

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO VEGETAL

JOSIANE COSTA MELO

**CONTROLE DO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ COM
O MANEJO DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DO ETILENO**

LAGES – SC

2020

JOSIANE COSTA MELO

**CONTROLE DO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ COM
O MANEJO DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DO ETILENO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 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 pela autora**

Melo, Josiane Costa

Controle do escurecimento de polpa em ameixa 'Laetitia' com o
manejo da temperatura de armazenamento e do etileno / Josiane
Costa Melo. -- 2020.

46 p.

Orientador: Cristiano André Steffens

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

1. *Prunus salicina*. 2. Armazenamento . 3. Etileno. 4. Qualidade.
I. Steffens, Cristiano André . II. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

JOSIANE COSTA MELO

**CONTROLE DO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS 'LAETITIA' COM
O MANEJO DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DO ETILENO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa 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: _____



Prof. Dr. Cristiano André Steffens
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro interno: _____

Dr. Cassandro Vidal Talamini do Amarante
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro Externo: _____

Dra. Mariuccia Schlichting de Martin
EPAGRI – São Joaquim

Lages, 29 de junho de 2020.

Aos meus pais, Maria Luci e Osmar, por todo o apoio, direcionamento, força e incentivo. Vocês são os responsáveis por toda minha dedicação e persistência. Devo todas as conquistas da minha vida a vocês. Eu os amos imensamente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido muita perseverança e força para conseguir derrubar todos os obstáculos vivenciados neste percurso.

A minha família, por estar sempre ao meu lado incentivando e apoiando nos momentos mais difíceis que passei. Só eles sabem de todas as dificuldades encontradas nesse percurso e, mesmo assim, sempre me incentivando a nunca desistir.

Ao meu orientador, Dr. Cristiano André Steffens, não somente pela orientação mas pela credibilidade que em mim depositou, pela paciência de responder minhas intermináveis dúvidas, e, por fim, por ser uma ponte para que eu alcançasse mais essa etapa.

Aos meus amigos, que desde o primeiro momento ficaram ao meu lado, nunca me deixaram desanimar, sempre dividindo comigo momentos de alegria, estresse, lágrimas, angústias e desesperanças, porém seguindo firmes ao meu lado. Nunca esquecerei o companheirismo demonstrado a mim.

A todos os colegas do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, pela ajuda e colaboração neste trabalho.

Ao CAV/UDESC, pelo ensino gratuito e de qualidade.

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do 1-MCP em duas temperaturas de armazenamento, e atmosfera modificada sobre o controle do escurecimento de polpa e retardo do amadurecimento de ameixas 'Laetitia'. Os tratamentos avaliados foram 1,5°C; 1,5°C + 1-MCP; 1,5°C + AM; 1,5°C + 1-MCP + AM; 8,0°C; e 8,0°C + 1-MCP (1,0 $\mu\text{L L}^{-1}$). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo cada tratamento composto de quatro repetições e unidade experimental constituída de 25 frutos. Os frutos foram armazenados por 30 e 40 dias e após mantidos por mais três dias em condições ambiente (20 \pm 2 °C/UR de 60 \pm 5%). Após este período foram avaliadas as taxas respiratórias e de produção de etileno, firmeza de polpa, cor da epiderme (h°), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), incidência de escurecimento da polpa e concentração de etanol, acetaldeído e acetato de etila nos frutos. Na temperatura 1,5°C, o 1-MCP associado à AM manteve maior firmeza de polpa, coloração da epiderme (ou casca) menos avermelhada e reduziu o escurecimento de polpa, em relação aos demais tratamentos a 1,5°C, em ambos os períodos de armazenamento. Na temperatura de 8,0°C não houve escurecimento de polpa, em ambos os períodos de armazenamento, porém ocorreu maior evolução do amadurecimento (firmeza de polpa mais baixa e epiderme mais vermelha), em relação a temperatura de 1,5°C. Porém, o uso de 1-MCP retardou essa evolução aos 30 dias de AR seguidos por mais 3 dias em condições ambiente. A AM proporcionou frutos com maior acúmulo de acetaldeído, aos 30 dias de armazenamento, e de etanol, em ambos os períodos de armazenamento. O uso de 1-MCP na menor temperatura de armazenamento reduziu a produção de acetato de etila, acetaldeído e etanol. A temperatura de 8,0°C, independente da aplicação de 1-MCP, apresentou menor acúmulo de acetaldeído e etanol.

Palavras-chave: *Prunus salicina*. Armazenamento. Etileno. Qualidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of 1-MCP ($1.0 \mu\text{L L}^{-1}$) in two storage temperatures, and modified atmosphere package on the internal browning and ripening control of 'Laetitia' plums. The treatments evaluated were 1.5°C ; $1.5^{\circ}\text{C} + 1\text{-MCP}$; $1.5^{\circ}\text{C} + \text{MA}$; $1.5^{\circ}\text{C} + 1\text{-MCP} + \text{MA}$; 8.0°C ; and $8.0^{\circ}\text{C} + 1\text{-MCP}$. The experimental design used was completely randomized, with each treatment repeated four times and experimental unit consisting of 25 fruits. Fruits were stored for 30 and 40 days and after being kept for another three days of shelf life. After this period were evaluated respiratory and ethylene production rates, flesh firmness, skin color (h°), titratable acidity (AT), soluble solids (SS), internal browning (incidence and severity) and acetaldehyde, ethanol and ethyl acetate. At 1.5°C , 1-MCP associated with MA maintained greater flesh firmness, less red color of peel and reduced internal browning, compared to other treatments at 1.5°C . At 8.0°C , there was no internal browning in both storage times, however showed advanced ripening stage (lower flesh firmness and redder epidermis and flesh), compared to a temperature of 1.5°C . However, 1-MCP application delayed this evolution to 30 days of cold storage plus 3 days of shelf life. The MA showed fruits with greater acetaldehyde accumulation, at 30 days of storage, and ethanol, in both storage times. The 1-MCP at the lowest storage temperature reduced ethyl acetate, acetaldehyde and ethanol in fruit. The temperature of 8.0°C , regardless of 1-MCP application, showed less accumulation of acetaldehyde and ethanol.

Keywords: *Prunus salicina*. Storage. Ethylene. Quality.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Taxa de produção de etileno e respiratória em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 dias, na saída da câmara e após três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$)..... 26
- Tabela 2 - Índice de cor vermelha em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 e 40 dias, seguido de três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$)..... 27
- Tabela 3 – Atributos de cor da epiderme (lightness = L e ângulo ‘hue’ = h°) na região mais e menos vermelha em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 dias e 40 dias, e após três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$)..... 29
- Tabela 4 – Atributos físico-químicos em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40, seguido por mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$).....31
- Tabela 5 – Acetato de etila, acetaldeído e etanol em ameixa ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40 dias, seguido de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente . (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$).....32
- Tabela 6 – Incidência de escurecimento da polpa (%) e índice de severidade de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40, seguido de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$).....33
- Tabela 7 – Atributos da polpa (L e h°) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 e 40 dias, seguido de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/UR de $60\pm 5\%$).....35

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Atmosfera Controlada
AM	Atmosfera modificada
AR	Armazenamento refrigerado
AT	Acidez titulável
°Brix	Graus Brix
°C	Graus Celsius
CO ₂	Gás carbônico
g	Gramas
<i>h</i> °	Ângulo 'hue'
h	Horas
ICV	Índice de cor vermelha
Kg	Quilogramas
kPa	Quilo Pascal
mm	Milímetro
mg	Miligrama
mL	Mililitro
N	Newton
O ₂	Oxigênio
QR	Quociente respiratório
SS	Sólidos solúveis
UR	Umidade relativa do ar
μL	Microlitro
ηmol	Nanomolar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	MATERIAL E MÉTODOS	22
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A ameixa é a primeira fruta de caroço do mundo em termos de área cultivada e a segunda em relação à produção total (CUEVAS et al., 2016). No Brasil, o estado com maior produção de frutas de caroço é o Rio Grande do Sul, seguido de Santa Catarina e do Paraná (SEAB, 2012), sendo a ameixa japonesa (*Prunus salicina* Lind.) a de maior importância no setor produtivo (CASTRO; CAMPOS 2003; BAUCHROWITZ et al., 2017).

O fato de ter a maior produção localizada no Sul mostra que a cultivar Laetitia é explorada tradicionalmente nas regiões mais frias do Brasil (STANGER et al., 2014) e é a principal cultivar de maturação tardia em produção no Sul do país, se destacando por apresentar frutos de tamanho médio a grande (FIORAVANÇO et al., 2015).

Na região do Planalto Sul Catarinense a ameixa é a segunda fruteira em área de produção. A quantidade de ameixa representa 31,7% do total em Santa Catarina, sendo que o valor bruto da produção gerada representa 26,4% do total de frutas produzidas no estado, movimentando cerca de R\$ 8,2 milhões (GOULART JUNIOR et al., 2016).

O rápido amadurecimento da fruta torna o período de colheita e oferta do produto muito curto, o que favorece a entrada de ameixas importadas para a complementação da oferta sazonal. Assim, o armazenamento de parte da produção é uma alternativa para estender o período de oferta do produto nacional (STEFFENS et al., 2011), reduzindo perdas e aumentando a rentabilidade do produtor. Essa alta perecibilidade está ligada a suas altas taxas metabólicas durante o período de maturação (MALGARIM et al., 2005) e rápidas mudanças da textura após a colheita (ARGENTA et al., 2003).

Para prolongar a vida pós-colheita e promover a manutenção da qualidade do fruto, recomenda-se o armazenamento refrigerado (AR) (STEFFENS, et al., 2017), uma vez que este diminui o metabolismo, evitando assim a rápida deterioração dos frutos (BRACKMANN et al., 2003). No entanto, é necessário ressaltar que esse sistema de armazenamento permite um período máximo de conservação de aproximadamente 30 dias (ESPÍNDOLA et al., 2012). Se prolongar além deste período, podem ocorrer perdas significativas nos frutos, como a perda de firmeza de polpa e a incidência de distúrbios fisiológicos, como o escurecimento de polpa (STEFFENS, et al., 2014).

A utilização de atmosfera modificada (AM) para a manutenção da qualidade de frutos, pode aumentar o período de armazenamento, bem como possibilitar a comercialização de frutos com melhor qualidade durante a entressafra (STEFFENS, et al., 2009). A AM é uma tecnologia bastante versátil e aplicável para vários tipos de frutos e vegetais, sendo relativamente simples

e de baixo custo (JIANG et al., 1999). Sua utilização associada a baixas temperaturas garante a manutenção da qualidade dos frutos, uma vez que a AM permite a redução da taxa respiratória. Neste sentido, a combinação de ambas tecnologias reduz a respiração dos frutos, uma vez que a permeabilidade do filme plástico aos gases ocasiona um acréscimo dos níveis de CO₂ e uma diminuição da quantidade de O₂ no interior da embalagem. Com isso ocorre uma redução nos processos metabólicos dos frutos (HERTOG et al., 2001), permitindo assim um maior período de armazenamento.

Cia (2002) salienta que a habilidade de regular a atmosfera está relacionada com a respiração do fruto e a permeabilidade da embalagem, sendo dependentes da temperatura, onde o aumento dessa promove incrementos nas taxas respiratória do fruto e, conseqüentemente, redução do período de armazenamento.

Stanger et al. (2017) mencionam que a utilização de absorventes de etileno nas embalagens utilizadas para armazenar frutos em AM pode possibilitar um aumento no período de armazenamento. Isso é possível uma vez que a diminuição deste fitormônio no ambiente retarda o processo de amadurecimento e previne distúrbios fisiológicos causados pelo frio.

Esses distúrbios ocasionados pelo frio, principalmente a temperaturas próximas a 0 °C (ARGENTA et al., 2011), não são de fácil constatação, uma vez que, ao retirar os frutos das câmaras de refrigeração, há o desenvolvimento do escurecimento de casca e do envoltório da polpa (SILVA, 2008); e esse escurecimento dos tecidos é um dos fatores mais problemáticos para o fruto, porque o torna inadequado para exportação e comercialização (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O escurecimento de polpa decorre de um processo oxidativo que ocasiona a peroxidação de lipídios e a redução na eficiência dos sistemas antioxidantes, ocorrendo danos às membranas celulares (SINGH; SINGH, 2013 a, b) prejudicando a aparência interna do fruto que poderá apresentar aparência e sabor desagradáveis (KLUGE et al., 1997a).

O processo supracitado é acelerado quando os frutos estão submetidos à ação do hormônio etileno (CANDAN et al., 2008), que induz o amadurecimento e a senescência dos frutos (SILVA, 2008). Quando o etileno se liga ao receptor ocorre uma mudança de sinais que liberam respostas interligadas com o amadurecimento, iniciando as mudanças de cor, textura e sabor, características que determinam a qualidade da fruta (BARRY; GIOVANNONI, 2007). Assim, uma das alternativas para aumentar o período de armazenamento dos frutos é a inibição da ação do etileno (ALVES et al., 2009). Com isso, ocorre redução da respiração, retardo da perda de firmeza de polpa, da acidez titulável e dos sólidos solúveis (AKBUDAK et al., 2009).

Uma das alternativas para diminuir os efeitos negativos do etileno sobre o armazenamento dos frutos é a utilização de 1-metilciclopropeno (1-MCP) (ALVES et al., 2009), composto volátil que se liga irreversivelmente aos receptores do etileno, impedindo ou atrasando o processo de amadurecimento e conseqüentemente aumentando o tempo de armazenamento dos frutos (ARGENTA et al., 2003).

Ameixas ‘Laetitia’ armazenadas 1 kPa O₂ + 1 kPa CO₂, o uso de 1-MCP (1 µL L⁻¹) demonstraram resultados positivos sobre a redução do escurecimento de polpa (ALVES et al., 2009; STEFFENS et al., 2013).

Com base nisso, nota-se que as ameixas são muito sensíveis à baixa temperatura e, os benefícios do armazenamento a frio, podem ser limitados pelo desenvolvimento de vários distúrbios fisiológicos, como escurecimento de polpa (WHANG et al., 2016). Desse modo, os frutos que forem expostos a altas temperaturas poderiam ter amenizado o escurecimento de sua polpa. Contudo, temperaturas mais elevadas podem causar rápido amadurecimento, reduzindo a duração do armazenamento dos frutos. Segundo Minas et al. (2013), o 1-MCP tornou-se promissor candidato para armazenamento de ameixas em temperaturas mais elevadas. Nesse sentido, o uso associado do 1-MCP e temperatura 8°C pode permitir um bom potencial de armazenamento sem induzir o escurecimento de polpa.

Embora várias tecnologias tenham sido estudadas para atenuação do estresse causado pelas baixas temperaturas de armazenamento (REZENDE et al., 2019), são necessários, ainda, estudos que combinem essas tecnologias, afim de serem determinadas as melhores condições de armazenamento de frutos em pós-colheita. Dado o exposto, esse estudo objetivou avaliar o efeito do 1-MCP em duas temperaturas de armazenamento e da atmosfera modificada sobre o controle do escurecimento de polpa e retardo do amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Ameixas ‘Laetitia’ foram colhidas em pomar comercial localizado no município de Lages, SC (27° 77’ 78” S e 50° 21’ 19” W), em estágio de maturação com 40 a 50% da epiderme com coloração vermelha, na safra 2018/2019, e transportadas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC). Para compor as unidades experimentais realizou-se a homogeneização dos frutos, sendo eliminados aqueles que apresentavam lesões, defeitos e dimensões destoantes. Os tratamentos avaliados foram 1,5°C; 1,5°C + atmosfera modificada (AM); 1,5°C + 1-MCP; 1,5°C + AM + 1-MCP; 8,0°C; e 8,0°C + 1-MCP. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições compostas de 25 frutos cada.

Na aplicação de 1-MCP (1,0 $\mu\text{L L}^{-1}$), os frutos devidamente selecionados foram colocados em um recipiente hermético (microcâmara de 180 L) com temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$. Dentro desse mesmo ambiente foi adicionado o produto SmartFresh® (0,14% de 1-MCP na formulação em pó, sendo que os frutos ficaram a esse tratamento de 1-MCP por 24 horas. Nos tratamentos submetidos a AM foi utilizado filme de polietileno de baixa densidade (40 μm) para acondicionar os frutos, onde juntamente a esses foram colocadas embalagens contendo cal hidratada (50 g kg^{-1} de fruta) afim de absorver o excesso de CO_2 . Durante o armazenamento, a pressão parcial de O_2 e CO_2 no interior das embalagens foi monitorada semanalmente por meio de um analisador de gases de marca Agridatalog.

Após 30 e 40 dias de armazenamento (saída da câmara) foram avaliadas as variáveis índice de cor vermelha (ICV), atributos de cor da epiderme (L e h°) nas regiões mais e menos vermelhas do fruto e taxas de respiração e de produção de etileno e, em seguida, os frutos foram submetidos às condições do ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}$ e UR de $60\pm 5\%$) durante três dias, simulando o período de comercialização. Após esse período, os frutos foram analisados quanto aos mesmos atributos avaliados na saída da câmara e, também, quanto a acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa, textura (forças para ruptura da epiderme, para penetração da polpa e para compressão do fruto), incidência e severidade de escurecimento de polpa (%) e produção de compostos fermentativos (acetaldeído, etanol e acetato de etila).

As taxas respiratórias ($\eta\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e de produção de etileno ($\rho\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) foram quantificadas por cromatografia gasosa. Para essas avaliações, dez frutos de cada repetição foram acondicionados em recipientes de 4,1 L, com fechamento hermético. As taxas respiratórias e de produção de etileno foram obtidas pela concentração de CO_2 e C_2H_4 ,

respectivamente, no interior do recipiente após 30 minutos de seu fechamento. Depois desse período, para a quantificação de etileno, utilizando-se uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas 4 amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás (Perkin Elmer, EUA), equipado com coluna Porapak N[®] de 3 m de comprimento (80-100 mesh) e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector e injetor foram 70, 250 e 130°C respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 45 e 450 mL min⁻¹, respectivamente. A concentração de CO₂ acumulada no recipiente foi quantificada por meio de um analisador eletrônico de O₂ e CO₂ (Schelle[®], Alemanha). As taxas respiratória e de produção de etileno foram calculadas através da fórmula proposta por Banks et al. (1995).

A determinação da luminosidade (*L*) e do ângulo *hue* (*h*[°]) das regiões mais e menos vermelha da epiderme e da polpa foram realizadas com colorímetro (Konica Minolta[®], modelo CR 400, Japão). O *L* expressa a luminosidade numa escala que varia de 0, equivalendo ao preto, a 100 correspondendo ao branco. O *h*[°] define a coloração básica, em que 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde. O colorímetro foi calibrado com o auxílio de uma superfície branca padrão disponibilizada pelo fabricante do equipamento.

A análise de incidência e severidade de escurecimento de polpa foi avaliada por meio de um corte na secção transversal dos frutos. A incidência de escurecimento da polpa foi avaliada por meio da contagem das ameixas que apresentaram regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, sendo determinada a proporção de frutos afetados (%). A severidade do escurecimento da polpa foi determinada por meio dos valores de 'L' (Lightness), com um colorímetro modelo CR 400 da Konica Minolta[®], sendo que quanto menor o valor de 'L', mais escurecida estaria a polpa.

O índice de cor vermelha foi determinado através da avaliação da superfície dos frutos recoberta com coloração vermelha, sendo atribuídas notas de 1 a 4 para os frutos com 0-25%, 26-50%, 51-75% e 76-100% da superfície pigmentada de vermelho, respectivamente. O índice foi calculado pela somatória dos produtos do número de frutas pela respectiva nota, dividido pelo total de frutas da amostra.

A firmeza da polpa foi medida na região equatorial dos frutos, em dois pontos opostos, após a remoção da epiderme (1 mm de espessura), com o auxílio de um penetrômetro eletrônico (GUSS Manufacturing Ltd, África do Sul), equipado com uma ponteira de 7,9 mm de diâmetro, com profundidade de penetração de 9 mm.

A AT foi obtida através do suco extraído em uma centrífuga, obtido de amostras transversais do fruto em formato de cunha. Esse suco (10 mL) foi diluído em 90 mL de água

destilada e a titulação foi efetuada com uma solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Os valores de SS foram obtidos em uma amostra do suco através de um refratômetro digital (Atago®, modelo PR201 α , Japão).

As concentrações de acetaldeído, etanol e acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$) foram quantificadas por cromatografia gasosa. Para isso foram utilizados 20 mL do suco extraído dos frutos para análise de AT e SS, o qual foi acondicionado em vial de 40 mL próprio para análise de “head space”. As amostras foram armazenadas em freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento das análises. Para realizar a análise, as amostras foram previamente descongeladas e colocadas no banho-maria por 1 hora a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ao serem retiradas do banho-maria, esperou-se 15 minutos para que as gotículas de suco condensassem e sobrasse apenas o gás. Após este período, utilizando-se uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas quatro amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás (Perkin Elmer, modelo Clarus 580, EUA). As concentrações de acetaldeído, acetato de etila e etanol foram previamente marcadas para posterior demarcação das curvas e quantificação.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram efetuadas através do software SAS. Os dados de incidência de escurecimento de polpa foram, antes de serem submetidos à ANOVA, transformados pela fórmula arco seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os frutos armazenados em AM (1,5°C + AM e 1,5° + AM + 1-MCP) ficaram expostos a condições de O₂ + CO₂ médias de 1,3 kPa + 0,8 kPa e 1,0 kPa + 0,9 kPa, para 30 e 40 dias de armazenamento, respectivamente. Estas condições atmosféricas médias estão próximas das consideradas como ideais para o armazenamento de ameixas (STEFFENS et al., 2014). Contudo, a pressão parcial de O₂ variou na maior parte do armazenamento de 0,65 a 1,08 kPa (durante 23 dias), para os frutos armazenados por 30 dias, e de 0,16 a 0,42 kPa (durante 33 dias), para os frutos armazenados por 40 dias. Além disso, nas duas últimas semanas de armazenamento, tanto no armazenamento de 30 dias como de 40 dias, os frutos ficaram expostos a pressões parciais de CO₂ que variam de 1,6 a 2,1 kPa e 0,9 a 5,5 kPa, para 30 e 40 dias de armazenamento. Embora tenha sido colocado dentro das embalagens sachês contendo cal hidratada para absorver o CO₂ produzido pela respiração dos frutos, estas pressões parciais de CO₂ encontraram-se acima do considerado ideal (1 kPa) para condições com O₂ mais baixas (≤ 1 kPa) (STEFFENS et al., 2014; NUNES, 2018). Possivelmente ocorreu saturação da cal hidratada com CO₂, reduzindo a sua capacidade de absorver o gás, causando o seu acúmulo no interior da embalagem. Os frutos dos demais tratamentos, por estarem apenas em ambiente refrigerado, ficaram expostos a uma atmosfera contendo 21,0 kPa de O₂ + 0,03 kPa de CO₂.

A taxa de produção de etileno, na saída da câmara, foi maior para as ameixas armazenadas a 8,0°C sem 1-MCP, em relação àquelas mantidas em todas as condições de armazenamento a 1,5°C. Resultados semelhantes foram encontrados em ameixas 'Frade' (WHANG et al., 2016). Esse aumento na taxa de produção de etileno deve estar relacionado ao maior metabolismo dos frutos em temperatura mais elevada, com consequente maior produção de etileno. Em 1,5°C, a AM e/ou a aplicação de 1-MCP reduziram, na saída da câmara e após mais 3 dias em condições ambiente, a taxa de produção de etileno. Segundo Minas et al. (2013), ameixas 'Blackamber' e 'Red Lane' tratadas com 1-MCP reduziu a produção de etileno durante armazenamento a baixas temperaturas, de acordo com observado no presente trabalho. Em nectarinas à combinação do tratamento com 1-MCP + AM resultou em uma baixa produção de etileno (ÖZHAYA et al., 2016) como também observado em ameixa 'Tegan Blue' (KHAN; SINGH, 2008). Ketsan et al. (2013) salientam que a combinação de 1-MCP e AM resulta em menor produção de etileno devido à inibição da ACC sintase e da ACC oxidase, sendo que a AM potencializa o efeito do 1-MCP na inibição da produção de etileno. Já a aplicação de 1-MCP em frutos armazenados a 8,0°C não reduziu a produção de etileno em relação a frutos não tratados (Tabela 1). Contudo, o 1-MCP a 8,0°C proporcionou taxa de produção de etileno

similar na saída da câmara, e menor após mais três dias em condições ambiente, do que os frutos armazenados a 1,5°C sem tratamentos adicionais (Tabela 1). Isto demonstra que houve efeito do 1-MCP sobre a síntese de etileno, mas que em temperatura de armazenamento mais elevada este efeito é reduzido. Possivelmente, durante o armazenamento dos frutos a 8,0°C ocorreu a síntese de novos sítios receptores do etileno, tornando o fruto novamente responsivo ao fitormônio, reduzindo a eficiência do 1-MCP, pois, em temperaturas mais altas, o processo de inibição da ação do etileno pelo 1-MCP é revertido pela síntese de novos receptores (BRACKMANN et al., 2004).

Tabela 1 - Taxas de produção de etileno e respiratória em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 dias, na saída da câmara e após três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20±2 °C/ 60±5% de UR)

Tratamentos	Taxa de produção de etileno ($\eta\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$)	
	Saída da câmara	Três dias em condição ambiente
1,5°C	19,64 b	243,71 a
1,5°C + 1-MCP	2,72 c	51,18 c
1,5°C + AM	0,52 c	40,60 c
1,5°C + 1-MCP + AM	0,31 c	9,84 c
8,0°C	43,19 a	198,34 ab
8,0°C + 1-MCP	23,69 ab	157,18 b
CV (%)	89,73	31,71
Tratamentos	Taxa respiratória ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{s}^{-1}$)	
	Saída da câmara	Três dias em condição ambiente
1,5°C	247,36 a	60,91 ab
1,5°C + 1-MCP	228,64 a	54,70 abc
1,5°C + AM	270,70 a	38,22 c
1,5°C + 1-MCP + AM	289,77 a	45,35 bc
8,0°C	268,32 a	70,74 a
8,0°C + 1-MCP	368,70 a	61,90 ab
CV (%)	36,14	23,63

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Não houve diferença significativa para a taxa respiratória em ameixas ‘Laetitia’ na saída da câmara. No entanto, após mais três dias em condições ambiente, os frutos armazenados com 1,5°C + AM apresentaram a menor taxa respiratória, sem diferir dos tratamentos 1,5°C + AM + 1-MCP e 1,5°C + 1-MCP (Tabela 1). Argenta et al. (2003), em estudos com ameixa ‘Latitia’ observaram redução da taxa respiratória com a utilização de 1-MCP. A associação do 1-MCP com AM representa uma alternativa para minimizar os efeitos do etileno e assim atrasar o amadurecimento, que ocorre durante períodos prolongados de armazenamento (STANGER et al., 2017). Steffens et al. (2009) observaram diminuição na atividade respiratória de ameixas ‘Laetitia’. Provavelmente a taxa respiratória do fruto em AM foi reduzida pelas baixas pressões parciais de O₂ dentro da embalagem (BRACKMANN et al., 2006).

Após 30 dias de armazenamento, mais 3 dias em condições ambiente, os frutos do tratamento a 1,5°C mantiveram menor ICV que os frutos a 8,0°C. Em 1,5°C a aplicação de 1-MCP retardou o desenvolvimento da cor da epiderme dos frutos, contudo este resultado não foi observado a 8,0°C. O menor ICV após 40 dias de armazenamento foi registrado para o tratamento de 1,5°C + AM e 1,5°C + AM + 1-MCP (Tabela 2). Segundo Minas et al. (2013), a aplicação de 1-MCP em ameixas ‘Blackamber’ e ‘Red Lane’ atrasou significativamente a mudança da cor vermelha da epiderme durante o amadurecimento, o que também foi observado em ameixa ‘Laetitia’ armazenada em temperatura de 1,5°C, do mesmo modo que o relatado em estudos com nectarinas (ÖZHAYA et al., 2015). Já a utilização da AM cria-se baixas pressões parciais de O₂, sendo possível controlar a deterioração dos frutos. Possivelmente, isso explique o menor ICV observado nesse experimento no tratamento de 1,5°C + AM.

Tabela 2 - Índice de cor vermelha em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 e 40 dias seguido de mais de 3 dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20±2 °C/ 60±5% de UR).

Tratamentos	Índice de cor vermelha (ICV)	
	30 dias	40 dias
1,5°C	3,62 b	3,96 a
1,5°C + 1-MCP	3,17 c	3,81 ab
1,5°C + AM	3,68 b	3,30 c
1,5°C + 1-MCP + AM	3,39 cb	3,64 b
8,0°C	4,00 a	4,00 a
8,0°C + 1-MCP	4,00 a	4,00 a
CV (%)	6,67	3,97

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

De forma geral, os maiores valores para as variáveis L (lightness) e h° (ângulo *hue*) na porção mais vermelha da epiderme após 30 dias de armazenamento mais 3 dias em condições ambiente foram registrados para ameixas do tratamento $1,5^\circ\text{C} + 1\text{-MCP} + \text{AM}$, e os menores valores para estas mesmas variáveis foram registrados para os tratamentos a 8°C . Porém, nesta temperatura os frutos tratados com 1-MCP apresentaram maior valor de L e h° do que os frutos não tratados (Tabela 3). A menor evolução da coloração da epiderme nas ameixas ‘Laetitia’ (maior h° da epiderme), deve estar relacionada, em parte, à menor taxa de produção de etileno, pois a mudança na cor, durante o amadurecimento de ameixas, é um processo dependente da ação deste fitormônio (STANGER et al., 2014).

Os frutos armazenados na condição de $1,5^\circ\text{C} + 1\text{-MCP} + \text{AM}$, após 40 dias de armazenamento e mais 3 dias de exposição dos frutos em condições ambiente, apresentaram os maiores valores de L e h° na porção mais vermelha da epiderme. Já, os menores valores foram observados em ameixas submetidas às condições de $8,0^\circ\text{C}$ e $8,0^\circ\text{C} + 1\text{-MCP}$ (Tabela 3). Nunes et al. (2009) mencionam que a cor da epiderme e da polpa são atributos importantes para a qualidade de ameixas que desenvolvem pigmentação na epiderme e na polpa, sendo que a evolução da cor da epiderme ocorre com a degradação da clorofila e a biossíntese de antocianinas e carotenoides (GIRARDI et al., 2000).

Em geral, as alterações na consistência dos frutos durante o amadurecimento resultam, predominantemente, da desestruturação da parede celular, que envolve a interação complexa de várias enzimas hidrolíticas (ALI et al., 2004). O avanço no amadurecimento promove a degradação de protopectina da lamela média e da parede celular primária e o aumento da pectina solúvel nos tecidos da polpa do fruto (JACOMINO et al., 2002). Com o avanço do amadurecimento, os frutos vão se tornando mais macios devido à diminuição da turgescência e à hidrólise das substâncias pécticas que compõem a parede celular (MALGARIM et al., 2007), possivelmente explicando os menores valores observados neste trabalho com temperaturas mais elevadas. As ameixas submetidas à condição de $1,5^\circ\text{C} + 1\text{-MCP} + \text{AM}$ apresentaram maior firmeza de polpa após os períodos de 30 e 40 dias de armazenamento seguidos de mais 3 dias em condições ambiente, indicando que 1-MCP, associado aos efeitos de baixo O_2 , retarda o amadurecimento dos frutos.

A tabela seguinte (Tabela 3) resalta os dados observados acerca da cor da epiderme (L e h°) na região mais e menos vermelhas em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições por 30 dias e 40 dias, na saída da câmara e após três dias de exposição dos frutos em condições ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}/ 60\pm 5\%$ de UR).

Tabela 3 –Cor da epiderme (L e h°) na região mais e menos vermelha em ameixas ‘Laetitia’

Tratamentos	30 dias de armazenamento			
	Cor da epiderme na região mais vermelha dos frutos			
	L	L	h°	h°
	Saída da câmara	Três dias	Saída da câmara	Três dias
1,5°C	34,31 b	32,11 c	21,08 bc	19,75 c
1,5°C + 1-MCP	35,93 ab	34,72 b	21,61 abc	23,43 b
1,5°C + AM	35,38 ab	34,31 b	23,93 ab	23,49 b
1,5°C + 1 MCP + AM	37,38 a	36,22 a	25,10 a	25,34 a
8,0°C	28,60 d	27,44 e	14,32 d	13,16 e
8,0°C + 1 MCP	32,08 c	29,49 d	19,27 c	15,81 c
CV (%)	4,07	3,05	12,12	6,02
Tratamentos	Cor da epiderme na região menos vermelha dos frutos			
	L	L	h°	h°
	Saída da câmara	Três dias	Saída da câmara	Três dias
	1,5°C	49,01 b	38,34 c	51,42 b
1,5°C + 1-MCP	54,03 a	47,25 b	63,07 a	47,14 b
1,5°C + AM	49,72 b	47,92 ab	56,66 b	53,05 a
1,5°C + 1-MCP + AM	54,65 a	50,01 a	64,21 a	52,51 ab
8,0°C	32,63 d	29,41 e	20,02 d	15,73 e
8,0°C + 1-MCP	38,19 c	34,62 d	29,69 c	23,17 d
CV (%)	3,87	4,31	8,52	10,59
Tratamentos	40 dias de armazenamento			
	Cor da epiderme na região mais vermelha dos frutos			
	L	L	h°	h°
	Saída da câmara	Três dias	Saída da câmara	Três dias
1,5°C	36,06 b	33,48 c	22,70 b	21,31 b
1,5°C + 1 MCP	37,51 ab	35,40 bc	23,61 ab	22,52 b
1,5°C + AM	36,82 b	39,79 a	23,92 ab	23,16 b
1,5°C + 1 MCP + AM	39,34 a	38,48 ab	25,67 a	26,15 a
8,0°C	28,65 d	28,08 d	14,36 c	13,67 c
8,0°C + 1 MCP	31,29 c	29,04 d	16,58 c	14,02 c
CV (%)	4,47	8,28	7,72	7,53
Tratamentos	Cor da epiderme na região menos vermelha dos frutos			
	L	L	h°	h°
	Saída da câmara	Três dias	Saída da câmara	Três dias
	1,5°C	51,05 c	44,01 c	49,55 c
1,5°C + 1 MCP	54,18 b	49,51 b	59,45 b	50,46 b
1,5°C + AM	52,79 cb	52,42 ab	60,85 b	53,58 b
1,5°C + 1 MCP + AM	57,72 a	54,23 a	68,26 a	60,92 a
8,0°C	28,65 d	28,08 d	14,37 d	13,67 e
8,0°C + 1 MCP	31,29 d	30,89 d	16,57 d	21,99 d
CV (%)	4,12	6,12	14,79	9,24

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mosquera et al. (2017) em ameixas 'Laetitia'. Esse efeito do 1-MCP na manutenção destes atributos está associado à redução da atividade das enzimas pectolíticas, devido à redução da ação do etileno (JACOMINO et al., 2002). Khan e Singh (2008) salientam que ameixas 'Tegan' e 'Blue' armazenadas a baixas temperaturas associando 1-MCP + AM exibiram maior firmeza de polpa, corroborando com o resultado apresentado neste trabalho.

A resposta da firmeza de polpa ao tratamento 1-MCP está propriamente relacionada à redução da atividade do etileno, uma vez que o etileno é essencial para as atividades enzimáticas responsáveis pela perda da firmeza dos frutos (JOHNSTON et al., 2001; MAJUMDER; MAZUMDAR, 2002).

A 8,0°C com ou sem 1-MCP os frutos apresentaram menor firmeza de polpa após o período de 30 e 40 dias. (Tabela 4). Segundo Aubert et al. (2014), em nectarinas armazenadas em 8,0°C, foi observada uma diminuição na firmeza da polpa, ocorrendo também em ameixas armazenadas a 5°C (KHAN et al., 2011). Em ameixas 'Friar' a firmeza diminuiu drasticamente durante o armazenamento a 5°C ou 15°C (WHANG et al., 2016) corroborando com observado no presente trabalho. O incremento da temperatura provoca o aumento da atividade metabólica dos frutos e conseqüentemente aumenta a atividade de enzimas pectinolíticas causando a redução na firmeza de polpa (GUTTLER, 2011).

O menor valor de SS, após 30 dias de armazenamento seguido por 3 dias em condições ambientes, foi observado nos tratamentos de 8,0°C e 8,0°C + 1-MCP. Por outro lado, os menores valores após 40 dias de armazenamento, seguido de 3 dias em condições ambiente observados, foi em frutos mantidos em 1,5°C + AM (Tabela 4). Jin et al. (2014) também observaram redução nos valores de SS de pêsegos armazenados em diferentes períodos de armazenamento. Resultado similar foi observado em ameixas 'Friar' armazenadas a 5 °C por 30 dias também ocorreu redução na quantidade de SS (WHANG et al., 2016).

A AT, após 30 dias de armazenamento, seguido de mais 3 dias em condições ambiente, foi mais elevada em frutos dos tratamentos de 1,5°C + 1-MCP, 1,5°C + 1-MCP + AM e 8,0°C + 1-MCP, enquanto que após 40 dias seguido de mais 3 dias em condições ambiente o maior valor foi no tratamento 1,5°C + 1-MCP + AM (Tabela 4). Steffens et al. (2013), Luo et al. (2009) e Argenta et al. (2003) também observaram maiores valores de AT em ameixas 'Laetitia' tratadas com 1-MCP, sendo importante a manutenção da AT para garantir o equilíbrio com os teores de açúcares (Nunes et al., 2018). O efeito do 1-MCP sobre a manutenção da AT dos frutos pode estar relacionado ao menor consumo dos ácidos no ciclo dos ácidos tricarbóxicos, pela redução na atividade respiratória (ALVES et al., 2009).

Com AT nos frutos dos tratamentos 1,5°C +1-MCP e 8,0°C + 1-MCP observou-se uma redução nos valores dos frutos armazenados de 30 para 40 dias (Tabela 4), sendo causado pelo processo de maturação dos frutos, que reduz drasticamente os valores de acidez (MINAS et al., 2013). Essa menor AT pode estar associada a maior atividade metabólica e respiração destes frutos, uma vez que, os ácidos são utilizados como substrato no processo respiratório (HEINZEN et al., 2017), como forma de geração de energia para a manutenção dos processos vitais das frutas (CHITARRA; CHITARRA, 1998).

Tabela 4 – Firmeza de polpa, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT em ameixa ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40 dias, seguidos por mais três dias de exposição em condições ambiente (20±2 °C/60±5% de UR).

Tratamentos	Firmeza de polpa (N)	SS (°Brix)	AT (% ácido málico)	Relação SS/AT
30 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambiente				
1,5°C	11,20 c	11,20 a	0,99 b	11,29 a
1,5°C + 1-MCP	16,08 b	11,12 a	1,19 a	9,38 b
1,5°C + AM	10,80 c	10,12 b	0,97 b	10,38 ab
1,5°C + 1-MCP + AM	18,84 a	10,37 b	1,28 a	8,06 c
8,0°C	6,37 e	9,47 c	0,97 b	9,77 b
8,0°C + 1-MCP	8,19 d	9,66 c	1,22 a	7,96 c
CV (%)	6,37	2,88	8,36	8,2
40 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambiente				
1,5°C	11,80 c	10,95 a	0,70 d	15,59 a
1,5°C + 1-MCP	18,58 b	10,45 ab	0,99 b	10,48 cb
1,5°C + AM	12,24 c	9,40 c	0,65 d	14,30 a
1,5°C + 1-MCP + AM	24,01 a	10,35 ab	1,17 a	8,85 d
8,0°C	6,45 d	10,10 bc	0,87 c	11,58 b
8,0°C + 1-MCP	7,81 d	10,15 bc	1,05 b	9,61 cd
CV (%)	6,9	5,12	6,85	7,4

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

De forma geral, os maiores valores para a relação SS/AT foram observados nos tratamentos de 1,5°C e 1,5°C + AM, independentemente do momento da avaliação (após 30 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambientes ou após 40 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambientes) (Tabela 4). Para Steffens et al.,

(2007), frutos armazenados em AM associado a menor temperatura, por ser um sistema de armazenamento que causa maior redução no metabolismo celular do que o uso isolado da refrigeração, possibilita que alguns frutos sejam armazenados por mais tempo e com melhor manutenção da qualidade do que em AR. Para a variável acetato de etila, os maiores valores foram observados em ameixas submetidas à condição de 1,5°C, após 30 dias de armazenamento seguido de mais 3 dias em condições ambientes, e para a condição de 1,5°C + AM, após 40 dias de armazenamento seguido de mais 3 dias em condições ambientes (Tabela 5). As maiores concentrações de acetaldeído e etanol foram registradas para os frutos submetidos à condição de 1,5°C + AM, independentemente do momento de avaliação (Tabela 5), possivelmente devido à intensa redução da pressão parcial de oxigênio, especialmente no período final do armazenamento, conforme descrito anteriormente. Em relação à conservação da qualidade dos frutos, o etanol e o acetaldeído podem desencadear o escurecimento da polpa dos frutos e o desenvolvimento de aroma e sabor alcoólico (SAQUET et al., 2000).

Tabela 5 – Concentração de acetato de etila, acetaldeído e etanol em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40 dias, seguidos de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20±2 °C/60±5% de UR).

Tratamentos	Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$)
30 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambiente.			
1,5°C	3,50 a	0,12 b	80,84 b
1,5°C + 1 MCP	2,50 b	0,04 c	9,30 b
1,5°C + AM	2,52 b	0,20 a	299,93 a
1,5°C + 1 MCP + AM	1,51 c	0,06 cb	65,96 b
8,0°C	1,92 cb	0,08 cb	16,38 b
8,0°C + 1 MCP	1,67 c	0,05 c	8,50 b
CV (%)	22,11	44,13	75,01
40 dias de armazenamento seguido de três dias em condições ambiente.			
1,5°C	4,38 b	0,24 ab	168,18 cb
1,5°C + 1 MCP	1,26 c	0,09 d	41,13 c
1,5°C + AM	6,16 a	0,28 a	785,02 a
1,5°C + 1 MCP + AM	4,32 b	0,16 c	332,30 b
8,0°C	2,16 c	0,21 bc	35,22 c
8,0°C + 1 MCP	1,51 c	0,22 b	21,47 c
CV (%)	26,32	18,5	81,07

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Wright et al. (2015) mencionam que altas concentrações dos produtos fermentativos (acetato de etila, acetaldeído e etanol) podem resultar em “*off-flavours*” (sabor estranho), acarretando escurecimento de polpa e reduzindo a qualidade dos frutos.

Após 30 e 40 dias de armazenamento seguidos por mais 3 dias em condições ambiente, não houve incidência de escurecimento de polpa em ameixa submetidas às condições de 8,0°C e 8,0°C + 1-MCP. Na temperatura de 1,5°C, a maior incidência de escurecimento de polpa ocorreu nos frutos armazenados em AM sem aplicação de 1-MCP, especialmente após 40 dias de armazenamento quando todos os frutos apresentavam o distúrbio (Tabela 6).

Tabela 6 – Incidência do escurecimento da polpa (%) e índice de severidade de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40 dias seguidos de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20±2 °C/60±5% de UR).

Tratamentos	Incidência de escurecimento (%)	
	30 dias	40 dias
1,5°C	27,1 ab	37,8 b
1,5°C + 1 MCP	25,0 ab	22,3 cb
1,5°C + AM	44,8 a	100,0 a
1,5°C + 1 MCP + AM	6,5 ab	32,9 cb
8,0°C	0,00 b	0,00 c
8,0°C + 1 MCP	0,00 b	0,00 c
CV (%)	23,86	16,26

Tratamentos	Severidade de escurecimento (1 – 4)	
	30 dias	40 dias
1,5°C	1,27 ab	1,37 b
1,5°C + 1 MCP	1,25 ab	1,22 cb
1,5°C + AM	1,69 a	3,36 a
1,5°C + 1 MCP + AM	1,31 ab	1,32 cb
8,0°C	1,00 b	1,00 c
8,0°C + 1 MCP	1,00 b	1,00 c
CV (%)	23,86	16,26

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O escurecimento da polpa é um distúrbio que acomete ameixas armazenadas sob refrigeração, sendo considerado um dano por frio (SINGH; SINGH, 2013b). Tem sido proposto que o escurecimento da polpa é decorrente de um processo oxidativo relacionado à produção de espécies reativas de oxigênio, que causam a peroxidação de lipídeos, e a redução na eficiência dos sistemas antioxidantes, com consequente dano às membranas celulares (SINGH;

SINGH, 2013a; 2013b). Embora seja um dano causado pela baixa temperatura de armazenamento, a manifestação de escurecimento da polpa pode ser agravada pelo etileno (ARGENTA et al., 2003; 2011; ALVES et al., 2009; CORRÊA et al., 2011; STEFFENS et al., 2013). Além disso, condições inadequadas de armazenamento, como O₂ muito baixo, observado nos tratamentos em AM, também podem intensificar a manifestação do distúrbio (STEFFENS et al., 2017).

Após 30 dias de armazenamento mais três em condições ambiente, o índice de escurecimento de polpa foi mais elevado em frutos armazenados a 1,5°C em AM, sem diferir dos frutos dos demais tratamentos a 1,5°C. Aos 40 dias de armazenamento mais três dias em condições ambiente, o maior índice de escurecimento de polpa foi observado nos frutos armazenados a 1,5°C em AM, seguido pelos frutos dos tratamentos 1,5°C, 1,5°C + AM + 1-MCP e 1,5°C + 1-MCP (Tabela 6). Maior escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia' em frutos armazenados em AM, em relação a frutos armazenados em AR, também foi observado por Steffens et al. (2009). Os autores atribuíram o maior escurecimento de polpa ao acúmulo de CO₂ no interior da embalagem. No presente trabalho foi adicionado absorvedor de CO₂ no interior da embalagem, contudo, como comentado anteriormente, nas duas últimas semanas de armazenamento houve acúmulo do gás no interior da embalagem, notadamente na última semana de armazenamento dos frutos mantidos por 40 dias armazenados. Além disso, durante os 33 dias finais de armazenamento, para os frutos armazenados por 40 dias, a pressão parcial de O₂ média, no interior da embalagem, permaneceu em 0,36 kPa, induzindo a respiração anaeróbica dos frutos. Isto pode ser constatado pelo elevado acúmulo de produtos do metabolismo fermentativo em frutos deste tratamento. Os frutos armazenados a 8,0°C, em ambos os períodos de armazenamento, por não haver incidência de escurecimento de polpa, apresentaram os menores valores de índice de escurecimento de polpa (Tabela 6). Este resultado também foi observado em ameixas por Minas et al. (2013). Os autores afirmam que o armazenamento de ameixas em temperaturas mais elevadas (10°C), em associação com o 1-MCP, poderia ser uma alternativa em potencial para retardar o amadurecimento dos frutos e evitar o escurecimento de polpa.

No presente trabalho, o armazenamento a 8,0°C, mesmo com o uso do 1-MCP, apresentou, ao final do armazenamento mais três dias em condições ambiente, avançado amadurecimento, bem como avermelhamento da polpa, devido a migração de pigmentos da casca para a polpa, o que pode ser observado pelos reduzidos valores de *L* e *h*^o da polpa, especialmente aos 40 dias de armazenamento mais três dias em condições ambiente (Tabela 7). Reduzidos valores de *L* e de *h*^o podem ocorrer em função de elevado escurecimento de polpa,

como no tratamento em AM, e pelo avermelhamento da polpa decorrente do avançado estágio de maturação, como nos frutos armazenados a 8 °C, com ou sem aplicação de 1-MCP.

Tabela 7– Atributo de cor da polpa (L e h°) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições durante 30 e 40 dias seguidos de mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 2 °C/ $60\pm 5\%$ de UR)

Tratamentos	30 dias de armazenamento		
	L	C	h°
1,5°C	52,14 c	23,55 d	82,98 d
1,5°C + 1-MCP	53,97 b	24,29 cd	86,61 c
1,5°C + AM	53,50 cb	24,59 c	85,94 c
1,5°C + 1-MCP + AM	57,06 a	24,56 c	90,29 a
8,0°C	50,56 d	27,15 a	85,94 c
8,0°C + 1-MCP	50,64 d	26,27 b	88,13 b
CV (%)	1,56	2,24	0,59
Tratamentos	40 dias de armazenamento		
	L	c	h°
1,5°C	50,04 b	24,34 a	81,15 a
1,5°C + 1-MCP	52,50 b	23,70 a	85,14 a
1,5°C + AM	41,11 d	18,90 b	79,34 ab
1,5°C + 1-MCP + AM	56,14 a	24,91 a	86,93 a
8,0°C	47,27 c	25,34 a	74,73 b
8,0°C + 1-MCP	45,52 c	23,88 a	71,43 b
CV (%)	3,74	4,94	5,41

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de LSD ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Embora a 8,0°C não tenha ocorrido o desenvolvimento do escurecimento de polpa, houve elevada perda de qualidade dos frutos decorrente da acentuada perda de firmeza de polpa e de SS, intensa cor vermelha da epiderme (baixos valores de h° e L) e ao avermelhamento da polpa (baixos valores de L e h°), mesmo com a aplicação de 1-MCP (Tabelas 3, 4, 7). Acreditava-se que o efeito do 1-MCP impedindo a ação do etileno poderia compensar, ao menos em parte, a elevação da temperatura sobre o controle do amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’, conforme observado em outras cultivares (MINAS et al., 2013). Embora isso não tenha ocorrido, talvez a reaplicação de 1-MCP, em diferentes momentos, durante o armazenamento a 8,0°C, possa ter maior efeito sobre o controle do amadurecimento e, portanto, permitir a obtenção de frutos sem escurecimento de polpa e com melhor manutenção da qualidade.

4 CONCLUSÕES

A condição de armazenamento 1,5°C + 1-MCP + AM manteve a melhor qualidade geral das ameixas 'Laetitia', reduzindo o escurecimento de polpa e retardando o amadurecimento do fruto. Em temperatura de armazenamento de 8,0°C, com ou sem aplicação de 1-MCP, os frutos não apresentaram escurecimento de polpa, porém observou-se avançado estágio de amadurecimento das ameixas 'Laetitia'.

REFERÊNCIAS

- ALI, Z.M. et al. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.33, n.2, p.181-192, 2004.
- ALVES, E. O. et al. Manejo do etileno durante o armazenamento de ameixas 'Laetitia' em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.445-2451, 2009.
- ARGENTA, L.C. et al. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1139-1148, 2003.
- ARGENTA, L.C. et al. Controle do escurecimento interno de ameixas durante o armazenamento pelo manejo do ponto de colheita e do etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.376-385, 2011.
- AKBUDAK, et al. Response of 1-methylcyclopropene treated "Granny Smith" apple fruit to air and controlled atmosphere storage conditions. **Journal of Food Quality**, Boston, v.32, n.1, p.18-33, 2009.
- AUBERT, C. et al. Effects of storage temperature, storage duration, and subsequent ripening on the physicochemical characteristics, volatile compounds, and phytochemicals of western red nectarine (*Prunus persica* L. Batsch). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v.62, n.20, p.4707-4724, 2014.
- BRACKMANN, A. et al. Armazenamento de pêssegos 'Chimarrita' em atmosfera controlada e sob absorção de etileno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.431-435, 2003.
- BRACKMANN, A. et al. Qualidade da maçã cv. Gala tratada com 1-metilciclopropeno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1415-1420, 2004.
- BRACKMANN, A. et al. Armazenamento em atmosfera modificada e controlada de banana "prata" com absorção de etileno. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.5, p. 914-919, 2006.
- BARRY, C.; GIOVANNONI, J. Ethylene and fruit ripening. **Journal of plant Growth Regulation**, Nova Iorque, v.26, n.2, 143-159, 2007.
- BAUCHROWITZ, I. M. et al. Definição das características físico-químicas de três genótipos de ameixa. **Scientia Rural**, Ponta Grossa, v.15, n.1 p.78-90, 2017.
- CANDAN, A.P. et al. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. **Postharvest Biology and Technology**. Amsterdam, v.47, n.1, p.107-112, 2008.
- CASTRO, L.; CAMPOS, A. D. **Ameixa produção**. Pelotas: Embrapa-SPI, p.115, 2003.
- CHITARRA, M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BOREN, F.M. (Ed.). **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.1-57.

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

CIA, P. **Efeito da atmosfera modificada no controle de podridões pós-colheita e na qualidade de caqui cv. Fuyu**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2002.

CORRÊA, T. R. et al. Manejo do etileno em ameixas 'Laetitia' armazenadas sob atmosferas controlada e modificada ativa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.3, p.723-729, 2011.

CUEVAS, F. J. et al. Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.199, n. 1, p.479-484, 2016.

ESPÍNDOLA, B. P. **Fatores associados à manifestação do escurecimento de polpa em ameixas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 64 f, 2012.

FIORAVANÇO, J. C.; NACHTIGALL, G. R.; ANDOLFATO, W. Avaliação Agronômica da Ameixeira 'Leticia' em Vacaria, RS. Vacaria: **Embrapa Uva e Vinho**. p.8, 2015. (Comunicado técnico, 122)

GIRARDI, C.L.; ROMBALDI, C.V.; PARUSSOLO, A.; DANIELI, R. **Manejo pós-colheita de pêssego cultivar Chiripá**. Bento Gonçalves: Embrapa, p.36, (Circular técnico 28) 2000.

GOULART JUNIOR, R. et al. **Relatório de projeto: Fruticultura Catarinense – Valor da produção comercial na safra 2014/15** (Boletim Didático n.135, ISSN 1414-5219). Florianópolis: Epagri, 2016.

GÜTTLER, G. **Qualidade pós-colheita de ameixa 'Laetitia' em função do estágio de maturação na colheita e condição de armazenamento**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

HEINZEN, A. S. et al. Qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia' em função do estágio de maturação e temperatura de armazenamento. **14ª Jornada de Pós-graduação e Pesquisa**, S.l, v. 1, n. 1, p.1-12, 2017.

HERTOG, M. L. A. et al. The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change in 'Braeburn' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 175-184, 2001.

JACOMINO, A. P. et al. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

JIANG, Y.; JOYCE, D.C.; MACNISH, A.J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.16, n.2, p.187-193. 1999.

JIN, Y. Z. et al. Ethanol vapor treatment maintains postharvest storage quality and inhibits internal ethylene biosynthesis during storage of oriental sweet melon. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.86, n.4, p.372-380, 2014.

JOHNSTON, J.W. et al. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, n.3, p.185-196, 2001.

KHAN, A. S.; SINGH, Z. 1-Methylcyclopropene application and modified atmosphere packaging affect ethylene biosynthesis, fruit softening, and quality of 'Tegan Blue' Japanese plum during cold storage. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Amsterdam, v.133, n.2, p.290-299, 2008.

KHAN, A.S., AHMED, M.J., SING, Z. Increased ethylene biosynthesis elevates incidence of chilling injury in cold-stored 'Amber Jewel' Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during fruit ripening. **International Journal of Food Science and Technology**, Australia, v.46, n.3, p. 642-650, 2011.

KETSAN, S. et al. Apparent synergism between the positive effects of 1-MCP and modified atmosphere on storage life of banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.85, p.173-178, 2013.

KLUGE, R.A. et al. Colapso da polpa em ameixa 'Santa Rosa' armazenada em diferentes regimes de temperatura. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.3, n.3, p.125-130, 1997a.

LUO, Z. et al. Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene. **Plant Science**, [s.l.], v177, n.6, p.705-709, 2009.

MAJUMDER, K.; MAZUMDAR, B.C. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.96, n.1-4, p.91-101, 2002.

MALGARIM, M. B. et al. Estádios de maturação e variação da temperatura de armazenamento na qualidade pós-colheita de ameixas cv. amarelinha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.29-35, 2005.

MALGARIM, M. B. et al. Estádio de maturação e variação da temperatura na qualidade pós-colheita de ameixas cv. 119 Reubennel. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.61-67, 2007.

MINAS, I. S.; CRISOSTO, G.M.; HOLCROFT, D.; VASILAKAKIS, M.; CRISOSTO, C.H. Postharvest handling of plums (*Prunus salicina* Lindl.) at 10 °C to save energy and preserve fruit quality using an innovative application system of 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.76, n.1, p.1-9, 2013.

MOSQUERA, D. J. C.; ESPINDOLA, B. P.; ALVES, E. O.; SANTANA, D.C.O.; FERNANDES, R.C.; AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A. Condições de armazenamento, uso de 1-MCP e indução de perda de massa na manutenção da qualidade de ameixa 'Laetitia'. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa- Congrega Urcamp**. Bagé, p.1025-1039, 2017.

NUNES, F. R. **Aplicação de vapor de etanol em atmosfera modificada e atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio e 1-MCP para manutenção da qualidade de ameixa “Laetitia”**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias. Lages, 2018.

NUNES, C. et al. Search for suitable maturation parameters to define the harvest maturity of plums (*Prunus domestica* L.): A case study of candied plums. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 112, n. 3, p. 570-574, 2009.

ÖZKAYA, O. et al. Influence of fast cold chain and modified atmosphere packaging storage on postharvest quality of early season- harvested sweet cherries. **Journal of food processing and preservation**, [s.l.], v.39, n.6, p.2119-2128, 2015.

ÖZKAYA, O. et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of nectarine fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.1, n.198, p.454-461, 2016.

REZENDE, S. L. et al. Injúrias por baixa temperatura em frutos: Um enfoque no uso de tecnologias para retardar as injúrias pós-colheita - Revisão. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, ISSN: 2595-7899, v.7, n. 12, p. 1-7, 2019.

SAQUET, A.A et al. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in ‘Conference’ pears and ‘Jonagold’ apples during controlled atmosphere storage. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Oxford, v.75, n.1, p.243-249, 2000.

SILVA, S.J., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas** / Editor S444 – 2.ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p 469 – 502.

SEAB. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Fruticultura**. 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/fruticultura>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SINGH, S.P.; SINGH, Z. Controlled and modified atmospheres influence chilling injury, fruit quality and antioxidative system of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell). **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.48, n.2, p.363- 374, 2013a.

SINGH, S.P.; SINGH, Z. Postharvest cold storage-induced oxidative stress in Japanese plums (*Prunus salicina* Lindl. cv. Amber Jewel) in relation to harvest maturity. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v.7, n.3, p. 391-400, 2013b.

STANGER, M. C. et al. Qualidade pós-colheita de ameixas ‘Camila’ e ‘Laetitia’ colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.2, p.214- 221, 2014.

STANGER, M. C. et al. Quality preservation of ‘Laetitia’ plums in active modified atmosphere storage. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.39, n.2, p.235-15, 2017.

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

STEFFENS, C.A. et al. Armazenamento ameixas ‘Laetitia’ em atmosfera modificada. **Ciência**

Rural, Santa Maria, v.39, n.9, p.2439-2444, 2009.

STEFFENS, C.A. et al. Maturação e qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia' com a aplicação pré-colheita de AVG e GA3. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.33, n.1, p.21-31, 2011.

STEFFENS, C.A. et al. Condições de atmosfera controlada para armazenamento de ameixas 'Laetitia' tratadas com 1-metilciclopropeno. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.44, n. 4, p.750-756, 2013.

STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; ALVES, E.O.; BRACKMANN, A. Fruit quality preservation of 'Laetitia' plums under controlled atmosphere storage. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Rio de Janeiro, v.86, n.1, p.485-494, 2014.

STEFFENS, C.A. et al. Armazenamento de ameixas. XV Encontro Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, XV, 2017, Fraiburgo, SC. **Anais...** Caçador: Epagri, v. 1, p.111-115, 2017.

WANG, J. et al. Patterns of flesh reddening, translucency, ethylene production and storability of 'Friar' plum fruit harvested at three maturity stages as affected by the storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.121, p.9-18, 2016.

WRIGHT, A. H. et al. The trend toward lower oxygen levels during apple (*Mallus x domestica* Borkh) storage – A review. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**. Oxford, v.90, n.1, p.1-13, 2015.