polpa, sendo mais visível situações de estresse por frio ou calor (LAROSA et al., 2019).

Hoang et al. (2011) relatam que os níveis de compostos fenólicos totais diminuíram levemente ou permaneceram constantes nos frutos armazenados a 0°C por seis meses, indicando que o armazenamento a frio contribui para a manutenção destes compostos nos frutos. A cultivar Pink Lady® apresentou maiores valores de compostos fenólicos no trabalho realizado por Veberic et al. (2005), quando comparada a 'Royal Gala', 'Fuji', 'Elstar', 'Jonagold Decosta', 'Jonatan', 'Majda' e 'Braeburn'.

O AR é uma excelente alternativa para retardar o amadurecimento de maçãs e a AC estática, com baixo O₂ e/ou alto CO₂, é a principal tecnologia complementar à refrigeração atualmente usada para a conservação pós-colheita da qualidade de maçãs. Segundo Begić-Akagić et al. (2011), maçãs 'Pink Lady®' armazenadas sob refrigeração (1°C), durante 60 dias, tiveram redução significativa no teor de compostos fenólicos nos frutos, reduzindo a concentração de 0,654 g equivalente ácido gálico (EAG) L⁻¹ para 0,526 g EAG L⁻¹. Maçãs 'Cripps Pink' armazenadas em AR e AC não apresentaram diferenças no conteúdo de fenóis totais ou individuais durante 160 dias a 0 °C, porém foi observado interação significativa entre o tempo de armazenamento e atmosfera, com maiores níveis de flavonóis em AC comparado com AR (HOANG et al., 2011). Lata (2008) observou maiores níveis de fenóis em AC do que AR e manutenção da capacidade antioxidante até os 7 meses de armazenamento, em cinco cultivares produzidas na Polônia. Kevers et al. (2011) armazenaram maçãs 'Jonagold' em AR por 6 meses e em ultrabaixo oxigênio (UBO) por 9 meses, e observaram aumento no teor de fenóis totais após três meses em UBO e redução nas avaliações subsequentes. Neste mesmo trabalho, os autores ainda simularam o período de 7 dias de prateleira a 20°C, imediatamente após a colheita, e observaram um aumento dos fenóis totais, porém redução da capacidade antioxidante (27%). Em maçãs 'Galaxy' foi observado grande incremento no conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante na polpa em frutos armazenados em ACD, em relação aos frutos armazenados em UBO (STANGER et al., 2018).

2.4 1-METILCICLOPROPENO

O controle da produção do etileno e seus efeitos em frutos climatéricos, após o período de colheita até seu consumo final, é considerado essencial para que a cadeia produtiva atinja níveis satisfatórios de qualidade e níveis reduzidos de perda na pós-colheita, uma vez que este fitormônio vegetal é responsável pelos processos fisiológicos de amadurecimento e senescência de frutos. Desta forma, o controle do etileno através do uso do 1-metilciclopropeno (1-MCP) revolucionou a pós-colheita na horticultura (GOLDING; SINGH, 2017).

A resposta fisiológica do fruto à aplicação do 1-MCP é variável com a espécie vegetal (HUBER et al., 2010). Entretanto, de maneira geral, os efeitos fisiológicos decorrentes da aplicação do produto incluem a redução da percepção e produção do etileno, pela redução da atividade das enzimas ACC sintase e ACC oxidase, redução do metabolismo respiratório e menor metabolismo da parede celular, devido à reduzida atividade de enzimas hidrolíticas de parede celular, como a poligalacturonase e pectina metilesterase (WATKINS, 2006). Outros efeitos do 1-MCP compreendem a diminuição de desordens fisiológicas (escaldadura superficial em maçã e pera e injúrias por frio, por exemplo), a redução na atividade enzimática envolvida com a produção de compostos fenólicos, como a fenilalanina amônia-liase, e a limitação da atividade de enzimas relacionadas à pigmentação de frutos, como a clorofilase (WATKINS, 2006). Estes efeitos são resultado da ligação irreversível do 1-MCP aos receptores de etileno, impedindo todas as respostas fisiológicas que ocorreriam de forma natural com a ligação do etileno ao seu receptor, como amadurecimento e senescência (GOLDING; SINGH, 2017). Porém, novos receptores de etileno são formados no vegetal, e por não estarem bloqueados pela ação do produto, passam a responder de forma positiva ao fitohormônio, diminuindo a eficácia do produto ao longo do armazenamento (BLANKENSHIP; DOLE, 2003).

A maçã foi o primeiro fruto com registro para uso do 1-MCP e seu uso se estendeu rapidamente por indústrias no mundo todo (WATKINS, 2006). Porém, o efeito fisiológico do produto já foi investigado em diversas outros frutos, como pera (HENDGES et al., 2016), damasco (FAN et al., 2018), uva (BELLINCONTRO et al., 2006), ameixa (VELARDO-MICHARET et al., 2017), pêssego (CAI et al., 2019), romã, citros, morango e pitáia (LI et al., 2016).

A eficácia da aplicação comercial desta tecnologia é dependente de diversos fatores. Além da espécie vegetal que se está trabalhando, deve-se considerar a concentração do produto, o período de exposição do produto com o vegetal, a temperatura ambiente no momento da aplicação e o tempo entre a colheita e o tratamento (BLANKENSHIP; DOLE, 2003).

Williamson et al. (2018) afirmam que o tratamento com 1-MCP em clones de 'Pink Lady[®]' foi eficaz em inibir a evolução do etileno durante o período de AR. No entanto, os mesmos autores observaram comportamentos distintos entre os clones quanto a ocorrência de distúrbios de armazenamento, que foram mais evidentes em 'Rosy Glow', quando comparados a 'Cripps Pink'. Segundo Thewes et al. (2018), além da redução da produção de etileno, o 1-MCP diminui o risco de respiração anaeróbica em maçãs 'Pink Lady[®]' armazenadas por 9 meses sob ACD.

2.5 PERFIL AROMÁTICO

O primeiro atributo sensorial percebido em vegetais é a aparência. Em seguida, percebe-se o aroma/odor do alimento, que é responsável por um dos principais motivos de aceitação por parte dos consumidores. O aroma é resultado de uma mistura de compostos voláteis, que de acordo com sua composição quantitativa e qualitativa, vão determinar o perfil aromático específico de um vegetal (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2019).

Os compostos aromáticos são classificados de acordo com suas estruturas e composições. Entre as classes mais abrangentes, que integram compostos formados por carbono, hidrogênio e oxigênio, estão os aldeídos, álcoois, cetonas, ésteres, ácidos, terpenos e lactonas (PARKER, 2015).

Em frutos frescos, o perfil de voláteis se altera constantemente ao longo de seu desenvolvimento e senescência. Entre os fatores que podem ser responsáveis por esta mudança na composição aromática, estão incluídos a carga genética da espécie/cultivar, as condições ambientais a que este produto foi submetido durante seu desenvolvimento a campo, o estágio de maturação e seu manejo pós-colheita durante o armazenamento. Dentre as técnicas pós-colheita utilizadas para estender o período de armazenamento e *shelf-life* de um produto, fatores como

temperatura, produtos químicos, irradiação e atmosfera de armazenamento podem alterar a produção de compostos aromáticos em frutos (HADI et al., 2013).

As diferentes substâncias voláteis que respondem pelo perfil aromático de um fruto são dependentes de várias rotas de biossíntese, que agem simultaneamente. Estas rotas de biossíntese são dependentes da ação de enzimas e compostos precursores. O atraso no processo de maturação nos frutos, por meio de manejos pós-colheita, interfere, além de outros fatores, na quantidade de compostos precursores dos voláteis e a velocidade das reações catalisadas pelas enzimas, alterando o sabor e aroma dos frutos, que muitas vezes pode ser indesejado (SIEGMUND, 2015). Harb, Streif e Bangerth (2008) afirmam que a colheita antecipada e o armazenamento prolongado prejudicam a formação de voláteis pelo fruto, por um provável suprimento ineficiente de substratos para as rotas de biossíntese dos compostos aromáticos.

Uma produção agrícola que objetiva fornecer frutos com qualidade, deve considerar propriedades benéficas do alimento à saúde, e também as preferências de sabor e aroma, que determinarão a aceitação ou rejeição do produto pelo consumidor (GOFF, 2006). Técnicas que suprimem a produção de etileno e diminuem a taxa respiratória como o tratamento com 1-MCP e o armazenamento em AC diminuem a produção de moléculas de adenosina trifosfato, reduzindo conseqüentemente os ácidos graxos, que são os principais compostos precursores na síntese de compostos voláteis (ESPINO-DÍAZ et al., 2016). Thewes et al. (2017) observaram que o armazenamento em atmosfera controlada (1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂) aliado ao tratamento pré armazenamento de 1-MCP suprimiu a produção dos principais voláteis de maçãs "Galaxy", até mesmo em frutos com estágio de maturação mais avançado. O armazenamento em AC causa alterações na biossíntese de compostos aromáticos em maçãs durante o período de vida de prateleira, devido a mudanças na capacidade de formação de ésteres, no fornecimento dos substratos necessários e na atividade de enzimas relacionadas ao processo bioquímico (VILLATORO et al., 2008a).

Em maçãs 'Pink Lady[®]', a produção de compostos aromáticos aumenta durante o desenvolvimento do fruto, apresentando maior número de compostos ao longo da fase de maturação, onde os ésteres são responsáveis por uma grande fração dos compostos aromáticos produzidos (VILLATORO et al., 2008b). A grande contribuição dos ésteres no perfil aromático desta maçã também foi

reportada por López et al. (2007), que encontraram 21 compostos classificados como ésteres dos 30 compostos totais detectados no momento da colheita. Os mesmos autores afirmam que a produção de ésteres aumentou durante o *shelf-life* de 7 dias após a colheita, e sugerem que a formação destes compostos está envolvida com a produção de etileno, que também aumentou no mesmo período.

Em maçãs 'Pink Lady[®]', os ésteres de maior contribuição para o aroma são o acetato de hexila, acetato de isoamila, acetato de butila e butanoato de hexila (APREA et al., 2012). Estes mesmos compostos também foram encontrados por Villatoro et al. (2008b), que afirmam ser compostos com importante contribuição na formação do aroma característico dessa cultivar.

A produção de etileno também tem papel importante na regulação de enzimas como a álcool aciltransferase, que junto com a álcool desidrogenase e a lipoxigenase estão envolvidas na produção de compostos voláteis em maçãs (DEFILIPPI; DANDEKAR; KADER, 2005). A álcool desidrogenase é responsável por catalisar aldeídos em álcoois, enquanto a lipoxigenase catalisa a hidroperoxidação de ácidos graxos, utilizando o ácido linoleico como principal substrato para a reação. A enzima álcool aciltransferase é capaz de formar diferentes combinações de álcoois e acil-CoA, sintetizando vários ésteres presentes nos frutos (PECH; LATCHÉ; REST, 2008).

3 COMPOSTOS FENÓLICOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DE MAÇÃS 'CRIPPS PINK' COM 1-MCP E PRESSÕES PARCIAIS BAIXAS, ULTRABAIXAS E EXTREMAMENTE BAIXAS DE O₂

3.1 RESUMO

A manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs exige um armazenamento adequado, que mantenha as características desejáveis do fruto e reduza as perdas pós-colheita. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do 1-metilciclopropeno (1-MCP) e de diferentes pressões parciais de O₂ em atmosfera controlada (AC) sobre a qualidade pós-colheita de maçãs 'Cripps Pink'. Os tratamentos utilizados foram 21,0 kPa de O₂ (armazenamento refrigerado; AR), 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂, 0,25 kPa de O₂ e 21,0 kPa de O₂ combinado com 1-MCP (1,0 µL L⁻¹). Os frutos de todos os tratamentos foram armazenados a 1,5±0,2°C, UR 92±2% e pressão parcial de CO₂ <0,5 kPa, durante 4,5 e 8 meses. Após saída da câmara, os frutos foram mantidos em condição ambiente (23±5°C/ UR de 60±5%) por 7 dias e avaliados quanto a taxa respiratória e produção de etileno, coloração da epiderme, incidência de podridões, escaldadura, oleosidade, polpa farinácea e escurecimento de polpa, acidez titulável, compostos do metabolismo fermentativo, atividade antioxidante total (AAT; métodos ABTS e DPPH) e compostos fenólicos totais (CFT). De maneira geral, a taxa respiratória e produção de etileno foram reduzidas em todas as condições de AC e com 1-MCP, em comparação ao AR, em ambos os períodos de armazenamento. A aplicação do 1-MCP foi eficaz em controlar o amadurecimento e reduzir a perda de qualidade dos frutos quando armazenados por curto período (4,5 meses). A AC na condição de 0,6 kPa de O₂ reduziu a incidência de escaldadura superficial, podridões, polpa farinácea e a severidade de oleosidade da casca, bem como manteve a cor de fundo da epiderme, proporcionando melhor manutenção da qualidade dos frutos em armazenamento prolongado (8 meses), com maior porcentagem de frutos sadios. Dentre as condições de AC, a pressão parcial de 0,25 kPa foi a que apresentou maior produção de etanol e acetaldeído nos frutos armazenados por 8 meses, indicando que houve maior fermentação nos frutos. A atividade antioxidante total (método ABTS) na casca foi maior após o armazenamento de 8 meses, enquanto na polpa, os maiores valores foram observados aos 4,5 meses. A pressão parcial de 0,25 kPa de O₂ manteve a maior atividade antioxidante na casca e na polpa em ambos os períodos de armazenamento (método DPPH). Aos 8 meses de armazenamento, observou-se maior CFT na casca e na polpa, e entre os tratamentos, as pressões parciais de 0,6 e 0,25 kPa de O₂ indicaram maior manutenção dos compostos fenólicos, em ambos os tecidos e períodos de armazenamento dos frutos.

Palavras-chave: *Malus domestica*, fruticultura temperada, conservação, pressões parciais de O₂.

3.2 INTRODUÇÃO

O processo de amadurecimento dos frutos envolve diversas mudanças fisiológicas, algumas delas perceptíveis visualmente. No caso da maçã, a

mudança de coloração da epiderme, devido a degradação de clorofilas e formação de pigmentos como carotenoides, a hidrólise do amido e redução da acidez e da firmeza de polpa, induzidos pelo aumento da taxa respiratória e produção de etileno, são alguns dos indicativos de amadurecimento. Tais processos, que também estão ligados à ação de genes e proteínas, ao longo do tempo, induzem à senescência do fruto (SHI et al., 2014).

Além das alterações nas características físicas, o amadurecimento envolve alterações no teor de compostos fenólicos totais no fruto e sua capacidade antioxidante, o que tornam os frutos uma importante fonte de alimento saudável. Uma possível perda destas características funcionais, devido ao manuseio do período pós-colheita, pode ser ocasionado pelas condições a que os frutos foram submetidos durante o armazenamento (PRASAD; JACOB; SIDDIQUI, 2018; STANGER et al., 2018).

O manuseio pós-colheita utilizado no período de armazenamento também pode induzir distúrbios fisiológicos, que deterioram a qualidade das maçãs e diminuem seu valor comercial, como escurecimento de polpa e escaldadura, por exemplo. A AC pode ser eficaz no controle de alguns destes distúrbios. Entretanto, se mal manejada, como utilizar níveis de oxigênio além do suportável por determinada cultivar, por exemplo, pode induzir ou agravá-los. Por este motivo, além de compreender o modo de funcionamento deste tipo de armazenamento, é preciso estar atento ao comportamento do fruto e da cultivar específica com que se está trabalhando, pois as condições de hipoxias e o tempo de armazenamento toleradas podem ser diferentes (BODBODAK; MOSHFEGHIFAR, 2016).

Maçãs 'Pink Lady[®]' apresentaram boa conservação da qualidade em AC com 1,0 kPa O₂ + <0,5 e 1,0 kPa CO₂ e 1,5 kPa O₂ + 1,0 e 2,0 kPa CO₂, a 0,5°C (BRACKMANN et al., 2005a). Todavia, temperaturas de armazenamento levemente superiores (1,2 a 2°C) às normalmente utilizadas no armazenamento de maçãs 'Gala' apresentam melhor manutenção da qualidade, além de menor consumo de energia para refrigeração dos frutos (MAZZURANA et al., 2016). Além disso, a elevação da temperatura de armazenamento (de 1°C para 3°C) proporciona o armazenamento de maçãs Braeburn em condições de AC dinâmica com reduzidas pressões parciais de O₂ de 1,5 kPa (WEBER et al., 2019), pois reduz o acúmulo de produtos do metabolismo anaeróbico (WEBER et al., 2020). Adicionalmente, o armazenamento em condições de AC dinâmica, com pressões

parciais extremamente baixas de O₂ (ACD-QR = 1,5 com média de 0,1 kPa O₂ + 1,2 kPa CO₂ e ACD-FC com média de 0,4 kPa O₂ + 1,2 kPa CO₂), proporcionou maçãs 'Galaxy' com maior conteúdo de compostos fenólicos e de atividade antioxidante (STANGER et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do 1-metilciclopropeno (1-MCP) em armazenamento refrigerado e de diferentes pressões parciais de O₂ em AC sobre a qualidade pós-colheita de maçãs 'Cripps Pink'.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com maçãs 'Cripps Pink' colhidas em um pomar comercial no município de Vacaria – RS (28° 30' 44" de latitude sul e 50° 56' 02" de latitude oeste), safra 2017/2018. Os frutos foram conduzidos ao laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do CAV/UDESC e as unidades experimentais homogeneizadas. Os tratamentos foram constituídos de diferentes pressões parciais de oxigênio durante o armazenamento: 20 kPa de O₂ (controle ou armazenamento refrigerado), 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂, 0,25 kPa de O₂ e 20 kPa de O₂ mais a aplicação de 1-MCP (1,0 µL L⁻¹). Em todos os tratamentos, os frutos foram armazenados em câmara fria a 1,5±0,2 °C e umidade relativa de 92±2% e pressão parcial de CO₂ <0,5 kPa. Cada tratamento foi constituído por 4 repetições e a unidade experimental composta de 24 frutos.

Cada tratamento foi acondicionado em uma minicâmara experimental com volume de 0,5 m³. A implantação das atmosferas controladas ocorreu gradualmente durante cinco semanas. Para a redução da pressão parcial de O₂ nas minicâmaras, foi injetado N₂ gasoso industrial. No primeiro dia de armazenamento os frutos dos tratamentos 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ foram submetidos a 5 kPa de O₂, e permaneceram nesta condição durante uma semana. Na semana seguinte, as atmosferas foram alteradas para 2 kPa de O₂, mantendo-se esta pressão parcial durante o restante do armazenamento na condição 2,0 kPa de O₂, e por uma semana, nos tratamentos 1,0 kPa, 0,6 kPa e 0,25 kPa de O₂. Na terceira semana, os frutos dos tratamentos 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ permaneceram armazenados em condição de 1 kPa de O₂ por mais uma semana. Na quarta semana, os frutos dos tratamentos 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ foram

submetidos a 0,5 kPa de O₂. Após uma semana, os frutos do tratamento 0,25 kPa de O₂ foram mantidos a tal condição. Em todas as minicâmaras, foram adicionados sachês de cal hidratada [Ca(OH)₂] para absorção de CO₂ no ambiente. O monitoramento das atmosferas foi realizado diariamente com o auxílio um analisador eletrônico de gases, e com a devida correção quando necessário.

Para a aplicação do 1-MCP, utilizou-se o produto SmartFresh®, (0,14% de 1-MCP na formulação pó) em uma diluição que resultou na concentração de 1,0 µL L⁻¹ do volume da câmara. O produto foi solubilizado em água e transferido para a câmara hermeticamente fechada contendo os frutos, que permaneceram em contato com a vaporização do produto por 24 horas, em temperatura ambiente. Após este período, os frutos foram acondicionados em câmara fria, simultaneamente com os demais tratamentos. Os frutos de todos os tratamentos permaneceram armazenados por 4,5 e 8 meses.

Após a retirada dos frutos, foram realizadas análises de taxas respiratórias e de produção de etileno, coloração da epiderme e incidência de podridões, escaldadura e oleosidade. Os frutos permaneceram em temperatura ambiente 23±5°C e 60±5% de UR por 7 dias, para simular período de prateleira. Após, foram realizadas as mesmas análises da saída da câmara e também das variáveis firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e acidez titulável, incidência de polpa farinácea e escurecimento de polpa e porcentagem de frutos sadios, e coleta de amostras de polpa, casca e suco dos frutos para posteriores análises de atividade antioxidante total, teor de compostos fenólicos totais, compostos do metabolismo fermentativo e perfil aromático.

A incidência de podridões (%) foi avaliada visualmente, contabilizando frutos que apresentavam características de infecção fúngica. A análise de oleosidade foi feita manualmente em todos os frutos de cada repetição, tocando os dedos sobre o fruto e atribuindo uma nota em uma escala de 0 a 3. As notas correspondem ao grau de oleosidade da epiderme, onde 0 = nulo, 1 = leve, 2 = moderada e 3 = alta oleosidade. A partir das notas atribuídas, calculou-se a média de cada repetição. A incidência de escaldadura foi feita visualmente, caracterizada pelo escurecimento da epiderme com manchas irregulares na superfície,

contabilizando os frutos com o distúrbio, sem avaliação de severidade e expresso em porcentagem de frutos.

O escurecimento de polpa foi avaliado visualmente, considerando apenas a incidência, sem classificação de severidade. A avaliação de polpa farinácea foi diagnosticada pressionando manualmente a metade inferior do fruto e contabilizada caso a polpa apresentasse aspecto farináceo. Os frutos sadios corresponderam aos frutos de cada repetição que não apresentavam nenhuma podridão ou distúrbio fisiológico aparente, e foram expressos em porcentagem de frutos.

As análises de taxas respiratórias ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e de produção de etileno ($\rho\text{mol de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) foram realizadas com um cromatógrafo gasoso modelo CG-3800® (Varian, Palo Alto, CA, EUA) equipado com uma coluna Porapak N® de 3 m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. A temperatura da coluna foi de 70°C, do detector de 250°C, do metanador 380°C e de 130 °C para o injetor. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético utilizados foram de 70; 30; e 300 mL min⁻¹, respectivamente. Após manter os frutos, de massa conhecida, em um recipiente fechado hermeticamente de capacidade de 4,1 L por 30 minutos, foram retiradas amostras gasosas em triplicata de 1 mL do interior do recipiente com uma seringa plástica e analisadas no cromatógrafo.

Para a cor da epiderme foi utilizado um colorímetro Minolta, modelo CR 400 medindo o ângulo *hue* (h°) na região menos vermelha, na área equatorial do fruto. Antes do armazenamento realizou-se a leitura em duas regiões opostas do fruto, mais e menos vermelha, na região equatorial, a fim de obter dados da cor de fundo e de recobrimento da epiderme.

O teor de sólidos solúveis foi obtido através do refratômetro modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão) utilizando o suco puro dos frutos e a acidez titulável analisada em uma solução de 5 mL de suco dos frutos após adição de 45 mL de água destilada em um titulador automático TitroLine® Easy, Schott Instruments, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha, com uma solução NaOH 0,1N até pH 8,1.

Foram coletadas amostras de polpa e casca da região mediana dos frutos de cada repetição para obtenção de extrato para análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante total. A porção da casca foi obtida com lâminas cortantes,

descascando o fruto de forma manual, a fim de retirar apenas o tecido da casca, com espessura inferior a 1 mm. As amostras foram congeladas e maceradas em N₂ líquido e armazenadas em freezer até a avaliação.

O procedimento para a obtenção do extrato foi realizado com a utilização de 5 gramas da amostra de polpa dos frutos, adicionados de 10 mL de solução de metanol 50%, agitados em um vortex e mantidos por uma hora em ambiente escuro. A solução foi centrifugada em uma centrífuga de alta rotação (15000 rpm) durante 15 minutos. O sobrenadante das amostras foi coado com papel filtro em um balão volumétrico de 25 mL e ao resíduo sólido foi adicionado 10 ml de solução de acetona 70%. A amostra foi novamente agitada e permaneceu em ambiente escuro por mais uma hora e centrifugada nas mesmas configurações anteriores. O sobrenadante foi coado junto ao coletado anteriormente e o volume total foi completado com água destilada até 25 mL. Para o extrato da casca, utilizou-se 2,5 gramas da amostra. Os extratos foram armazenados em freezer até o momento das análises de atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Roesler (2007), com uso de ácido gálico como padrão. A solução de ácido gálico foi preparada utilizando 10 mg de ácido gálico em 100 mL de metanol. A curva padrão foi obtida com diferentes alíquotas da solução de ácido gálico e metanol, em concentrações de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 µL L⁻¹. Para a leitura das amostras foi utilizado 100 µL do extrato dos frutos adicionado de 605 µL de Folin-Ciocalteu (em proporção 1 de Folin-Ciocalteu: 3 de água destilada) e 1 mL de carbonato de cálcio (10%). A solução foi mantida em escuro por 30 minutos e a leitura realizada em uma leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA) no comprimento de onda de 765 nm, expresso em equivalente de ácido gálico (EAG; mg EAG 100 g⁻¹ massa fresca).

A atividade antioxidante total foi obtida pelos métodos DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazila) descrita por Rufino et al. (2007a) com adaptações e ABTS (2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico) de acordo com Rufino et al. (2007b).

Para o preparo da solução de DPPH 60 µM foram dissolvidos 2,4 mg de DPPH em álcool metílico e adicionado álcool metílico até completar o volume de 100 ml em um balão volumétrico. Para cada amostra foi utilizado 0,1 ml do extrato

com 3,9 mL do radical DPPH, adicionados em tubo falcon. Em ambiente escuro a amostra foi agitada em Vortex e mantida em repouso por 30 minutos. Para leitura da solução, foram adicionados 2 ml da solução na placa e lida em comprimento de onda de 515 nm na leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA), expressa em μMol de equivalente Trolox 100 g^{-1} de massa fresca.

No método ABTS foi preparado uma solução estoque de ABTS 7 mM dissolvendo 192 mg de ABTS em água destilada até atingir o volume de 50 mL. A solução de persulfato de potássio 140 mM foi obtida com 378,4 mg de persulfato de potássio dissolvido em água destilada e completado seu volume para 10 mL com água destilada. O radical ABTS foi preparado a partir da reação de 5 mL da solução estoque de ABTS com 88 μL da solução de persulfato de potássio, que foi mantida em ambiente escuro e temperatura ambiente por 16 horas. Após este período, foi diluído 1 mL desta mistura em álcool etílico e ajustado com a adição de mais reagente se necessário até que atingir uma absorção de $0,7 \text{ nm} \pm 0,05 \text{ nm}$ a 734 nm. A solução padrão de trolox foi obtida com a dissolução de 25 mg de trolox em álcool etílico e completado o volume com álcool etílico para 50 mL.

A curva padrão de trolox foi realizada utilizando uma alíquota de 30 μL solução de trolox preparada anteriormente em concentrações de 100 μM , 500 μM , 1000 μM , 1500 μM e 2000 μM e agitada com 3 mL da solução do radical ABTS. A leitura foi realizada após 6 minutos da mistura em 734 nm. A partir da leitura das soluções foi calculada a equação da reta, utilizada para calcular a absorbância referente a 1000 μM de trolox.

As leituras das amostras foram realizadas em triplicata utilizando 30 μL do extrato dos frutos obtido anteriormente misturados a 3 mL do radical ABTS. A solução foi agitada em vortex e realizada a leitura 6 minutos depois da agitação. O valor obtido foi utilizado na equação da reta e expresso em μM trolox g de fruta.

Para o conteúdo de etanol, acetaldeído e acetato de etila foram coletados 20 mL de suco de cada amostra, acondicionados em vials de 40 ml, os quais foram congelados até o momento da determinação. Para a determinação, as amostras permaneceram em banho-maria por 60 minutos a 70°C . Em seguida, foram coletadas amostras gasosas em triplicata de cada vial e injetadas em um cromatógrafo a gás Clarus 580 da Perkin Elmer, equipado com um detector de ionização por chama (DIC), coluna Elite-wax, com temperatura de injetor a 180°C , e detector 250°C , com um fluxo de gás de $0,4 \text{ mL min}^{-1}$. O tempo para a retenção

dos compostos é de 0,4; 0,65 e 1,9 minutos, para acetaldeído, etanol e acetato de etila, respectivamente.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 (seis tratamentos e dois períodos de armazenamento, 4,5 e 8 meses), com 4 repetições. As médias foram comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na colheita os frutos apresentaram valores de 49,5, 42,8 e 35,7 para os atributos de luminosidade (L), croma (C) e ângulo *hue* (h°), respectivamente, na região mais vermelha da epiderme. Para a cor de fundo, os frutos apresentaram luminosidade de 74,4, cromaticidade de 42,2 e ângulo *hue* de 107,0. A firmeza de polpa foi de 82,3 N, a acidez titulável foi de 7,64 mEq 100 mL⁻¹ e teor de sólidos solúveis de 13,8 ° Brix.

A produção de etileno foi reduzida em todas as condições de AC e com o uso do 1-MCP comparado com AR, em ambos os períodos de armazenamento (Tabela 1). Segundo Gago et al. (2015), maçãs 'Golden Delicious' tratadas com 1-MCP e armazenadas por 6 meses sob refrigeração também apresentaram uma menor produção de etileno, na saída da câmara e após sete dias em condições ambiente. Williamson et al. (2018) relataram que o uso de 1-MCP teve maior efeito sobre a inibição da produção de etileno do que o estágio de maturação dos frutos, em dois clones de 'Pink Lady®'. Os mesmos autores também afirmaram que após 4,5 meses de armazenamento em AR, a produção de etileno e CO₂ aumentaram em maçãs 'Rosy Glow' tratados com 1-MCP, sugerindo que após este período, frutos mais maduros retomaram a produção autocatalítica do etileno, sendo necessário mais uma aplicação de 1-MCP para reduzir a presença do hormônio.

A baixa produção de etileno nas menores pressões parciais de oxigênio apresentaram comportamento semelhante ao encontrado por Thewes et al. (2015a), onde maçãs 'Gala' mantidas em ultrabaixo oxigênio (0,4 kPa O₂ + 1,2 kPa CO₂) tiveram uma menor taxa de produção de etileno, quando comparados aos frutos mantidos a 1,2 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂. A redução da produção de etileno devido às condições de AC é resultado da inibição das enzimas ACC sintase e ACC oxidase, causada pelo baixo nível de oxigênio (FRAGOSO; MĐJICA-PAZ, 2016), e é reportada em diversas cultivares de maçã (BOTH et al., 2014; BEKELE

et al., 2016). O efeito da AC na redução da síntese de etileno se torna mais evidente com um armazenamento mais prolongado, obtendo resultados superiores à utilização do 1-MCP, quando avaliado no momento da saída da câmara.

Após 4,5 meses de armazenamento, os frutos tratados com 1-MCP, tanto na saída da câmara como após sete dias de exposição dos frutos em condições ambiente, apresentaram menor taxa respiratória do que os frutos do AR sem 1-MCP (Tabela 1). Já os frutos armazenados em AC, independente da pressão parcial de O₂, apresentaram resultados intermediários, não diferindo do AR +1-MCP e do AR. Após 8 meses de armazenamento, na saída da câmara, frutos dos tratamentos AR+1-MCP, seguido daqueles do tratamento AC com 0,6 kPa de O₂ apresentaram menor taxa respiratória. As demais condições de AC apresentaram resultados intermediários, com taxa respiratória estatisticamente inferior aos frutos do tratamento AR. Já aos 8 meses de armazenamento mais sete dias em condições ambiente, os frutos dos tratamentos AR+1-MCP e AC, independente da pressão parcial de O₂, apresentaram taxa respiratória inferior aos frutos do AR, sem diferir entre si (Tabela 1). O efeito do 1-MCP na redução da taxa respiratória em maçãs também é relatado por outros autores (XUAN; STREIF, 2005; JUNG; LEE, 2009; BRACKMANN et al., 2015). Saquet e Streif (2017) também obtiveram redução na taxa respiratória de maçãs 'Jonagold' armazenadas em AC, como resultado da redução do metabolismo dos frutos. A redução na respiração dos frutos pode ser explicada por uma possível inibição da enzima citocromo oxidase na cadeia de transporte de elétrons no processo respiratório, ocasionada pela condição de baixo oxigênio (WEBER et al., 2013). A alteração do metabolismo de maçãs submetidas a AC foi relatada por Bekele et al. (2015), afirmando maior produção dos compostos alanina, succinato e glutamato no ciclo do ácido tricarboxílico, e indicando uma possível estratégia do fruto para maximizar a produção de energia em condições de baixa disponibilidade de oxigênio.

Tabela 1 - Produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e taxa respiratória ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Taxa de produção de etileno				
	Saída da câmara		7 dias		Média
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses	
AR (21 kPa O ₂)	2392,8aA	2144,3aA	7339,6	7978,9	7659,3a
AR + 1-MCP	398,5dB	1366,2bA	2512,2	5322,5	3917,4e
2,0 kPa O ₂	1454,8bA	1608,2bA	5111,9	7750,1	6430,9b
1,0 kPa O ₂	685,2cdA	586,6cA	4413,3	6407,2	5410,2c
0,6 kPa O ₂	676,4cdA	797,1cA	3785,2	4879,4	4332,3de
0,25 kPa O ₂	919,8cA	460,8cA	4428,8	5480,7	4954,7cd
Média	-	-	4598,5B	6303,1A	
CV (%)	29,4		16,2		
	Taxa respiratória				
	Saída da câmara		7 dias		
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses	
AR (21 kPa O ₂)	44,8aB	337,7aA	99,3aB	192,2aA	-
AR + 1-MCP	26,9bB	234,5dA	78,1bB	123,7bA	-
2,0 kPa O ₂	30,3abB	277,5bA	90,9abB	119,1bA	-
1,0 kPa O ₂	30abB	277,0bA	81,0abB	119,2bA	-
0,6 kPa O ₂	31,6abB	255,9cA	81,6abB	117,9bA	-
0,25 kPa O ₂	34,1abB	278,7bA	85,4abB	120,7bA	-
Média	-	-	-	-	
CV (%)	7,7		11,8		

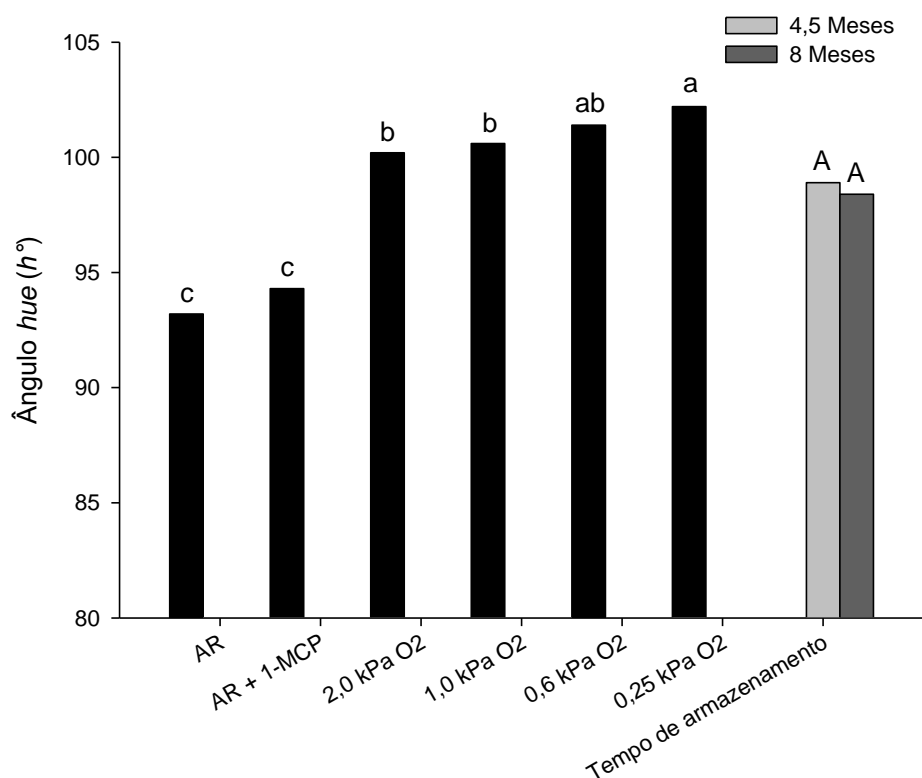
Médias seguidas por letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Embora o 1-MCP tenha apresentado bons resultados para taxa respiratória e produção de etileno, a coloração de fundo da epiderme dos frutos tratados com este produto não diferiu do controle após saída da câmara (Figura 1). Hackbarth

et al. (2017) também não encontraram diferença na coloração de fundo da epiderme de maçãs 'Gala' tratadas e não tratadas com 1-MCP. A perda da coloração esverdeada na cor de fundo de maçãs indica maior degradação de pigmentos de clorofila e adiantado estágio de maturação (AKED, 2002), e é um dos indicativos de perda da qualidade durante o armazenamento (BRASIL; SIDDIQUI, 2018). Zanella (2003) obteve melhor manutenção da coloração verde em maçãs 'Granny Smith' com 1-MCP quando associado a condições de AC.

Figura 1 - Ângulo *hue* (h°) da cor de fundo em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento.



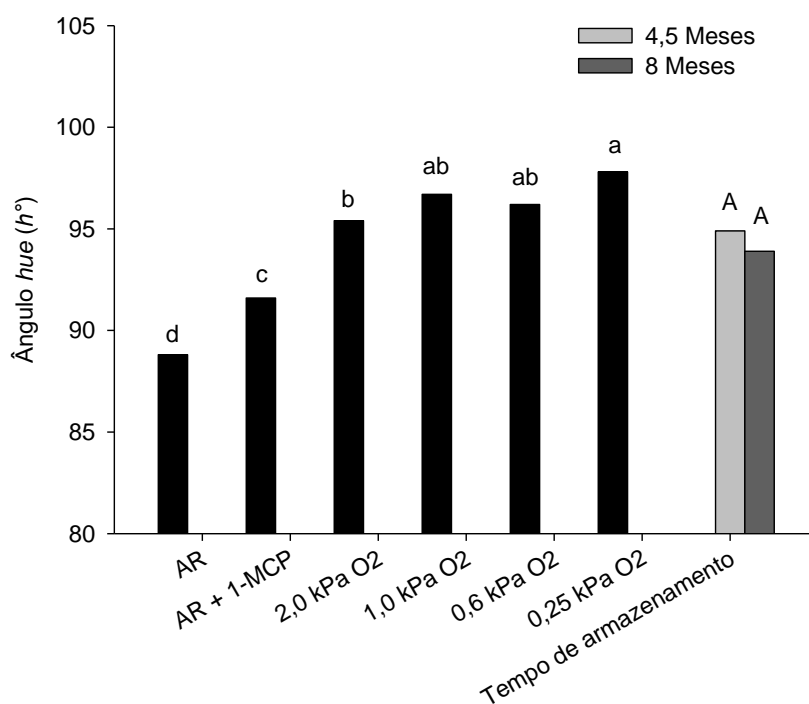
Médias seguidas por letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Os valores de ângulo *hue* foram maiores em todas as condições de AC, em todos os momentos de avaliação (Figuras 1 e 2). Mditshwa et al. (2017a) também verificaram melhor manutenção da coloração de maçãs armazenadas sob baixas pressões parciais de oxigênio, que se torna ainda mais visível com o

prolongamento do período de armazenamento, quando comparado ao armazenamento refrigerado, embora esta diferença entre os períodos de armazenamento não foi observada na presente pesquisa. Diversas variáveis podem estar relacionadas à mudança de cor de fundo nos frutos. Além do estágio de maturação dos frutos, uma maior taxa de produção de etileno e níveis elevados de oxigênio durante o período de armazenamento são fatores que contribuem para acelerar o processo fisiológico de degradação de clorofila, como a ação da enzima clorofilase (GWANPUA et al., 2014).

Figura 2 - Ângulo *hue* (h°) da cor de fundo em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.



Médias seguidas por letras iguais nas barras, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Na avaliação do teor de SS, as condições de 0,25 e 0,6 kPa de O₂ apresentaram os maiores valores e foram os únicos tratamentos que diferiram do tratamento controle, em ambos os períodos de armazenamento (Tabela 2). O efeito da redução da pressão parcial de O₂ em AC sobre a manutenção do SS em

frutos armazenados também foi relatada por López et al. (2007) em maçãs 'Pink Lady'.

A AT, em relação ao controle, foi maior em frutos tratados com 1-MCP e naqueles armazenados em AC, independente da pressão parcial de O₂, na avaliação realizada após 4,5 meses de armazenamento mais 7 dias em condições ambiente (Tabela 2). A AT elevada nos frutos tratados com 1-MCP observada neste trabalho, no período mais curto de armazenamento, também foi reportada por Thewes et al. (2018) em maçãs 'Pink Lady[®]', que, segundo os autores, pode ser consequência da menor taxa respiratória dos frutos tratados com o inibidor de etileno. As condições de AC em ambos os períodos de armazenamento apresentaram valores superiores ao AR para a AT. O efeito positivo da AC sobre a AT em maçãs 'Pink Lady[®]' também foi encontrado por López et al. (2007). Os mesmos autores relatam que o AR não é satisfatório para a manutenção da AT dos frutos após 25 semanas de armazenamento. O tratamento prévio ao armazenamento refrigerado com 1-MCP manteve o teor de AT mais alto durante os primeiros 4,5 meses. Entretanto, quando o armazenamento foi prolongado, frutos tratados com 1-MCP apresentaram valores semelhantes aos frutos sem 1-MCP.

Tabela 2 - Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	SS			AT	
	4,5 meses	8 meses	Média	4,5 meses	8 meses
AR (21 kPa O ₂)	13,0	13,8	13,4b	4,7cA	4,3bA
AR + 1-MCP	13,9	13,8	13,8ab	6,2aA	4,7abB
2,0 kPa O ₂	13,8	13,8	13,8ab	5,6bA	4,5abB
1,0 kPa O ₂	13,8	13,8	13,8ab	5,9abA	4,5abB
0,6 kPa O ₂	14,0	14,3	14,1a	6,0abA	4,8aB
0,25 kPa O ₂	14,0	14,0	14,0a	6,2aA	4,4abB
Média	13,7A	13,9A		-	-
CV (%)	4,1			7,0	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A manutenção da AT devido ao armazenamento em AC também foi obtida por López et al. (2007), que encontraram maior AT para maçãs 'Pink Lady[®]' submetidas a condições de baixo e ultrabaixo oxigênio. Maiores valores para AT

e teor de SS também foram reportados por Villatoro et al. (2009) em maçãs 'Pink Lady' mantidas em condições de 2,5 kPa O₂ + 3 kPa CO₂ e 1 kPa O₂ + 2 kPa CO₂.

Além de manterem a AT mais elevada, as condições de AC possibilitaram maior porcentagem de frutos sadios (sem distúrbios fisiológicos e podridões) (Tabela 3) em relação à AR em ambos os períodos de armazenamento. O benefício da AC sobre a porcentagem de frutos sadios fica ainda mais evidente aos 8 meses de armazenamento, onde a pressão parcial de 0,6 kPa de O₂ apresenta valor superior ao tratamento com 1-MCP. De acordo com Kweon et al. (2013), o armazenamento em AC pode contribuir para reduzir desordens fisiológicas e manter a qualidade de maçãs. Dumont, Orsat e Raghavan (2016) afirmam que embora seja um método de armazenamento com alto custo, AC é eficiente na redução de perdas.

Tabela 3 - Relação SS/AT (*rátio*) e porcentagem de frutos sadios em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	<i>Rátio</i>			Frutos sadios (%)	
	4,5 meses	8 meses	Média	4,5 meses	8 meses
AR (21 kPa O ₂)	2,8	2,8	3,0a	0,0dA	0,0cA
AR + 1-MCP	2,3	2,3	2,6b	58,0aA	18,9bB
2,0 kPa O ₂	2,4	2,4	2,8b	35,5bcA	2,7cB
1,0 kPa O ₂	2,4	2,4	2,7b	43,3abA	1,3cB
0,6 kPa O ₂	2,3	2,3	2,7b	57,4aA	41,5aA
0,25 kPa O ₂	2,3	2,3	2,7b	22,1cA	29,7abA
Média	2,4B	3,1A		-	-
CV (%)	6,5			24,9	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O armazenamento em AC e o uso do 1-MCP reduziram a incidência de podridões, para ambos os períodos de armazenamento (Tabela 4). Brackmann et al. (2005b) também encontraram menor incidência de podridões em frutos de maçã 'Gala' após 8,5 meses de armazenamento em AC (1,5 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂). Comportamento semelhante foi obtido por Brackmann et al. (2008), que verificaram maior incidência de podridão nos frutos mantidos em AR, que atribuiu

este resultado ao estágio de amadurecimento mais avançado dos frutos, tornando-os suscetíveis ao ataque de patógenos.

Tabela 4 - Incidência de podridões em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Saída da câmara		7 dias	
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses
AR (21 kPa O ₂)	8,3abB	37,5aA	31,2aB	77,6aA
AR + 1-MCP	5,1aB	9,4bA	8,5bA	16,0bA
2,0 kPa O ₂	10,4abA	19,8bA	7,1bA	12,6bA
1,0 kPa O ₂	4,2bB	14,5bA	17,4abA	24,0bA
0,6 kPa O ₂	9,4abA	17,1bA	9,2bA	16,9bA
0,25 kPa O ₂	16,7aA	16,7bA	19,4abA	27,2bA
Média	-	-	-	-
CV (%)	28,5		27,0	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Os tratamentos em AC nas pressões parciais de 0,6 e 0,25 kPa de O₂ não apresentaram sintomas de escaldadura superficial, em ambos os períodos de armazenamento, inibindo completamente a ocorrência do distúrbio no momento da saída da câmara e aos 7 dias em condição ambiente, demonstrando serem mais eficazes no controle da escaldadura do que as demais pressões parciais (Tabela 5). A escaldadura superficial é induzida pelo estresse oxidativo, durante o armazenamento em baixas temperaturas, a partir da oxidação de α -farneseno em trienos conjugados, que se acumulam na epiderme dos frutos na forma de manchas escurecidas (WHITAKER, 2004), reduzindo seu valor de mercado (MDITSHWA et al., 2017b). Wang e Dilley (2000) sugerem que frutos armazenados em condições com menores pressões parciais de oxigênio produzem etanol a partir da respiração anaeróbica, e este composto serve como proteção para o dano de escaldadura, mesmo após submeter os frutos a níveis mais elevados de oxigênio. Os mesmos autores ainda relatam que quando armazenados em pressões parciais inferiores a 1,25 kPa de O₂, os frutos não produziram 6-metil-5-hepten-2-ona (MHO), que é originado a partir da oxidação do α -farneseno. De acordo com Mditshwa et al. (2017a), a redução da pressão

parcial de oxigênio durante o armazenamento se apresenta como um método eficiente no controle de escaldadura superficial em maçãs 'Granny Smith', obtendo baixo acúmulo de MHO nos frutos.

Segundo Lurie e Watkins (2012), a síntese do α -farneseno parece estar relacionada com a produção de etileno pelo fruto, embora ainda não se tenha claro o mecanismo exato desta interação. Os dados apresentados neste trabalho confirmam tal hipótese, já que os frutos com menor incidência de escaldadura superficial também tiveram menor taxa de produção de etileno.

Os frutos tratados com 1-MCP apresentaram menor incidência de escaldadura superficial, mostrando ser um tratamento pós-colheita efetivo para reduzir a presença deste distúrbio fisiológico, além de retardar o amadurecimento (GAGO et al., 2016). Tsantili et al. (2007) encontraram menores concentrações de trienos conjugados no início do armazenamento de maçãs tratadas com 1-MCP, porém a redução da inibição do etileno pelo produto ao longo do armazenamento aumentou a suscetibilidade das cultivares à escaldadura superficial. Os mesmos autores também observaram maior oxidação do α -farneseno na região de cor de fundo verde da epiderme dos frutos. Tais informações corroboram com os resultados encontrados por Amarante et al. (2010), onde a incidência de escaldadura superficial foi reduzida nos frutos tratados com 1-MCP, mesmo quando a aplicação do produto ocorreu 20 dias após a colheita dos frutos. A menor incidência de escaldadura superficial nos frutos mantidos em 0,5 e 0,25 kPa de O_2 e/ou tratados com 1-MCP é explicado por serem tratamentos que diminuem a produção de etileno, promovem a integridade da membrana celular e reduzem o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (SABBAN-AMIN et al., 2011).

Tabela 5 - Incidência de escaldadura superficial em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Saída da câmara		7 dias	
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses
AR (21 kPa O ₂)	37,3aA	44,8aA	71,6aA	83,5abA
AR + 1-MCP	0,0bB	8,4cA	2,1cA	8,1cA
2,0 kPa O ₂	2,3bB	24,0bA	32,7bB	61,5aA
1,0 kPa O ₂	0,0bA	1,1dA	5,7cB	41,7bA
0,6 kPa O ₂	0,0bA	0,0dA	0,0cA	0,0dA
0,25 kPa O ₂	0,0bA	0,0dA	0,0cA	0,0dA
Média	-	-	-	-
CV (%)	28,8		45,1	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O armazenamento prolongado (8 meses) dos frutos do tratamento AR + 1-MCP e AC em 2,0 kPa de O₂ apresentaram maior incidência de escaldadura superficial, quando comparado ao armazenamento de 4,5 meses. Segundo Farneti et al. (2015), a escaldadura superficial em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob refrigeração se torna mais evidente após 4 meses de armazenamento.

O efeito das condições de AC sobre a ocorrência de polpa farinácea aos 4,5 meses de armazenamento foi similar ao uso do 1-MCP, apresentando menores valores comparados aos frutos em AR sem 1-MCP (Tabela 6). Aos 8 meses de armazenamento, a condição de AC com 2 kPa de O₂ apresentou valores superiores de polpa farinácea em relação as demais pressões parciais (1,0 a 0,25 kPa de O₂). Os tratamentos de 0,6 e 0,25 kPa de O₂ apresentaram as menores ocorrências de polpa farinácea, e se mantiveram valores baixos nos dois períodos de armazenamento. Os resultados deste trabalho se assemelham com os dados obtidos por Both et al. (2016), no qual maçãs 'Royal Gala', armazenadas por oito meses em AC nas pressões parciais de 0,7 e 0,5 kPa de O₂, apresentaram menor ocorrência de polpa farinácea. Brackmann et al. (2008) afirmam que o armazenamento em AC para maçãs 'Galaxy' resulta em menor ocorrência de polpa farinácea quando submetidas a condições de 0,8 a 1 kPa de O₂ + 2,5 kPa de CO₂. A eficiência do 1-MCP na redução da polpa farinácea também foi

reportada por Hackbarth et al. (2017) em maçãs 'Galaxy' armazenadas sob refrigeração.

O aspecto farináceo está relacionado com o aumento na degradação de protopectina (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), resultando em uma menor adesão das células da polpa (WEBER et al., 2011). Este distúrbio fisiológico também é interferido pela alta taxa respiratória, que promove a perda de turgor celular, devido a redução do potencial osmótico, e um aumento de água nos espaços intercelulares, ocasionando maior degradação da lamela média (BARREIRO et al., 2000).

Apesar da menor ocorrência de polpa farinácea, as pressões parciais de 0,25 e 0,6 kPa de O₂ proporcionaram maior incidência de escurecimento de polpa, porém não diferiram significativamente dos frutos armazenados em 1,0 kPa de O₂ e daqueles que receberam aplicação de 1-MCP (Tabela 6). Berghetti et al. (2020) também encontraram maior incidência de escurecimento de polpa em maçãs 'Royal Gala' armazenadas por 9 meses em AC com pressões parciais de 0,25 kPa O₂ + 0,0 kPa CO₂, e observaram uma correlação deste distúrbio com a produção em maiores concentrações de acetaldeído e acetato de etila.

Tabela 6 - Incidência de polpa farinácea e escurecimento de polpa em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Polpa farinácea		Escurecimento de polpa		Média
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses	
AR (21 kPa O ₂)	97,6aA	97,6aA	10,0	8,6	9,3b
AR + 1-MCP	34,6bB	63,0bA	11,8	21,5	13,6ab
2,0 kPa O ₂	34,6bB	85,9aA	11,9	12,8	12,3b
1,0 kPa O ₂	41,4bB	67,4bA	12,0	17,8	14,9ab
0,6 kPa O ₂	34,4bA	39,2cA	25,0	23,3	24,2a
0,25 kPa O ₂	48,6bA	37,1cA	14,8	24,6	19,7a
Média	-	-	14,2A	18,1A	
CV (%)	15,7		29,6		

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

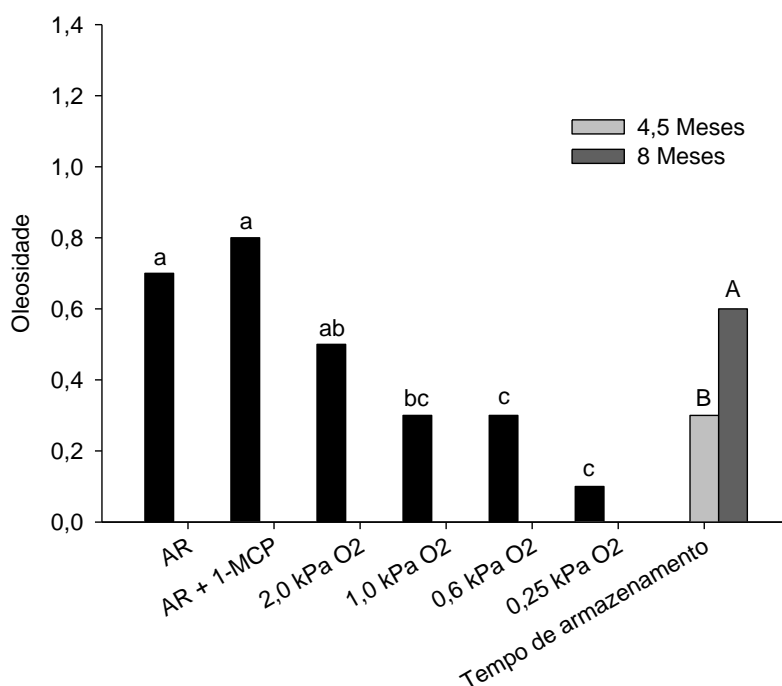
Segundo Jobling et al. (2005), além da alta correlação com a época de colheita dos frutos, a incidência de escurecimento de polpa em maçãs 'Pink Lady[®]' está fortemente relacionada com baixos níveis de oxigênio e altos níveis de CO₂ durante o armazenamento, embora os autores sugiram que as condições de armazenamento não seja o principal fator para a ocorrência do distúrbio fisiológico.

O escurecimento de polpa em maçãs 'Pink Lady[®]' é resultado de um dano por frio nas membranas celulares do córtex do fruto, que são relativamente maiores que as demais células da polpa e apresentam uma fina parede celular (JAMES; JOBLING, 2008). Este distúrbio em maçãs 'Pink Lady[®]' segundo os mesmos autores, é decorrente do armazenamento em câmara fria com temperaturas inferiores a 3°C. Porém, Brackmann et al. (2005a) recomendam a temperatura de 0,5°C para melhor qualidade de maçãs Pink Lady em atmosfera controlada.

Os frutos tratados com 1-MCP não diferiram em nenhuma das pressões parciais de O₂ (2,0, 1,0, 0,6 e 0,25 kPa) e do AR para o escurecimento de polpa. Diferente do obtido neste trabalho, o aumento na incidência de escurecimento de polpa em frutos tratados com 1-MCP foi relatado por Jung e Watkins (2011), em maçãs 'Empire', que encontraram maior atividade da enzima polifenol oxidase quando comparados a frutos não tratados com 1-MCP. Segundo os autores, a incidência do distúrbio é mais visível conforme o armazenamento é mais prolongado.

O armazenamento em AC (1,0, 0,6 e 0,25 kPa de O₂) reduziu de forma significativa o grau de oleosidade na epiderme dos frutos, no momento de saída da câmara e após sete dias em temperatura ambiente (Figuras 3 e 4). Estes dados confirmam os resultados de Watkins e Nock (2005), que também obtiveram redução da oleosidade em maçãs armazenadas em AC. Watkins e Nock (2012) em armazenamento de maçãs "Honeycrisp", observaram menor incidência de oleosidade na epiderme associada à menor pressão parcial de O₂ e maior pressão parcial de CO₂ no armazenamento.

Figura 3 - Oleosidade da epiderme em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento.



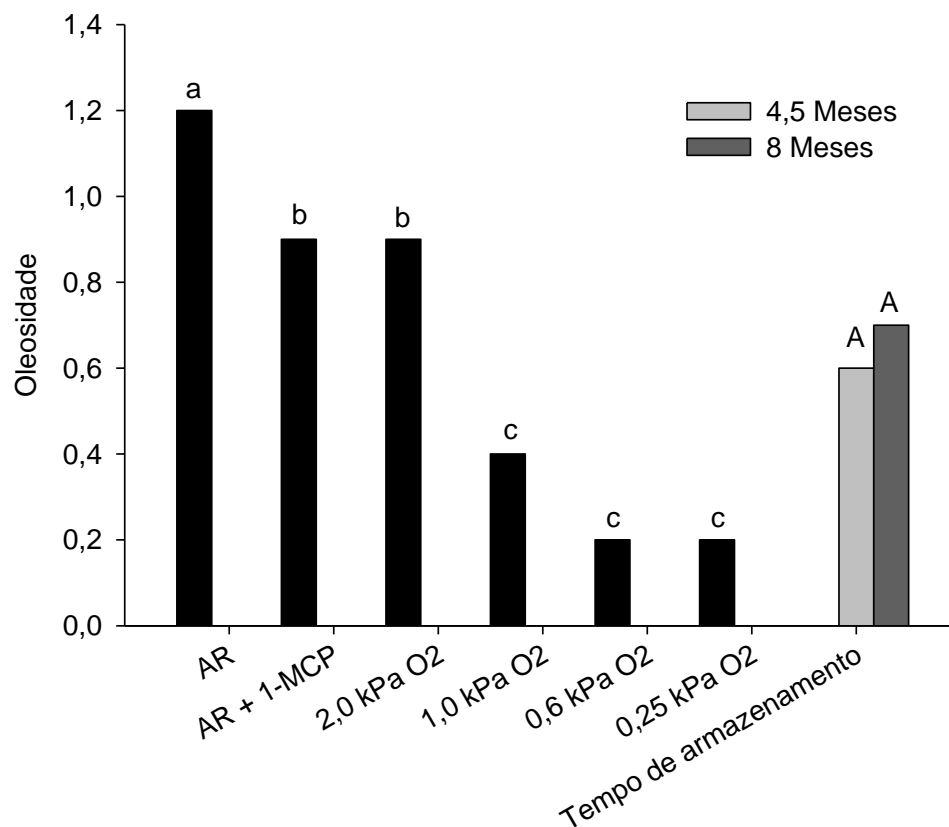
Médias seguidas por letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Escala de oleosidade: 0 = ausência; 1 = leve; 2 = moderada; 3 = alta.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A oleosidade sobre a casca de algumas cultivares de maçã, incluindo 'Cripps Pink', está relacionado com a cera cuticular da epiderme. Durante o armazenamento, o aspecto gorduroso é resultado de uma mudança de fase das ceras de sólido para líquido, devido a acumulação de constituintes mais fluidos como ésteres e álcoois de cadeia curta (YANG et al., 2017a).

Frutos tratados com 1-MCP diferiram dos frutos mantidos em AR sem 1-MCP para a oleosidade, em ambos os períodos de armazenamento mais 7 dias de exposição dos frutos em condições ambiente (Figura 4). Curry (2008) verificou atraso no desenvolvimento dos constituintes da cera em maçãs mantidas em armazenamento refrigerado (-1°C) e tratadas com 1-MCP, o que pode explicar o resultado deste trabalho, no qual os frutos tratados com 1-MCP apresentavam menor oleosidade que o AR após sete dias em condição ambiente.

Figura 4 - Oleosidade da epiderme em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.



Médias seguidas por letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Escala de oleosidade: 0 = ausência; 1 = leve; 2 = moderada; 3 = alta. Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Yang et al. (2017b) também verificaram que a aplicação de 1-MCP foi capaz de suprimir o desenvolvimento de oleosidade durante o armazenamento de 'Cripps Pink', devido a redução no acúmulo de constituintes líquidos da cera.

O armazenamento em AC com 0,25 kPa de O₂ e os frutos armazenados em AR apresentaram as maiores concentrações de acetaldeído, etanol e acetato de etila (Tabela 7). Os frutos das demais pressões parciais de O₂ e aqueles armazenados em AR, com ou sem aplicação de 1-MCP, não diferiram entre si quanto à produção de etanol aos 4,5 e 8 meses de armazenamento.

Em condições normais de disponibilidade de oxigênio atmosférico, o fruto realiza respiração aeróbica em grande proporção comparado à respiração anaeróbica. Uma menor disponibilidade de oxigênio altera o metabolismo do fruto e induz a rotas alternativas, como a fermentação, para a produção de ATP, após a

formação do piruvato nas reações da glicólise, e a rota do ciclo do ácido cítrico é fortemente reduzida (BAILEY-SERRES et al., 2012). Tais rotas alternativas formam compostos que, em concentrações elevadas, não são desejáveis por resultar em *off-flavors* (WHITAKER, 2008). A produção destes compostos também está relacionada com uma maior atividade da enzima piruvato desidrogenase, que converte o ácido pirúvico em acetaldeído, no metabolismo anaeróbico (WEBER et al., 2019).

A maior taxa de produção de etanol com a diminuição dos níveis de oxigênio é reportada por Lumpkin et al. (2014), que indicam ser um bom parâmetro para diagnosticar estresse no armazenamento. Saquet e Streif (2008) observaram que a maior produção de etanol e acetaldeído em maçãs armazenadas em AC é visível a partir de quatro meses de armazenamento. Os mesmos autores afirmaram que após 8 dias de *shelf life* de maçãs mantidas por 6 meses em AC, os frutos tiveram menor concentração destes compostos quando comparados à saída da câmara, por provável volatilização ou metabolização em condições ambientes. Tal comportamento pode ter ocorrido na presente pesquisa, uma vez que não houve diferenças entre os tratamentos de 2,0, 1,0 e 0,6 kPa de O₂.

Os resultados semelhantes obtidos com o tratamento AR e a menor pressão parcial de oxigênio podem ter ocorrido por diferentes situações não avaliadas neste trabalho. Cukrov et al. (2016) relataram que a produção de etanol em maçãs mantidas em condições hipóxicas (0,4 e 0,8 kPa de O₂) apresentou um pico de produção com o decorrer do tempo, e em seguida, a concentração de etanol diminuiu até se igualar aos frutos mantidos em condições atmosféricas normais. Boeckx et al. (2019) também encontraram redução de acetaldeído, etanol e acetato de etila após um período de alta produção durante o armazenamento de maçãs 'Jonagold' em AC. Segundo os autores, os frutos podem ter ativado outras vias alternativas como o metabolismo da alanina, já que as perdas de carbono pela via fermentativa se apresentaram como ineficientes para obtenção de energia. De acordo com Pesis (2005), em frutos de estádios avançados de maturação a atividade mitocondrial celular pode ser reduzida por prováveis danos na membrana, tornando a respiração aeróbica ineficiente para obtenção de energia, e aumentando a respiração anaeróbica no citoplasma.

Frutos tratados com 1-MCP apresentaram valores menores que os frutos em AR, e se mostrou semelhante aos tratamentos de AC nas pressões parciais

de 2,0, 1,0 e 0,6 kPa de O₂. A menor produção de compostos do metabolismo fermentativo pelo uso do 1-MCP é reportado por Thewes et al. (2018), que observaram a supressão de acetaldeído, etanol e acetato de etila em maçãs 'Pink Lady®' tratadas com 1-MCP e armazenadas sob condições de baixo oxigênio, independente do grau de maturação dos frutos.

Tabela 7 - Produção de acetaldeído, etanol e acetato de etila em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$)		
	4,5 meses	8 meses	Média
AR (21 kPa O ₂)	1,4	1,3	1,3a
AR + 1-MCP	0,5	0,8	0,6b
2,0 kPa O ₂	0,6	0,5	0,6b
1,0 kPa O ₂	0,8	0,3	0,5b
0,6 kPa O ₂	0,6	0,3	0,5b
0,25 kPa O ₂	1,4	1,4	1,4a
Média	0,9A	0,8A	
CV %	77,5		
	Etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$)		
	4,5 meses	8 meses	Média
AR (21 kPa O ₂)	21,8	15,3	18,5ab
AR + 1-MCP	8,4	18,2	13,3b
2,0 kPa O ₂	10,9	12,2	11,5b
1,0 kPa O ₂	14,9	6,8	10,8b
0,6 kPa O ₂	11,9	11,7	11,8b
0,25 kPa O ₂	24,6	35,8	30,2a
Média	15,4A	16,7A	
CV %	83,2		
	Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$)		
	4,5 meses	8 meses	Média
AR (21 kPa O ₂)	6,2	6,9	6,5a
AR + 1-MCP	3,8	5,0	4,4c
2,0 kPa O ₂	4,4	5,0	4,7c
1,0 kPa O ₂	5,4	5,5	5,5abc
0,6 kPa O ₂	4,7	5,4	5,1bc
0,25 kPa O ₂	6,7	5,8	6,3ab
Média	5,2A	5,6A	
CV %	26,7		

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O teor de compostos fenólicos totais (CFT) antes do armazenamento foi de 61,1 mg EAG 100g⁻¹ no tecido da casca e 14,3 mg EAG 100g⁻¹ na polpa. Os dados de CFT na casca e polpa após o armazenamento em AC e tratamento com 1-MCP estão apresentados na Tabela 8. Em ambos os tecidos avaliados houve interação entre os tratamentos e períodos de armazenamento. Embora represente a menor proporção comestível do fruto, a casca da maçã apresenta maiores concentrações de CFT que a polpa. Os polifenóis presentes na casca são responsáveis, em grande parte, pela atividade antioxidante total em maçãs (NAPOLITANO et al., 2004).

De maneira geral, polpa e casca apresentaram maiores valores de CFT em maçãs após o armazenamento mais prolongado (8 meses). Em ambos os períodos de armazenamento, as condições de AC apresentaram maiores teores de CFT na casca, comparadas ao AR. Os melhores resultados para CFT na polpa foram obtidos nos frutos armazenados a 0,25 kPa de O₂, aos 4,5 e 8 meses de armazenamento. Segundo Stanger et al. (2018), o armazenamento de maçãs sob condições de extremamente baixo oxigênio resulta em maior quantidade de compostos fenólicos nos frutos, devido a um provável estresse do fruto, induzido pela restrição deste gás. Kałużewicz, Gąsecka e Spizewski (2017) também relacionaram o aumento de CFT no período pós-colheita como resultado de um estresse abiótico. Hoang et al. (2011) encontraram aumento dos flavonoides quercetina 3-galactosídeo e quercetina 3-glucosídeo na casca de maçãs 'Cripps Pink' após o armazenamento de 160 dias em AC (2 kPa O₂ + 2 kPa CO₂). Entretanto, Matthes e Schmitz-Eiberger (2012) observaram valores constantes para CFT em maçãs 'Honeycrisp' armazenadas por 4,5 meses em AC.

Apesar do AR apresentar os menores valores para CFT após o armazenamento, ainda possui valores maiores quando comparado aos frutos antes do armazenamento, com exceção do tecido da polpa aos 4,5 meses. Napolitano et al. (2004) atribuiu o aumento de compostos fenólicos em maçãs de AR à ação do etileno, que aumentou durante seu período pós-colheita, estimulando a atividade das rotas de formação de compostos fenólicos. Segundo Adyanthaya et al. (2009), o metabolismo dos compostos fenólicos e enzimas ligadas a estes processos contribuem para manter a qualidade de maçãs durante seu período de armazenamento, possibilitando obter frutos com maiores benefícios à saúde.

Embora o 1-MCP tenha apresentado valores semelhantes à AC nos primeiros 4,5 meses para o tecido da casca, no armazenamento prolongado não se mostrou efetivo, não diferindo do tratamento controle. Na polpa, o tratamento com 1-MCP não diferiu dos frutos armazenados em AR sem 1-MCP e em AC, em ambos os períodos de armazenamento. Ma et al. (2019) relatam que o 1-MCP atua de maneira diferente para cada composto fenólico individual, podendo ser resultado da ação dupla do produto, que além de inibir a ação do etileno e retardar a senescência dos frutos, pode inibir a ação da enzima fenilalanina amônia liase, interrompendo o metabolismo normal dos compostos fenólicos. Hoang et al. (2011) afirmaram que a aplicação de 1-MCP pode reduzir alguns compostos fenólicos na casca e polpa de maçãs 'Cripps Pink'. Maclean et al. (2006) observaram que mesmo em maçãs tratadas com 1-MCP, a concentração de cianidina 3-galactosídeo reduziu nos períodos mais longos de AR, e atribuem este comportamento a possíveis efeitos de espécies reativas de oxigênio produzidas pelo fruto como resultado do estresse fisiológico prolongado do frio. Os mesmos frutos também tiveram a síntese do ácido clorogênico inibida pelo 1-MCP.

Tabela 8 - Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de massa fresca) na polpa e casca em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Casca		Polpa	
	4,5 meses	8 meses	4,5 meses	8 meses
AR (21 kPa O ₂)	77,3cB	94,1cA	12,2cbB	16,1bA
AR + 1-MCP	104,4abA	91,9cA	12,4bB	17,7abA
2,0 kPa O ₂	98,6bB	115,0bA	13,0bB	16,6abA
1,0 kPa O ₂	109,6abA	115,3bA	11,0cB	16,4bA
0,6 kPa O ₂	114,5aB	137,8aA	13,5bB	17,1abA
0,25 kPa O ₂	94,8bB	131,8aA	16,8aA	18,1aA
Média	-	-	-	-
CV %	9,8		8,0	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Diferentes resultados do uso do 1-MCP sobre o teor de CFT são reportados por Gago et al. (2015), que observaram valores constantes ou o aumento no CFT em maçãs em diferentes colheitas, comparado aos frutos sem tratamento.

A atividade antioxidante total (AAT) das maçãs 'Cripps Pink', no momento da colheita, foi de 4729,0 e 317,6 $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ para casca e polpa, respectivamente, pelo método ABTS. Pelo método DPPH, a casca apresentou 1516,2 $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ e a polpa 78,1 $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$.

A AAT pelo método ABTS apresentou interação entre os fatores período e condições de armazenamento para os tecidos da polpa e casca (Tabela 9). Embora o armazenamento mais prolongado tenha aumentado a AAT na casca em todos os tratamentos, a polpa apresentou menor AAT, com exceção da AC com 2,0 kPa de O_2 . A condição de 0,25 kPa de O_2 no armazenamento por 8 meses apresentou a maior AAT em relação aos demais tratamentos para manter altos valores de AAT na casca, e embora tenha tido os maiores resultados também para a polpa, não diferiu dos frutos controle. Segundo Łata (2008), o armazenamento em AC apresenta maior capacidade em manter a AAT de maçãs por maior tempo, quando comparado ao armazenamento refrigerado.

A AAT, pelo método DPPH, apresentou menores valores para a casca quando os frutos foram mantidos por 8 meses, em todos os tratamentos. Apesar do AR aparentemente não manter os níveis de AAT que a AC, Bal (2017) encontrou níveis ligeiramente maiores para AAT em maçãs 'Rosy Glow' armazenadas em AR por 4 meses, quando comparado ao momento da colheita. Este resultado também foi encontrado no presente trabalho, apresentando um aumento de até 50% na AAT da casca pelo método DPPH, nos frutos com 8 meses de AR em relação ao momento da colheita.

Tabela 9 - Atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca na polpa e casca em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 4,5 e 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos à condição ambiente.

	Casca			Polpa	
	ABTS		Média	4,5 meses	8 meses
	4,5 meses	8 meses			
AR (21 kPa O ₂)	5626,0bB	6669,8bA	-	479,9dA	399,4abB
AR + 1-MCP	4611,9cB	5918,3cA	-	1107,6aA	343,0bcB
2,0 kPa O ₂	6196,9aA	6628,0bA	-	403,8eA	336,5bcA
1,0 kPa O ₂	5914,1abA	6010,0cA	-	595,2cbA	357,2bcB
0,6 kPa O ₂	5959,9abB	6784,9bA	-	640,4bA	312,4cB
0,25 kPa O ₂	5524,9bB	7320,5aA	-	549,3cdA	436,8aB
Média	-	-	-	-	-
CV %	6,1			10,0	
	DPPH				
AR (21 kPa O ₂)	2416,0	2162,4	2289,2abc	127,7bA	93,4cB
AR + 1-MCP	2605,8	2173,3	2389,5ab	143,8bA	162,5bA
2,0 kPa O ₂	2248,4	1978,6	2113,5cd	100,0cB	186,6aA
1,0 kPa O ₂	2066,3	2081,5	2073,9d	135,2bB	173,5abA
0,6 kPa O ₂	2201,9	2217,4	2209,7bcd	148,9bA	172,8abA
0,25 kPa O ₂	2461,4	2498,7	2480,0a	186,0aA	170,8abA
Média	2333,3A	2185,3B		-	-
CV %	9,1			11,1	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Ambos os testes utilizados para avaliação de atividade antioxidante em alimentos são descritos em diversas pesquisas (THAIPONG et al., 2006; SUCUPIRA et al., 2012; SCHAICH; TIAN; XIE, 2015). Porém, Floegel et al. (2011) sugere que o teste ABTS apresenta resultados superiores ao teste DPPH quando se avaliam tecidos ricos em pigmentos, e seria mais indicado em tais situações, como a casca de maçãs, por exemplo.

3.5 CONCLUSÕES

Entre as diferentes pressões parciais de oxigênio avaliadas, o armazenamento em 0,6 kPa de O₂ apresentou os melhores resultados para a redução na ocorrência de escaldadura, podridões, polpa farinácea e oleosidade. Embora tenha apresentado os maiores valores para escurecimento de polpa, esta mesma condição induziu uma baixa produção de compostos resultantes do metabolismo anaeróbico e apresentou o maior número de frutos sadios após os períodos de armazenamento (4,5 e 8 meses).

A utilização do 1-MCP mostrou-se eficaz para a redução da taxa respiratória e produção de etileno e escaldadura superficial, resultando em maior número de frutos sadios aos 4,5 meses de armazenamento, embora não tenha efeito sobre a cor de fundo.

O teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total, em geral, foram mais elevados em frutos armazenados em atmosfera controlada nas condições mais baixas de O₂ (1,0, 0,6 e 0,25 kPa) e por maior período.

4 PERFIL AROMÁTICO DE MAÇÃS CRIPPS PINK ARMAZENADAS EM DIFERENTES PRESSÕES PARCIAIS DE OXIGÊNIO E TRATADAS COM 1-MCP

4.1 RESUMO

Embora o armazenamento prolongado de maçãs possa ser efetivo e apresentar resultados satisfatórios na manutenção da qualidade dos frutos, o perfil aromático pode apresentar alterações durante este período de acordo com as condições de armazenagem. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento com 1-MCP e de diferentes pressões parciais de O₂ sobre o perfil aromático de maçãs 'Cripps Pink' após 8 meses de armazenamento. Os tratamentos utilizados foram 21,0 kPa de O₂ (armazenamento refrigerado; AR), 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂, 0,25 kPa de O₂ e 21,0 kPa de O₂ combinado com 1-MCP (1,0 µL L⁻¹). Em todas as condições de armazenamento a pressão parcial de CO₂ permaneceu <0,5 kPa. Os frutos foram armazenados durante 8 meses na temperatura de 1,5±0,2°C e UR 92±2%. Após saída da câmara, os frutos foram mantidos em condição ambiente (23±5°C/ UR de 60±5%) por 7 dias e coletadas as amostras para identificação dos compostos voláteis. A amostragem foi realizada através da coleta de duas cunhas opostas de cada fruto, maceradas e adicionada uma solução saturada de CaCl₂ em proporção 1:1, para posterior análise em cromatógrafo gasoso acoplado com espectômetro de massas. Foram identificados 57 diferentes compostos voláteis, majoritariamente classificados como ésteres. O tratamento com 1-MCP não resultou em alterações significativas na composição dos ésteres, mas reduziu a emissão de alguns álcoois, em relação aos frutos sem 1-MCP. As pressões parciais extremamente baixas de O₂ reduziram a emissão de alguns ésteres e do α-farneseno. A pressão parcial de 0,25 kPa de O₂ induziu a produção/emissão de etanol nos frutos armazenados. A composição dos aldeídos não foi alterada pelos tratamentos avaliados, após 8 meses de armazenamento. O armazenamento em AR, AR + 1-MCP, e em AC com baixo (2 kPa) e ultrabaixo (1kPa) de O₂ apresentou os melhores resultados para perfil de compostos voláteis. Palavras-chave: compostos voláteis, ésteres, pós-colheita, atmosfera controlada.

4.2 INTRODUÇÃO

O perfil aromático de frutos em geral é composto pela síntese e emissão de compostos voláteis que, em grande parte, são classificados como terpenoides ou são derivados da classe dos ácidos graxos. A formação e liberação destes compostos é dependente, em grande maioria, de mais de uma via bioquímica (HADI et al., 2013), e envolve a conjugação de vários açúcares, ácidos e compostos fenólicos (GONÇALVES et al., 2018).

O aroma em maçã é uma combinação de diversos grupos químicos, entre os quais os ésteres, álcoois, aldeídos e cetonas são os grupos majoritários (SONG; FORNEY, 2008). A composição e quantidade de compostos aromáticos em maçãs é variável, conforme seu estágio de maturação na colheita e seu tempo

de amadurecimento pós-colheita, influenciando na qualidade sensorial dos frutos (RIZZOLO; GRASSI; ZERBINI, 2006). Entretanto, segundo Goff (2006), o impacto destes compostos químicos na percepção de sabor e/ou aroma é variável não apenas com suas concentrações no fruto, mas também com a capacidade do consumidor em sentir ou perceber.

Segundo Gonçalves et al. (2018), os fatores pós-colheita como aplicação de produtos químicos e a alteração da atmosfera de armazenamento interferem na expressão de genes, que podem alterar o aroma do produto final. O 1-MCP, como exemplo de aplicação química em frutos, é capaz de reduzir a emissão de compostos voláteis em maçãs tratadas (MARIN et al., 2009). Segundo Schmidt et al. (2020), a combinação do 1-MCP aliado à tecnologia da AC compromete a emissão de compostos voláteis importantes em maçãs, por reduzir a produção de etileno nos frutos tratados, reduzindo a atividade da enzima aciltransferase, que está relacionada com a formação de ésteres. Em maçãs, os genes da família lipoxigenase (LOX) são descritos, em diferentes pesquisas relacionadas à produção de voláteis nos frutos (VOGT et al., 2013; SCHILLER et al., 2015), com diferentes respostas de regulação pelo etileno para cada gene específico (SCHAFFER et al., 2007).

A influência de condições de baixa disponibilidade de O₂ durante o armazenamento sobre a produção/emissão de voláteis é muito dependente do tipo de AC utilizada. Song e Bangerth (2003) sugerem que frutos mantidos em AC tendem a ter maior quantidade de ácidos graxos e ATP, o que poderia resultar em maior quantidade de substrato utilizado na formação dos compostos voláteis, resultando em frutos mais aromáticos. No entanto, Lumpkin et al. (2015) não verificaram diferenças significativas em diversos compostos voláteis de maçãs armazenadas em AC (1,0 kPa de O₂ combinado com 0,5; 1,5 e 5 kPa de CO₂) e em AR, como octanal, acetato de metila, pentanal, decanal e estragol, sugerindo que a produção destes compostos não tem relação direta com as condições de atmosfera durante o armazenamento, embora outros compostos tenham apresentado comportamentos de aumento ou diminuição das concentrações. De acordo com Schmidt et al. (2020), a emissão total de ésteres em maçãs pode aumentar durante o armazenamento sob condições de forte restrição de O₂. Embora os autores tenham comparado dois modelos de armazenamentos distintos, AC convencional (1,2 kPa O₂ + 0,7 kPa CO₂) com AC dinâmica (0,4 kPa

O₂ + 0,7 kPa CO₂) monitorada por fluorescência de clorofilas, o efeito bioquímico da baixa pressão de O₂ sobre o perfil de voláteis nos frutos pode ter ação semelhante.

Embora possa apresentar vantagens, a AC quando utilizada de forma equivocada pode causar prejuízos aos produtores. Condições de armazenamento com baixa disponibilidade de O₂, se mantidas durante um período prolongado, podem comprometer o perfil aromático desejável, por induzir a respiração anaeróbica dos frutos, gerando acúmulo de etanol, acetaldeído e acetato de etila, produzindo *off-flavors* (PORAT; FALLIK, 2008). Desta maneira, embora os frutos possam visualmente estar em boas condições, suas características aromáticas podem ter sido comprometidas, uma vez que a vida pós-colheita avaliada pelo sabor e valor nutricional é menor do que a qualidade avaliada pela textura e aparência (FALLIK; ILIC, 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento com 1-MCP, em armazenamento refrigerado, e de diferentes pressões parciais de O₂ sobre o perfil aromático de maçãs 'Cripps Pink' após 8 meses de armazenamento, seguido de sete dias de vida de prateleira.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com maçãs 'Cripps Pink' colhidas em um pomar comercial no município de Vacaria, RS, (28° 30' 44" de latitude sul e 50° 56' 02" de latitude oeste) na safra 2017/2018. Após a colheita os frutos foram transportados ao laboratório, onde procedeu-se a homogeneização dos frutos e a preparação das unidades experimentais. Os frutos foram armazenados em minicâmaras experimentais nas seguintes condições: 20 kPa de O₂ (armazenamento refrigerado), 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂, 0,25 kPa de O₂ e 20 kPa de O₂ mais a aplicação de 1-MCP (1,0 µL L⁻¹), todos na temperatura de 1,5±0,2 °C e umidade relativa de 92±2%, com a instalação gradativa das atmosferas. A pressão parcial de CO₂ em todas condições de armazenamento permaneceu <0,5 kPa.

A instalação gradativa das atmosferas controladas ocorreu durante cinco semanas, com a injeção de N₂ gasoso industrial para a redução da pressão parcial de oxigênio nas minicâmaras. No primeiro dia de armazenamento os frutos dos

tratamentos 2 kPa de O₂, 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ foram submetidos a 5 kPa de O₂, e permaneceram nesta condição durante uma semana. Na semana seguinte, as atmosferas foram alteradas para 2 kPa de O₂, mantendo-se esta pressão parcial durante o restante do armazenamento na condição 2,0 kPa de O₂, e por uma semana, nos tratamentos 1,0 kPa, 0,6 kPa e 0,25 kPa de O₂. Na terceira semana, os frutos dos tratamentos 1 kPa de O₂, 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ permaneceram armazenados em condição de 1 kPa de O₂ por mais uma semana. Na quarta semana, os frutos dos tratamentos 0,6 kPa de O₂ e 0,25 kPa de O₂ foram submetidos a 0,5 kPa de O₂. Após uma semana, a pressão parcial foi reduzida para 0,25 kPa nos frutos deste tratamento, permanecendo assim até o final do armazenamento. As atmosferas de armazenamento foram verificadas diariamente, com um analisador de gases, sendo realizadas as correções das pressões parciais de O₂, quando necessária.

Todas as minicâmaras continham sachês de cal hidratada [Ca(OH)₂] para absorção de CO₂ no ambiente. Os frutos permaneceram armazenados durante 8 meses nas condições supracitadas, mais 7 dias de vida de prateleira (23±5°C e UR 60±5%), quando então procedeu-se a amostragem de tecido (casca + polpa) para posterior análise do perfil de compostos voláteis. A amostragem foi realizada retirando-se duas cunhas, em regiões opostas de cada fruto. Em seguida, o material foi triturado e homogeneizado e retirou-se uma alíquota de 10 g. Essa amostra foi misturada a uma solução saturada de cloreto de cálcio, em proporção 1:1 para amostra e solução. As amostras permaneceram armazenadas em freezer até o momento da leitura. Foi realizada uma leitura para cada repetição, de cada tratamento.

Para o isolamento dos compostos voláteis utilizou-se 3 g da solução 1:1, previamente descongelada, e acondicionada em frasco vial (40 mL) com *head space* para leitura em cromatógrafo gasoso PerkinElmer, modelo Clarus 680 GC acoplado ao espectrômetro de massas. A amostra permaneceu em equilíbrio em placa aquecedora por 10 min (40°C ± 1°C), sendo constantemente agitada por uma barra magnética dentro do vial. Em seguida, a fibra 50/30 µm DVB/CAR/PDMS Metal alloy/Metal alloy (1 cm) Gray/plain foi exposta no vial por 15 min (40°C ± 1°C) e depois injetada no cromatógrafo, com tempo de dessorção de 5 min. O tempo total da corrida foi de 34 min, com uma temperatura inicial de 30°C durante 5 min e uma rampa de aquecimento a uma taxa de 5°C min⁻¹ até a

temperatura máxima de 160°C, que foi mantida por 3 min. A temperatura do injetor e do detector foi de 250°C para ambos, e utilizou-se o gás hélio como gás de arraste a uma vazão de 1,0 mL min⁻¹.

A identificação dos compostos foi baseada na própria biblioteca do cromatógrafo, que indicava a probabilidade da similaridade do composto da amostra com os dados contidos no software. A semiquantificação dos compostos foi realizada com 2 µL de um padrão de n-alkanos C7-C40 lida nas mesmas configurações da corrida das amostras, e a área de cada composto foi calculada a partir da área n-alcano mais próximo (RUIZ-HERNANDEZ et al., 2018).

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e unidade experimental composta de 24 frutos. As médias foram comparadas pelo teste LSD (p<0,05).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 57 diferentes compostos foram identificados pelo cromatógrafo acoplado com espectrômetro de massas (Tabela 10). As principais classes observadas nas maçãs Cripps Pink foram os ésteres, aldeídos e álcoois, de acordo com Schmidt et al. (2020), em maçãs Braeburn.

Tabela 10 - Perfil de compostos voláteis (µg L⁻¹) em maçãs 'Cripps Pink' armazenadas sob diferentes condições de armazenamento, após 8 meses de armazenamento e mais 7 dias de exposição dos frutos em condição ambiente.

Composto	AR (21 kPa O ₂)	AR + 1-MCP	2,0 kPa O ₂	1,0 kPa O ₂	0,6 kPa O ₂	0,25 kPa O ₂
<i>Ésteres</i>						
Butanoato de etila	21,8 bc	17,6 bc	15,6 bc	7,1 c	42,7 a	24,0 b
Acetato de butila	57,7 a	46,5 a	42,1 ab	16,8 bc	10,9 c	7,6 c
Acetato de 2-metilbutil	21,3 b	46,4 ab	42,4 ab	53,1 a	33,5 ab	26,9 ab
Hexanoato de etila	4,4 b	3,1 b	3,3 b	2,1 b	1,8 b	14,9 a
Acetato de hexila	78,5 a	85,0 a	73,1 ab	60,3 ab	41,4 b	43,9 b
Butil 2-metilbutanoato	5,0 b	15,3 a	5,5 b	2,6 b	3,4 b	2,3 b

Propanoato de hexila	4,0 bc	13,3 a	11,8 a	4,7 bc	5,8 b	3,3 c
Caprilato de hexila	0,1b	0,2 a	0,2 a	0,1 b	0,1b	0,1b
Acetato de etila	11,5 b	19,3 ab	7,6 b	7,9 b	29,5 a	27,9 a
Butanoato de metila	2,6 bc	4,1 b	3,3 bc	1,7 c	6,1 a	2,4 c
Acetato de amila	4,9 b	7,5 a	4,6 bc	2,6 d	3,3 cd	1,7 d
Acetato de propila	3,6 b	14,0 a	3,8 b	nd	nd	nd
Butanoato de propila	3,2 b	8,7 a	3,6 b	0,9 b	0,9 b	nd
Butanoato de hexila	15,7 abc	24,7 a	21,8 ab	8,8 bc	7,3 c	nd
Butanoato de butila	5,6 bc	11,0 a	7,9 b	nd	3,9 cd	1,9 d
Propanoato de butila	2,8 b	11,2 a	4 b	nd	nd	nd
Propionato de propila	1,5 b	7,2	nd	nd	nd	nd
Acetato de isobutila	3,4 b	5,3 a	5,4 a	3,9 ab	3,9 ab	nd
Butanoato de isobutila	0,9 bc	5,2 a	3,4 ab	0,7 c	0,4 c	nd
Butanoato de metila	2,6 a	4,1 a	3,3 a	1,7 a	6,1 a	2,4 a
Caproato de hexila	5,4 abc	9,3 a	7,4 ab	4,5bc	4,8 bc	2,8 c
Caproato de butila	nd	22,6 a	15,2 a	nd	18,1 a	8,8 a
Caproato de propila	1,6 c	7,7 a	4,6 b	1,7 c	3,1 bc	1,9 c
Caproato de 2-metilbutil	0,7 a	0,8 a	1,0 a	0,8 ab	1,2 a	0,6 a
Acetato de 2-hexenil	58,1 a	19,0 a	18,2 a	nd	15,0 a	3,1 a
Hexil 2-metilbutirato	17,7 bc	43,4 a	26,8 b	11,5 c	13,4 bc	6,1 c
Etil α -metilbutirato	nd	0,5 b	1,5 b	1,1 b	nd	30,1 a
Propionato de etila	nd	nd	nd	nd	2,1 a	4,3 a

<i>Aldeídos</i>						
Pentanal	3,85 a	4,84 a	5,93 a	5,32 a	3,86 a	3,82 a
2-Hexenal	48,3 b	74,5 ab	89,6 ab	133,0 a	73,0 ab	77,0 ab
Hexanal	112,6 a	82,9 a	120,9 a	76,2 a	66,3 a	93,2 a
Heptanal	1,2 a	0,9 ab	1,0 ab	0,7 ab	0,7 ab	0,7 b
2-Heptenal	3,2 a	2,4 a	4,7 a	3,9 a	2,9 a	2,9 a
Decanal	0,5 b	0,6 b	1,1 a	0,8 ab	0,5 b	0,6 b
Octanal	0,6 a	nd	1,1 a	0,9 a	0,6 a	0,9 a
Acetaldeído	4,7 d	11,1 a	7,9 c	7,1 c	8,6 bc	10,1 ab
2-Octenal	4,7 a	5,5 a	7,9 a	6,2 a	4,4 a	4,5 a
<i>Álcoois</i>						
1-butanol	27,7 a	20,0 b	12,6 c	4,9 d	3,63 d	2,47 d
2-metil-1-butanol	11,3 bc	29,0 a	27,5 a	30,1 a	18,7 b	11,0 c
1-Hexanol	164,3 a	92,1 b	111,8 ab	91,1 b	63,9 b	54,2 b
Álcool heptil	1,8 a	1,4 b	1,0 c	nd	nd	nd
1-Octanol	1,3 a	1,4 a	1,0 a	nd	nd	nd
2-Hexenol	5,9 a	7,0 a	9,1 a	14,8 a	15,6 a	15,8 a
2-Pentanol	5,9 a	nd	5,2 a	nd	nd	nd
Etanol	nd	nd	nd	nd	nd	20,1
Isobutanol	1,7 a	nd	1,9 a	1,4 a	nd	nd
<i>Cetonas</i>						
Sulcatone	44,8 b	68,8 ab	62,3 ab	87,6 a	69,3 ab	79,8 a
Geranil acetona	0,32bc	0,41 ab	0,35abc	0,43 a	0,28c	0,37 abc
<i>Sesquiterpenos</i>						
α -farneseno	7,9 abc	13,1 a	10,6 ab	10,3 ab	6,8 bc	5,0 c
<i>Outros</i>						
Estragol	9,2 a	3,6 b	2,4 c	1,2 d	1,1 d	1,2 d

nd = não detectado

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Entre os ésteres com maior concentração foram identificados o acetato de hexila, com propriedade organoléptica frutada e o acetato de butila, com aroma característico doce. Os compostos ésteres respondem por mais de 80% do perfil aromático emitido por maçãs 'Mondial Gala', 'Granny Smith', 'Fuji', 'Golden Delicious', 'Starking Delicious' e 'Pink Lady' (JIANG; SONG, 2010). Em maçãs

'Pink Lady[®]' maduras, além do acetato de hexila, os ésteres caproato de hexila, butanoato de hexila e 2-metilbutanoato de hexila são majoritariamente responsáveis pela emissão dos compostos aromáticos (VILLATORO et al., 2008b). Neste trabalho, os ésteres acetato de hexila, acetato de 2-metilbutila, acetato de butila, acetato de etila e butanoato de etila foram identificados em maiores concentrações.

Defilippi, Kader e Dandekar (2005) sugerem que a composição de ésteres no perfil aromático em maçãs está relacionada com a ação do etileno, e que inibidores deste fitohormônio, como o 1-MCP, podem reduzir a taxa de produção e acúmulo destes compostos no fruto. Thewes et al, (2015b) também observaram redução na produção de etileno e em alguns compostos voláteis em maçãs 'Royal Gala' tratadas com 1-MCP. No entanto, não foi observado neste trabalho tal efeito nos frutos tratados com 1-MCP em diversos ésteres, como o butanoato de etila, acetato de butila, acetato de hexila, hexanoato de etila. Este comportamento pode ser resultado do armazenamento prolongado, onde o efeito do 1-MCP já não seria eficaz no controle de síntese e ação do etileno nos frutos. Yang et al. (2016) observaram recuperação na produção de compostos voláteis em maçãs 'Golden Delicious' mantidas em condição ambiente. Estes autores verificaram que maçãs 'Golden Delicious' apresentaram, após 40 dias do tratamento com 1-MCP, perfil do voláteis similar aos frutos não tratados aos 25 dias.

O efeito do etileno sobre a emissão de compostos voláteis foi observado também por Contreras e Beaudry (2013), que afirmam que após a produção autocatalítica do fitohormônio, a produção de hexanol e ésteres, como o acetato de hexila, aumentaram drasticamente em maçãs 'Jonagold', confirmando os resultados deste trabalho, no qual o acetato de hexila foi significativamente reduzido nos tratamentos onde a produção de etileno foi reduzida devido as condições de AC (Tabela 1). Frutos, de maneira geral, produzem diferentes compostos voláteis como indicadores de maturação (HADI et al., 2013), e a redução da emissão destes compostos aromáticos, devido ao menor grau de maturação que se encontravam após o armazenamento, estão de acordo com outros dados de qualidade, como a cor de fundo da epiderme, que também indicaram frutos mais verdes (Figuras 1 e 2).

A produção e/ou inibição de alguns ésteres foi influenciada pelas condições de armazenamento. Os compostos acetato de butila, acetato de hexila e acetato

de amila foram reduzidos nas condições abaixo de 1,0 kPa de O₂. Segundo Rudell et al. (2002), condições de anoxia podem interferir indiretamente na síntese de ésteres e álcoois, devido a modificações nos processos de síntese e oxidação de ATP no processo da respiração. Embora a atual pesquisa tenha trabalhado com condições hipóxicas, tais modificações podem ter ocorrido parcialmente nas condições de AC avaliadas. A redução na produção de ésteres em maçãs em função da AC já tinha sido reportada por Fellman et al. (2003), na cultivar Delicious. A AC também reduziu as concentrações de alguns ésteres em maçãs 'Braeburn', quando comparado a ACD (SCHMIDT et al., 2020), e em maçãs 'Galaxy', independente do estágio de maturação (THEWES et al., 2017).

Diferentemente do trabalho realizado por Villatoro et al. (2008a), que observaram que maçãs 'Pink Lady' mantidas a 2,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ apresentaram maior produção de acetato de etila e hexanoato de etila quando comparadas com o armazenamento em UBO (1,0 kPa O₂ + 1,0 kPa CO₂), as concentrações destes compostos não diferiram entre os tratamentos de 1,0 e 2,0 kPa de O₂.

A alteração nos processos metabólicos da respiração pode resultar em menor disponibilidade de substrato para as reações de formação de compostos voláteis em 'Pink Lady[®]', e não diretamente na atividade enzimática, uma vez que a ação da enzima álcool o-aciltransferase é relativamente estável durante o aumento na formação de compostos voláteis no processo de maturação (VILLATORO et al., 2008b). No entanto, Lara et al. (2007) identificaram redução na atividade das enzimas álcool o-aciltransferase e lipoxigenase em maçãs 'Mondial Gala' armazenadas por 3 meses em AC, que resultaram em menor produção de ésteres, quando comparado a frutos mantidos sob AR.

Os frutos que foram submetidos ao 1-MCP apresentaram redução dos álcoois 1-butanol e 1-hexanol. O álcool 1-hexanol também foi reduzido por efeito do inibidor de etileno em maçãs 'Royal Gala', segundo Thewes et al. (2015b). A redução da emissão de compostos voláteis, por efeito do 1-MCP, também foi reportado por Aubert, Mathieu-Hurtiger e Vaysse (2015).

A redução do oxigênio no armazenamento também reduziu a produção de α -farneseno nos frutos, que está relacionado com a ausência de escaldadura superficial nas pressões parciais de 0,6 e 0,25 kPa de O₂ (Tabela 5). Segundo Lurie e Watkins (2012), o armazenamento em UBO – AC, com níveis próximos ao

ponto de compensação aneróbico, pode controlar de maneira mais efetiva a escaldadura superficial do que AC padrão.

Embora os frutos tratados com 1-MCP tenham apresentado baixo índice de escaldadura superficial (Tabela 5), a concentração do α -farneseno está entre as mais elevadas entre os tratamentos. Possivelmente, o 1-MCP inibiu apenas a oxidação do α -farneseno em trienos conjugados, pois segundo Rowan et al. (2001) os trienos conjugados resultantes da oxidação do α -farneseno é que são os agentes causais imediatos da escaldadura, e não o α -farneseno por si só.

O armazenamento em AC parece ter pouca influência na composição dos compostos classificados como aldeídos. Nenhuma das condições atmosféricas diferiram do tratamento controle para os compostos pentanal, hexanal, 2-heptenal e octanal. Both et al. (2014) também não observaram diferença significativa na concentração do composto hexanal em maçãs “Royal Gala” mantidas em AC com pressões parciais de 1,0; 0,8; 0,7; e 0,5 kPa de O₂ por 8 meses de armazenamento.

4.5 CONCLUSÕES

O perfil de voláteis em maçãs ‘Cripps Pink’ é alterado durante o armazenamento refrigerado por influência da aplicação de 1-MCP e diferentes pressões parciais de O₂.

O tratamento com 1-MCP aplicado em frutos armazenados em AR por 8 meses reduziu de maneira significativa a produção/emissão de alguns álcoois, porém, não foi observada alteração na composição dos ésteres.

As pressões parciais extremamente baixas de O₂ (0,25 e 0,6 kPa) reduziram as concentrações de alguns ésteres (acetato de butila, acetato de hexila e acetato de amila) em relação ao AR, mas não modificou as concentrações dos compostos classificados como aldeídos.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Maçãs 'Cripps Pink' tratadas com 1-MCP apresentaram menor taxa respiratória e de produção de etileno aos 4,5 e 8 meses de armazenamento e maior número de frutos sadios em relação aos frutos não tratados armazenados em AR, por apresentar menor incidência de podridões, escaldadura e polpa farinácea. A produção de acetaldeído e acetato de etila também foram significativamente reduzidos pelo 1-MCP durante o armazenamento.

O AR + 1-MCP resultou em maior teor de compostos fenólicos totais nos frutos armazenados por 4,5 meses, resultando em maior atividade antioxidante total no tecido da polpa neste período (método ABTS). No entanto, no tecido da casca a AAT não diferiu dos frutos do AR (método DPPH).

O perfil de compostos voláteis foi alterado pelo 1-MCP com redução na concentração de alguns aldeídos, sem modificar os ésteres, que estão presentes nas maçãs 'Cripps Pink' em maior quantidade e diversidade de compostos.

Embora o tratamento com 1-MCP tenha apresentado resultados mais elevados em relação aos frutos não tratados em AR em algumas avaliações, a AC com as menores pressões parciais de O₂ apresentou resultados superiores ao 1-MCP no armazenamento mais prolongado (8 meses). De maneira geral, a pressão parcial de 0,6 kPa de O₂ apresentou os melhores resultados dentre as condições de AC, mantendo a cor de fundo da epiderme, reduzindo a oleosidade da epiderme e a incidência de escaldadura superficial, e aumentando o número de frutos sadios e de teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Além disso, esta condição não induziu a produção de compostos do metabolismo fermentativo, o que ocorreu na condição de 0,25 kPa de O₂.

O armazenamento em AC com oxigênio ultrabaixo (1,0 kPa) e extremamente baixo (0,6 e 0,25 kPa) reduziu a produção/emissão de alguns ésteres que possuem importante contribuição no perfil aromático de maçã, como acetato de butila, acetato de hexila e acetato de amila.

Os benefícios sobre a qualidade de maçãs 'Cripps Pink' devido ao tratamento AR + 1-MCP foram visíveis em armazenamento de curto período (4,5

meses). Em armazenamento mais prolongado, os tratamentos com pressões extremamente baixas de O_2 (0,6 e 0,25) foram mais eficazes na manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos.

REFERÊNCIAS

ADYANTHAYA, I. et al. Apple postharvest preservation is linked to phenolic content and superoxide dismutase activity. **Journal of Food Biochemistry**, v. 33, n. 4, p.535-556, 2009.

ALBERTI, A. **Compostos fenólicos da maçã: extração, perfil e classes fenólicas, atividade antioxidante, processamento e avaliação termoanalítica**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ANESE, R. et al. Impact of dynamic controlled atmosphere storage and 1-methylcyclopropene treatment on quality and volatile organic compounds profile of 'Galaxy' apple. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, p.100443-100455, 2020.

AUBERT, C.; MATHIEU-HURTIGER, V.; VAYSSE, P. Effects of dynamic atmosphere on volatile compounds, polyphenolic content, overall fruit quality, and sensory evaluation of 'Pink Lady®' apples. **Acta Horticulturae**, n. 1071, p.275-280, 2015.

APREA, E. et al. Sensory and instrumental profiling of 18 apple cultivars to investigate the relation between perceived quality and odour and flavour. **Food Research International**, v. 49, n. 2, p.677-686, 2012.

APAL. **The Pink Lady® Trademark**. 2019. Disponível em: <<https://pinkladyapples.com/importers-retailers/the-pink-lady-trademark/>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

AWAD, M; JAGER, A. Influences of air and controlled atmosphere storage on the concentration of potentially healthful phenolics in apples and other fruits. **Postharvest Biology and Technology**, v. 27, n. 1, p.53-58, 2003.

AKED, J. Maintaining the post-harvest quality of fruits and vegetables. **Fruit and Vegetable Processing**, p.119-149, 2002.

AMARANTE, C. et al. Alteração da eficiência do 1-MCP com o retardo na sua aplicação após a colheita em maçãs 'Fuji Suprema'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p.984-992, 2010.

BAL, E. Changes in Phenolic Compounds, Anthocyanin and Antioxidant Capacity of some Apple Cultivars During Cold Storage. In: 2nd International Balkan Agriculture Congress, 2., 2017, Turquia. **Congress Book**. p. 532-539, 2017.

BAILEY-SERRES, J. et al. Making sense of low oxygen sensing. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 3, p.129-138, 2012.

BARREIRO, P et al. Mealiness assessment in apples and peaches using MRI techniques. **Magnetic Resonance Imaging**, v. 18, n. 9, p.1175-1181, 2000.

BARROS, G. S. C. et al. **Hortifruti Brasil: Anuário 2018 - 2019**. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2018-2019.aspx>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BEKELE, E. A. et al. Dynamics of metabolic adaptation during initiation of controlled atmosphere storage of 'Jonagold' apple: Effects of storage gas concentrations and conditioning. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p.9-20, 2016.

BEKELE, E. A. et al. Metabolic profiling reveals ethylene mediated metabolic changes and a coordinated adaptive mechanism of 'Jonagold' apple to low oxygen stress. **Physiologia Plantarum**, v. 155, n. 3, p.232-247, 2015.

BEGIĆ-AKAGIĆ, A. et al. Influence of cultivar, storage time, and processing on the phenol content of cloudy apple juice. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, v. 2, n. 3, p.1-8, 2011.

BELLINCONTRO, A. et al. Postharvest ethylene and 1-MCP treatments both affect phenols, anthocyanins, and aromatic quality of Aleatico grapes and wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 12, n. 2, p.141-149, 2006.

BERGHETTI, M. R. P. et al. Extremely low oxygen partial pressures for the storage of 'Royal Gala' apple. **Bragantia**, 2020.

BLANKENSHIP, S. M; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, n. 1, p.1-25, 2003.

BODBODAK, S.; MOSHFEGHIFAR, M. Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. **Eco-friendly Technology for Postharvest Produce Quality**, p.39-76, 2016.

BOECKX, J. et al. Regulation of the fermentative metabolism in apple fruit exposed to low-oxygen stress reveals a high flexibility. **Postharvest Biology and Technology**, v. 149, p.118-128, 2019.

BONDONNO, N. P. et al. The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 69, p.243-256, 2017.

BOTH, V. et al. Effect of low oxygen conditioning and ultralow oxygen storage on the volatile profile, ethylene production and respiration rate of 'Royal Gala' apples. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p.156-164, 2016.

BOTH, V. et al. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of 'Royal Gala' apples. **Food Chemistry**, v. 156, p.50-57, 2014.

BRACKMANN, A. et al. Condições de atmosfera controlada para a maçã Pink Lady. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 504-509, 2005a.

BRACKMANN, A. et al. Temperatura e otimização da atmosfera controlada para o armazenamento de maçã 'Gala'. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 4, p.505-508, 2005b.

BRACKMANN, A. **Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil**. 2007. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va07-armazenamento03.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2018.

BRACKMANN, A. et al. Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p.2478-2484, 2008.

BRACKMANN, A. et al. Aminoethoxyvinylglycine: isolated and combined with other growth regulators on quality of 'Brookfield' apples after storage. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 3, p.221-228, 2015.

BRASIL, I. M.; SIDDIQUI, M. W. Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**, p.1-40, 2018.

CAI, H. et al. 1-MCP treatment affects peach fruit aroma metabolism as revealed by transcriptomics and metabolite analyses. **Food Research International**, v. 122, p.573-584, 2019.

CASTRO, E. et al. Biochemical factors associated with a CO₂-induced flesh browning disorder of Pink Lady apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p.182-191, 2008.

CONTRERAS, C.; BEAUDRY, R. Lipoxygenase-associated apple volatiles and their relationship with aroma perception during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 82, p.28-38, 2013.

CUKROV, D. et al. Extreme Hypoxic Conditions Induce Selective Molecular Responses and Metabolic Reset in Detached Apple Fruit. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p.1-18, 2016.

CURRY, E. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 6, p.996-1006, 2008.

DEFILIPPI, B. G.; DANDEKAR, A. M.; KADER, A. A. Relationship of Ethylene Biosynthesis to Volatile Production, Related Enzymes, and Precursor Availability in Apple Peel and Flesh Tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 8, p.3133-3141, 2005.

DONADEL, J. Z. et al. Key volatile compounds of 'Fuji Kiku' apples as affected by the storage conditions and shelf life: Correlation between volatile emission by intact fruit and juice extracted from the fruit. **Food Research International**, v. 125, p.108625-108638, 2019.

DUMONT, M.; ORSAT, V.; RAGHAVAN, V. Reducing Postharvest Losses. **Emerging Technologies for Promoting Food Security**, p.135-156, 2016.

ESPINO-DÍAZ, M. et al. Biochemistry of apple aroma: A review. **Food Technology and Biotechnology**, v. 54, n. 4, p.375-394, 2016.

FALLIK, E.; ILIC, Z. Pre-and Postharvest Treatments Affecting Flavor Quality of Fruits and Vegetables. **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**, p.139-168, 2018.

FAN, X. et al. Regulation of apricot ripening and softening process during shelf life by post-storage treatments of exogenous ethylene and 1-methylcyclopropene. **Scientia Horticulturae**, v. 32, p.63-70, 2018.

FARNETI, B. et al. Use of the index of absorbance difference (IAD) as a tool for tailoring post-harvest 1-MCP application to control apple superficial scald. **Scientia Horticulturae**, v. 190, p.110-116, 2015.

FAO. **FAOSTAT**: Crops. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 30 set. 2019.

FAWBUSH, F.; NOCK, J. F.; WATKINS, C. B. Antioxidant contents and activity of 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated 'Empire' apples in air and controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, n. 1, p.30-37, 2009.

FELLMAN, J. K. et al. Relationship of harvest maturity to flavor regeneration after CA storage of 'Delicious' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 27, n. 1, p.39-51, 2003.

FIORAVANÇO, J.C. et al. Avaliação da Cultivar de Macieira Pink Lady® em Vacaria, RS. **Comunicado Técnico**, n.112, p.1-8, 2011.

FLOEGEL, A. et al. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 7, p.1043-1048, 2011.

FRAGOSO, A. V.; MÖJICA-PAZ, H. Controlled Atmosphere Storage: Effect on Fruit and Vegetables. **Encyclopedia of Food and Health**, p.308-311, 2016.

GAGO, C. M. I. et al. Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p.77-85, 2015.

GAGO, C. M.I. et al. Effect of Calcium chloride and 1-MCP (Smartfresh™) postharvest treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p.440-448, 2016.

GIADA, M. L. R. **Food Phenolic Compounds: Main Classes, Sources and Their Antioxidant Power**. 2013. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/oxidative-stress-and-chronic-degenerative-diseases-a-role-for-antioxidants/food-phenolic-compounds-main-classes-sources-and-their-antioxidant-power>>. Acesso em: 16 maio 2018.

GOFF, S. A. Plant Volatile Compounds: Sensory Cues for Health and Nutritional Value?. **Science**, v. 11, n. 5762, p.815-819, 2006.

GOLDING, J. B.; SINGH, S. P. Use of 1-MCP in the Storage Life Extension of Fruit. **Reference Module in Food Science**, p.1-9, 2017.

GONÇALVES, B. et al. Aromas and Flavours of Fruits. **Generation of Aromas and Flavours**, p.9-31, 2018.

GUALANDUZZI, S. et al. Storage of 'Pink Lady®' apples: quality and bio-pathological aspects. **Acta Horticulturae**. n. 682, p. 2077-2084, 2005.

GWANPUA, S.G. et al. Managing biological variation in skin background colour along the postharvest chain of 'Jonagold' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 93, p.61-71, 2014.

HACKBARTH, C. et al. Postharvest quality of 'Galaxy' apples submitted to the treatment with 1-MCP and different cooling times between harvest and cold storage. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, p.1-7, 2017.

HADI, M. E. et al. Advances in Fruit Aroma Volatile Research. **Molecules**, v. 18, n. 7, p.8200-8229, 2013.

HARB, J.; STREIF, J.; BANGERTH, K.F. Aroma volatiles of apples as influenced by ripening and storage procedures. **Acta Horticulturae**, n. 796, p.93-103, 2008.

- HENDGES, M. V. et al. 'Packham's Triumph' pear response to 1-methylcyclopropene and nitric oxide treatments. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p.283-289, 2016.
- HUBER, D. J. et al. 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: Evidence for enzymic 1-MCP metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 56, n. 2, p.123-130, 2010.
- HYSON, D. A. A Comprehensive Review of Apples and Apple Components and Their Relationship to Human Health. **Advances in Nutrition**, v. 2, n. 5, p.408-420, 2011.
- HOANG, N.T.T. et al. The effect of postharvest 1-MCP treatment and storage atmosphere on 'Cripps Pink' apple phenolics and antioxidant activity. **Food Chemistry**, n. 3, v. 127, p.1249–1256, 2011.
- JAGANATHAN, S. K. Chemopreventive effect of apple and berry fruits against colon cancer. **World Journal of Gastroenterology**, v. 20, n. 45, p.17029-17036, 2014.
- JAMES, H.; JOBLING, J. The Flesh Browning Disorder of 'Pink Lady'TM Apples. **New York Fruit Quarterly**, v. 16, n. 2, p.23-28, 2008.
- JAYASENA, V.; CAMERON, I. °Brix/acid ratio as a predictor of consumer acceptability of crimson seedless table grapes. **Journal of Food Quality**, v. 31, n. 6, p.736-750, 2008.
- JIANG, Y.; SONG, J. Fruits and fruit flavor: classification and biological characterization. **Handbook of fruit and vegetable flavors**, p. 1, 2010.
- JOBLING, J. et al. Flesh browning of 'Pink Lady' apples: Why do symptoms occur? Results from an international collaborative study. **Acta Horticulturae**, n. 682, p.851-858, 2005.
- JUHAIMI, F. A. et al. Effects of oven and microwave drying on phenolic contents and antioxidant activities in four apple cultivars. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 8, n. 1, p.51-55, 2016.
- JUNG, S.; LEE, J. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening of apple fruit without cold storage. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 84, n. 1, p.102-106, 2009.
- JUNG, S.; WATKINS, C. B. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored 'Empire' apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, n. 3, p.219-226, 2011.

KAIUŚEWICZ, A.; GaSECKA, M.; SPIŚEWSKI, T. Influence of biostimulants on phenolic content in broccoli heads directly after harvest and after storage. **Folia Horticulturae**, v. 29, n. 2, p.221-230, 2017.

KEVERS, C. et al. Influence of cultivar, harvest time, storage conditions, and peeling on the antioxidant capacity and phenolic and ascorbic acid contents of apples and pears. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 11, p.6165–6171, 2011.

KIST, B. B. et al. **Anuário Brasileiro da Maçã**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2019.

KULBAT, K. The role of phenolic compounds in plant resistance. **Biotechnology and Food Sciences**, v. 80, n. 2, p.97-108, 2016.

KWEON, H. et al. Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples. **Scientia Horticulturae**, v. 157, p.60-64, 2013.

LARA, I. et al. Volatile Emission after Controlled Atmosphere Storage of Mondial Gala Apples (*Malus domestica*): Relationship to Some Involved Enzyme Activities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 15, p.6087-6095, 2007.

LAROSA, L. A. et al. Phenolic Compounds. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**, p.253-271, 2019.

ŁATA, B. Apple peel antioxidant status in relation to genotype, storage type and time. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 1, p.45-52, 2008.

ŁATA, B. Cultivar variation in apple peel and whole fruit phenolic composition. **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 2, p.176-181, 2009.

LI, L. et al. Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p.322-329, 2016.

LÓPEZ, M.I. et al. Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of 'Pink Lady®' apples stored in different conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 1, p.55-66, 2007.

LUMPKIN, C. et al. 'Scarlett Spur Red Delicious' Apple Volatile Production Accompanying Physiological Disorder Development during Low pO₂ Controlled Atmosphere Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 7, p.1741-1754, 2014.

LUMPKIN, C. et al. 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.) volatile production during high pCO₂ controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p.234-243, 2015.

LURIE, S.; WATKINS, C. B. Superficial scald, its etiology and control. **Postharvest Biology and Technology**, v. 65, p.44-60, 2012.

MA, Y. et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP), storage time, and shelf life and temperature affect phenolic compounds and antioxidant activity of 'Jonagold' apple. **Postharvest Biology and Technology**, v. 150, p.71-79, 2019.

MACLEAN, D. D. et al. Postharvest Variation in Apple (*Malus domestica* Borkh.) Flavonoids following Harvest, Storage, and 1-MCP Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 3, p.870-878, 2006.

MARIN, A. B. et al. Measuring consumer response to 'Gala' apples treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, n. 1, p.73-79, 2009.

MATTHES, A.; SCHMITZ-EIBERGER, M. Polyphenol content and antioxidant capacity of apple fruit: effect of cultivar and storage conditions. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 82, n. 2, p. 152-157, 2012.

MAZZURANA, E.R. et al. Potential benefits of temperature increase during storage under controlled atmosphere of 'Gala' apples treated with 1-MCP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.38, n.1, p.43-52, 2016.

MDITSHWA, A. et al. Repeated application of dynamic controlled atmospheres reduced superficial scald incidence in 'Granny Smith' apples. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p.168-175, 2017a.

MDITSHWA, A. et al. Minimum exposure period for dynamic controlled atmospheres to control superficial scald in 'Granny Smith' apples for long distance supply chains. **Postharvest Biology and Technology**, v. 127, p.27-34, 2017b.

MDITSHWA, A. et al. Impact of dynamic controlled atmospheres on reactive oxygen species, antioxidant capacity and phytochemical properties of apple peel (cv. Granny Smith). **Scientia Horticulturae**, v. 216, p.169-176, 2017c.

NAPOLITANO, A. et al. Influence of Variety and Storage on the Polyphenol Composition of Apple Flesh. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 21, p.6526-6531, 2004.

NISSEN, R. **Factors affecting post-harvest management of apples: a guide to optimising quality**. 2018. Disponível em: <https://www.utas.edu.au/__data/assets/pdf_file/0011/1186436/FGT-Post-Harvest-Manual-2018-Web.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

PARKER, J.K. Introduction to aroma compounds in foods. **Flavour Development, Analysis and Perception in Food and Beverages**, p.3-30, 2015.

PECH, J.C.; LATCHÉ, A.; REST, B. V. D. Genes involved in the biosynthesis of aroma volatiles and biotechnological applications. **Fruit and Vegetable Flavour**, p.254-271, 2008.

PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p.1-19, 2005.

PRANGE, R. K. Dynamic Controlled Atmosphere (DCA) Storage of Fruits and Vegetables. **Reference Module in Food Science**, p.1-10, 2018.

PRASAD, K.; JACOB, S.; SIDDIQUI, M. W. Fruit Maturity, Harvesting, and Quality Standards. **Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality**, p.41-69, 2018.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena—An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, n. 1, p.1-19, 2007.

PORAT, R.; FALLIK, E. Production of off-flavours in fruit and vegetables under fermentative conditions. **Fruit and Vegetable Flavour**, p.150-164, 2008.

RIZZOLO, A.; GRASSI, M.; ZERBINI, P. E. Influence of harvest date on ripening and volatile compounds in the scab-resistant apple cultivar 'Golden Orange'. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 81, n. 4, p.681-690, 2006.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 53-60, 2007.

ROWAN, D. D. et al. Conjugated Triene Oxidation Products of α -Farnesene Induce Symptoms of Superficial Scald on Stored Apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 6, p.2780-2787, 2001.

RUDELL, D. R. et al. Investigations of Aroma Volatile Biosynthesis under Anoxic Conditions and in Different Tissues of "Redchief Delicious" Apple Fruit (*Malus domestica* Borkh.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 9, p.2627-2632, 2002.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa, 2007a. Disponível em: <http://www.cnpat.embrapa.br/cnpat/down/index.php?pub/Cot_127.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS**. Fortaleza: Embrapa, 2007b. Disponível em: <http://www.cnpat.embrapa.br/cnpat/down/index.php?pub/Cot_128.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018.

RUIZ-HERNÁNDEZ, V. et al. A comparison of semi-quantitative methods suitable for establishing volatile profiles. **Plant Methods**, v. 14, n. 1, p.1-15, 2018.

SABBAN-AMIN, R. et al. Low oxygen and 1-MCP pretreatments delay superficial scald development by reducing reactive oxygen species (ROS) accumulation in stored 'Granny Smith' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 3, p.295-304, 2011.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, L. et al. Flavors and Aromas. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**, p.385-404, 2019.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Fermentative Metabolism in 'Jonagold' Apples under Controlled Atmosphere Storage. **European Journal of Horticultural Science**, v. 73, n. 1, p.43-46, 2008.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Respiration rate and ethylene metabolism of 'Jonagold' apple and 'Conference' pear under regular air and controlled atmosphere. **Bragantia**, v. 76, n. 2, p.335-344, 2017.

SCHAFFER, R. J. et al. A Genomics Approach Reveals That Aroma Production in Apple Is Controlled by Ethylene Predominantly at the Final Step in Each Biosynthetic Pathway. **Plant Physiology**, v. 144, n. 4, p.1899-1912, 2007.

SCHAICH, K.M.; TIAN, X.; XIE, J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. **Journal of Functional Foods**, v. 14, p.111-125, 2015.

SCHILLER, D. et al. A dual positional specific lipoxygenase functions in the generation of flavor compounds during climacteric ripening of apple. **Horticulture Research**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2015.

SCHMIDT, S. F. P. et al. Volatile compounds and overall quality of 'Braeburn' apples after long-term storage: Interaction of innovative storage technologies and 1-MCP treatment. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p.109039-109052, 2020.

SHI, Y. et al. Dynamic changes in proteins during apple (*Malus x domestica*) fruit ripening and storage. **Horticulture Research**, v. 1, n. 1, p.1-21, 2014.

SIEGMUND, B. Biogenesis of aroma compounds. **Flavour Development, Analysis and Perception in Food and Beverages**, p.127-149, 2015.

SONG, J; BANGERTH, F. Fatty acids as precursors for aroma volatile biosynthesis in pre-climacteric and climacteric apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 30, n. 2, p.113-121, 2003.

SONG, J.; FORNEY, C. F. Flavour volatile production and regulation in fruit. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 88, n. 3, p.537-550, 2008.

STANGER, M. C. et al. Phenolic Content and Antioxidant Activity during the Development of 'Brookfield' and 'Mishima' Apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 17, p.3453-3459, 2017.

STANGER, M.C. et al. Phenolic compounds content and antioxidant activity of 'Galaxy' apples stored in dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v.144, p.70-76, 2018.

STEFFENS, C. A. et al. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p.313-321, 2007.

SUCUPIRA, N. R. et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 14, n. 4, p.263-269, 2012.

THAIPONG, K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6-7, p.669-675, 2006

THEWES, F. R. et al. Dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen storage on 'Gala' mutants quality maintenance. **Food Chemistry**, v. 188, p.62-70, 2015a.

THEWES, F. R. et al. 1-methylcyclopropene effects on volatile profile and quality of 'Royal Gala' apples produced in Southern Brazil and stored in controlled atmosphere. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p.2259-2266, 2015b.

THEWES, F. R. et al. Dynamic controlled atmosphere storage suppresses metabolism and enhances volatile concentrations of 'Galaxy' apple harvested at three maturity stages. **Postharvest Biology and Technology**, v. 127, p.1-13, 2017.

THEWES, F. R. et al. 1-methylcyclopropene suppresses anaerobic metabolism in apples stored under dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p.288-295, 2018.

TSANTILI, E. et al. Ethylene and α -Farnesene Metabolism in Green and Red Skin of Three Apple Cultivars in Response to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p.5267-5276, 2007.

TU, S.; CHEN, L.; HO, Y. An apple a day to prevent cancer formation: Reducing cancer risk with flavonoids. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 25, n. 1, p.119-124, 2017.

VEBERIC, R. et al. Phenolic compounds in some apple (*Malus domestica* Borkh) cultivars of organic and integrated production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 85, p.1687-1694, 2005.

VELARDO-MICHARET, B. et al. Effect of ripening stage, 1-MCP treatment and different temperature regimes on long term storage of 'Songold' Japanese plum. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p.233-241, 2017.

VILLATORO, C. et al. Long-Term Storage of Pink Lady Apples Modifies Volatile-Involved Enzyme Activities: Consequences on Production of Volatile Esters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 19, p.9166-9174, 2008a.

VILLATORO, C. et al. Changes in biosynthesis of aroma volatile compounds during on-tree maturation of 'Pink Lady®' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p.286-295, 2008b.

VILLATORO, C. et al. Effect of controlled atmospheres and shelf life period on concentrations of volatile substances released by 'Pink Lady®' apples and on consumer acceptance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 6, p.1023-1034, 2009.

VOGT, J. et al. Identification of lipoxygenase (LOX) genes putatively involved in fruit flavour formation in apple (*Malus x domestica*). **Tree Genetics & Genomes**, v. 9, n. 6, p.1493-1511, 2013.

WANG, Z.; DILLEY, D. R. Initial low oxygen stress controls superficial scald of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 18, n. 3, p.201-213, 2000.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Effects of Delays between Harvest and 1-Methylcyclopropene Treatment, and Temperature during Treatment, on Ripening of Air-stored and Controlled-atmosphere-stored Apples. **Hortscience**, v. 40, n. 7, p.2096-2101, 2005.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Controlled-atmosphere Storage of 'Honeycrisp' Apples. **Hortscience**, v. 47, n. 7, p.886-892, 2012.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. 4, p.389-409, 2006.

WEBER, A. et al. 'Royal Gala' apple quality stored under ultralow oxygen concentration and low temperature conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p.1597-1602, 2011.

WEBER, A. et al. Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã 'Maxi Gala'. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p.294-301, 2013.

WEBER, A. et al. Dynamic controlled atmosphere: Impact of elevated storage temperature on anaerobic metabolism and quality of 'Nicoter' apples. **Food Chemistry**, v. 298, p.125017-125027, 2019.

WEBER, A. et al. Influence of respiratory quotient dynamic controlled atmosphere (DCA - RQ) and ethanol application on softening of Braeburn apples. **Food Chemistry JCR**, v. 303, p. 125346, 2020.

WILLIAMSON, V. G. et al. Storage performance of two 'Pink Lady ®' clones differs, but 1-MCP treatment is beneficial, regardless of maturity at harvest. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p.142-151, 2018.

WHITAKER, B. D. Oxidative Stress and Superficial Scald of Apple Fruit. **Hortscience**, v. 39, n. 5, p.933-937, 2004.

WHITAKER, B.D. Postharvest flavor deployment and degradation in fruits and vegetables. **Fruit and Vegetable Flavour**, p.103-131, 2008.

XUAN, H.; STREIF, J. Effect of 1-MCP on the respiration and ethylene production as well as on the formation of aroma volatiles in 'Jonagold' apple during storage. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 682, p.1203-1210, 2005.

YAHIA, E. M. et al. Controlled Atmosphere Storage. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**, p.439-479, 2019.

YANG, S. et al. Evaluation of antioxidative and antitumor activities of extracted flavonoids from Pink Lady apples in human colon and breast cancer cell lines. **Food & Function**, v.6, p.3789-3798, 2015.

YANG, X. et al. Ethylene and 1-MCP regulate major volatile biosynthetic pathways in apple fruit. **Food Chemistry**, v. 194, p.325-336, 2016.

YANG, Y. et al. Relationships between cuticular waxes and skin greasiness of apples during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 131, p.55-67, 2017a.

YANG, Y. et al. Analysis of the inhibitory effect of 1-Methylcyclopropene on skin greasiness in postharvest apples by revealing the changes of wax constituents and gene expression. **Postharvest Biology and Technology**, v. 134, p.87-97, 2017b.

ZANELLA, A. Control of apple superficial scald and ripening—a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 27, n. 1, p.69-78, 2003.

ZARDO, D. M. et al. Intensidade de pigmentação vermelha em maçãs e sua relação com os teores de compostos fenólicos e capacidade antioxidativa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 148-154, 2009.