

FRANCIELLE REGINA NUNES

**APLICAÇÃO DE VAPOR DE ETANOL EM ATMOSFERA MODIFICADA E
ATMOSFERA CONTROLADA COM ULTRABAIXO OXIGÊNIO E 1-MCP PARA
MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE AMEIXAS ‘LAETITIA’**

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

Orientador: Dr. Cristiano André Steffens

**LAGES
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo autor,
com auxílio do programa de geração automática
da Biblioteca Setorial do CAV/ UDESC

Nunes, Francielle Regina

Aplicação de vapor de etanol em atmosfera modificada e atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio e 1-MCP para manutenção da qualidade de ameixas ?Laetitia? / Francielle Regina Nunes. - Lages , 2018.

75 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, 2018.

1. Prunus salicina L.. 2. Pós-colheita. 3. Distúrbio fisiológico. 4. Etileno. 5. 1-metilciclopropeno. I. Steffens, Cristiano André . II. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação. III. Título.

FRANCIELLE REGINA NUNES

**APLICAÇÃO DE VAPOR DE ETANOL EM ATMOSFERA MODIFICADA E
ATMOSFERA CONTROLADA COM ULTRABAIXO OXIGÊNIO E 1-MCP PARA
MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE AMEIXAS 'LAETITIA'**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado 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

Membros: _____

Dr. Fabiane Nunes Silveira
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Prof. Dr. Rogério de Oliveira Anese
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

Lages/SC 17/08/2018

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu marido Deivid, que sempre esteve ao meu lado dando apoio nos momentos mais difíceis e também fazendo parte dos mais alegres.

A minha família, por estarem sempre ao meu lado incentivando e ajudando a superar todos os obstáculos do caminho.

Ao meu orientador Dr. Cristiano André Steffens, pela oportunidade, confiança, apoio, dedicação e paciência.

A todos os professores que fizeram parte do meu aprendizado, e que contribuíram para o crescimento do meu conhecimento.

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

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

A CAPES pela bolsa concedida para realização desse trabalho.

Meu muito obrigada!

RESUMO

NUNES, Francielle Regina. **Aplicação de vapor de etanol em atmosfera modificada e atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio e 1-MCP para manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia'** 2018. 76 f. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2018.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de etanol associado ao armazenamento em atmosfera modificada, e o efeito do ultrabaixo oxigênio em atmosfera controlada associado ou não ao 1-MCP sobre a manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia', especialmente sobre a incidência e intensidade do escurecimento de polpa. Dois experimentos foram desenvolvidos com ameixas provenientes de um pomar comercial do município de Lages, SC, colhidas nas safras 2016/2017 e 2017/2018. Após a colheita, os frutos foram levados até o laboratório de fisiologia pós-colheita do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV/UEDESC. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Cada tratamento foi composto de quatro repetições e unidade experimental constituída de 20 frutos. No primeiro experimento foram utilizadas cinco doses de vapor de etanol 0, 2, 4, 6 e 8 ml kg⁻¹ de fruto (safra 2016/2017) e 0, 0,25, 0,5, 1,0 e 2,0 ml kg⁻¹ de fruto (safra 2017/2018). Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram armazenados a 0,5±0,2°C e 92±2% de UR por 30 (safra 2016/2017) e 40 dias (safra 2017/2018). No segundo experimento, os tratamentos avaliados foram 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 0,5 °C; 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início do armazenamento); 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início e final do armazenamento); 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início do armazenamento). Os frutos ficaram armazenados em atmosfera controlada por 55 dias. Em ambos os experimentos, após o período de armazenamento seguido de mais três dias em condição ambiente (20 ± 2 °C e 60 ± 5% de UR), os frutos foram avaliados quanto aos atributos físico-químicos, incidência e intensidade de escurecimento da polpa e quantificação de etanol, acetaldeído e acetato de etila. No experimento com vapor de etanol, as doses utilizadas foram eficientes em manter a firmeza da polpa. As doses de etanol utilizadas na segunda safra reduziram a intensidade de escurecimento da polpa. No segundo experimento, a condição de 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ com temperatura de 1,5 °C proporcionou menor intensidade de escurecimento de polpa quando comparado aos frutos armazenados na mesma condição com temperatura de 0,5 °C. Os frutos armazenados nas condições de 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C associado a aplicação de 1 – MCP apresentaram menor escurecimento de polpa e maior resistência a compressão. A aplicação de 1-MCP reduziu os produtos da fermentação e manteve maior acidez titulável nos frutos. No entanto, não contribuiu para manutenção da firmeza da polpa.

Palavras-chave: *Prunus salicina* L. Pós-colheita. Distúrbio fisiológico. Etileno. 1-metilciclopropano.

ABSTRACT

NUNES, Francielle Regina. **Application of ethanol vapor in modified atmosphere and ultra-low oxygen and 1-MCP under controlled atmosphere as strategies to reduce internal browning in 'Laetitia' plums.** 2018. 76 f. Master (Dissertation in Vegetable Production – Area: Biology and PostHarvest) – University of de Santa Catarina State. Graduate Program in Vegetable Production, Lages, 2018.

The objective of this work was to evaluate the effect of ethanol doses associated with storage in modified atmosphere, and the effect of ultra-low-oxygen in controlled atmosphere, associated or not with 1-MCP on the maintenance of quality of 'Laetitia' plums, especially on the incidence and intensity of internal browning. Two experiments were carried out with plums harvested at commercial orchard in the municipality of Lages, SC, in 2016/2017 and 2017/2018 harvests. The experimental design was completely randomized. Each treatment was composed of four replicates and an experimental unit of 20 fruits. In the first experiment, five doses of ethanol were used: 0, 2, 4, 6 and 8 mL kg⁻¹ of fruit (harvest 2016/2017) and 0, 0.25, 0.5, 1.0 and 2.0 mL kg⁻¹ of fruit (harvest 2017/2018). After ethanol application, fruit were stored at 0.5 ± 0.2 °C and 92 ± 2% RH for 30 (2016/2017) and 40 days (2017/2018). In the second experiment, the evaluated treatments were 1.0 kPa of O₂ + 1.0 kPa of CO₂ - 0.5 °C; 1.0 kPa of O₂ + 1.0 kPa of CO₂ - 1.5 °C; 0.5 kPa of O₂ + 1.0 kPa of CO₂ - 1.5 °C; 0.5 kPa O₂ + 0.0 kPa CO₂ - 1.5 °C; 0.25 kPa O₂ + 0.0 kPa CO₂ - 1.5 °C; 0.5 kPa of O₂ + 0.0 kPa of CO₂ - 1.5 °C + 1 - MCP (at the beginning of storage); 0.5 kPa of O₂ + 0.0 kPa of CO₂ - 1.5 °C + 1 - MCP (at the beginning and end of storage); 0.25 kPa of O₂ + 0.0 kPa of CO₂ - 1.5 °C + 1-MCP (at the end of storage). The fruit were stored in controlled atmosphere for 55 days. In both experiments, after storage period plus 3 days of shelf life (20 ± 2 °C and 60 ± 5% RH), fruit were evaluated for physical-chemical attributes, incidence and intensity of internal browning and quantification of ethanol, acetaldehyde and ethyl acetate. In the experiment with ethanol vapor, the doses used were efficient in maintaining the flesh firmness. The ethanol doses used in the second harvest reduced the intensity of internal browning. In the second experiment, the condition of 1.0 kPa of O₂ + 1.0 kPa of CO₂ with the temperature of 1,5 °C provided a lower intensity of internal browning when compared to the fruits stored in the same CA condition with a temperature of 0.5 °C. The fruit stored under 0.5 kPa of O₂ + 0.0 kPa of CO₂ at 1.5 °C and 0.25 kPa O₂ + 0.0 kPa CO₂ at 1.5 °C associated with 1-MCP application showed lower internal browning and greater resistance to comprehension. The application of 1-MCP reduced the fermentation products and maintained a higher titratable acidity. However, it did not contribute to the maintenance of the flesh firmness.

Keywords: *Prunus salicina* L. Postharvest. Physiological disorder. Ethylene. 1-methylcyclopropene.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Acetato de etila em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente. 32
- Figura 2 – Etanol em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017 (A) e 40 dias, safra 2017/2018 (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente. 33
- Figura 3 – Acetaldeído em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem mais três dias em condições ambiente. Safra 2016/2017. ... 34
- Figura 4 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018. 35
- Figura 5 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente. 36
- Figura 6 – Taxa respiratória em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018. 38
- Figura 7 – Índice de coloração vermelha em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017. 39
- Figura 8 – Ângulo *hue* na região mais vermelha (h +vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017. 40
- Figura 9 – Ângulo *hue* na região menos vermelha (h–vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente. 41
- Figura 10 – Ângulo *hue* na região mais vermelha (h +vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente. 42

- Figura 11 – Luminosidade na região mais vermelha (*L+*vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem mais três dias em condições ambiente.43
- Figura 12 – Luminosidade na região menos vermelha (*L-*vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.44
- Figura 13 – Firmeza de polpa em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.45
- Figura 14 – Porcentagem de frutos escurecidos (PFE) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017.47
- Figura 15 – Intensidade do escurecimento da polpa (*L* da polpa) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.48
- Figura 16 – Intensidade do escurecimento da polpa (*L* da polpa) em ameixas ‘Laetitia’ sem aplicação de etanol (A) e com a dose de $0,25\text{ mL de etanol kg}^{-1}$ de fruto (B) durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.49

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Nível de concentração dos gases CO₂ (%) e O₂ (%) durante o armazenamento em atmosfera modificada de ameixas ‘Laetitia’ em cada dose de vapor de etanol (ml kg⁻¹ de fruto), safra 2017/2018. 31
- Tabela 2 – Descrição dos tratamentos avaliados, combinando pressões parciais de O₂ + CO₂, temperatura de armazenamento e momentos de aplicação do 1-MCP. 54
- Tabela 3 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 58
- Tabela 4 – Respiração em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 59
- Tabela 5 – Índice de cor vermelha em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 59
- Tabela 6 – Atributos de cor da casca *L* e *h*^o na região mais e menos vermelha dos frutos em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 61
- Tabela 7 – Firmeza de polpa e força de compressão do fruto em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 62
- Tabela 8 – Sólido solúveis e acidez titulável em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 63
- Tabela 9 – Luminosidade da polpa e porcentagem de frutos escurecidos em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 64
- Tabela 10 – Acetato de etila, acetaldeído e etanol em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente. 65

LISTA DE ABREVIACOES

AC	Atmosfera controlada
ACC	cido 1- aminociclopropano-1-carboxílico
ACD	Atmosfera controlada dinâmica
AM	Atmosfera modificada
AR	Armazenamento refrigerado
AT	Acidez titulável
Brix	Graus Brix
C	Graus celsius
CO ₂	Gás carbnico
g	Gramas
<i>h</i> 	ângulo ' <i>hue</i> '
h	Horas
ICV	ndice de cor vermelha
kg	Quilograma
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
μ L	Micro litro
η mol	Nanomolar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	19
2	VAPOR DE ETANOL RETARDA O AMADURECIMENTO E REDUZ APERDA DE FIRMEZA DA POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ ARMAZENADAS EM ATMOSFERA MODIFICADA.....	25
2.1	RESUMO	25
2.2	INTRODUÇÃO.....	25
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.5	CONCLUSÃO.....	49
3	ARMAZENAMENTO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ EM ATMOSFERA CONTROLADA COM ULTRABAIXO OXIGÊNIO E 1-MCP	51
3.1	RESUMO	51
3.2	INTRODUÇÃO.....	51
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.5	CONCLUSÃO.....	65
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

A ameixa é um fruto de clima temperado produzido principalmente nos estados da região sul do Brasil. A área cultivada de ameixa no país é de 4.200 hectares, com produção anual de aproximadamente 40 mil toneladas. No estado de Santa Catarina, no ano de 2017, a produção de ameixa foi de 18 mil toneladas (EPAGRI, 2017). A cultivar de ameixa ‘Laetitia’ é a principal cultivar de maturação tardia em produção no Sul do Brasil. Apresenta frutos de tamanho médio a grande e formato ovalado (FIORAVANÇO; NACHTIGALL; ANDOLFATO, 2015). A coloração da epiderme é vermelho púrpura e da polpa é amarela (HEINZEN, 2016). Devido ao seu rápido amadurecimento, seu período de colheita é normalmente concentrado na segunda quinzena de janeiro, ocasionando uma grande pressão de oferta de frutos, com preços reduzidos e experimentando grandes perdas. Para regular o período de oferta, reduzir perdas e proporcionar melhor remuneração ao produtor, se faz necessário o armazenamento de parte da produção (BRACKMANN et al., 2001).

O método mais utilizado na conservação pós-colheita de ameixas é o armazenamento refrigerado (AR) (STEFFENS et al., 2017), que consiste na redução da temperatura e controle da umidade relativa do ar do ambiente onde os frutos são armazenados, sendo que, a redução da temperatura é o fator que mais favorece a manutenção da qualidade (STEFFENS et al., 2007). No entanto, a maioria das cultivares de frutos de caroço de clima temperado (*Prunus* spp.) é suscetível ao dano por frio, o qual manifesta-se, em ameixa, principalmente na forma de escurecimento de polpa (ARGENTA et al., 2011; SINGH; SINGH, 2013a). Tem sido proposto que o escurecimento interno ocorre devido a um processo oxidativo relacionado à produção de espécies reativas de oxigênio, causando a peroxidação lipídica e a redução na eficiência de sistemas antioxidantes, com comprometimento das membranas celulares (SINGH; SINGH, 2013 a, b).

Outro fator limitante para o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ é a perda de firmeza da polpa em decorrência do rápido amadurecimento desta cultivar (STEFFENS et al., 2014a). Em ameixas ‘Laetitia’ foi verificado que a presença do etileno altera a qualidade dos frutos causando perda de firmeza de polpa, maior incidência de escurecimento da polpa e perda de acidez, sendo necessário fazer uso de tecnologias para minimizar os efeitos do etileno durante o armazenamento (CORRÊA et al., 2011). Apesar de não existir uma recomendação específica sobre a melhor condição para o armazenamento da ameixa ‘Laetitia’, sabe-se que o período máximo de conservação em armazenamento refrigerado deve ser por até 30 dias, sendo que a melhor temperatura relatada por Alves et al. (2010) é de 0,5 °C negativo. Períodos superiores

podem fortemente comprometer a qualidade dos frutos (HEIZEN, 2016), resultando em frutos com baixa firmeza de polpa e elevada incidência de escurecimento da polpa (ARGENTA et al., 2003, 2011; ALVES et al., 2009; STEFFENS et al., 2014a, b), características que podem reduzir a aceitabilidade pelo consumidor. Todavia, atualmente se faz necessário o prolongamento desse período de armazenamento para 45 a 55 dias.

Mesmo adequando as condições de armazenamento refrigerado, a manutenção da qualidade das ameixas após esta etapa é reduzida, principalmente devido ao escurecimento da polpa (ALVES et al., 2009). Vários estudos foram realizados avaliando tecnologias complementares ao armazenamento refrigerado visando prolongar o período de armazenamento, como o uso do 1- metilciclopropeno (1-MCP) (STEFFENS et al., 2018), atmosfera modificada (STANGER et al., 2017), aplicação do vapor de etanol (NUNES et al., 2017; MARTIN et al., 2018) e atmosfera controlada (AC) (NUNES et al., 2017).

A atmosfera modificada (AM) é um sistema de armazenamento que provoca maior redução do metabolismo celular do que o uso isolado da refrigeração, assim como a atmosfera controlada (AC) (STANGER et al., 2017), contudo menos onerosa que a AC (STEFFENS et al., 2009). Segundo Steffens et al. (2007), associado à redução da temperatura, os principais fatores que contribuem para manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AM, são a diminuição da pressão parcial de O₂ e o aumento da pressão parcial de CO₂. No entanto, a intensa redução nos níveis de O₂ combinado com o aumento do CO₂ pode induzir a fermentação e causar acúmulo de etanol e acetaldeído (BOTH et al., 2014), provocando o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (STANGER et al., 2017). Porém, em baixas concentrações, o etanol pode trazer benefícios durante o armazenamento (WEBER et al., 2016). A aplicação de produtos da fermentação no ambiente de armazenamento e/ou condições que causem o acúmulo de concentrações não danosas à célula pode ser uma alternativa para a manutenção da qualidade de frutos (PESIS, 2005). O etanol apresenta efeito sobre diversos frutos climatéricos, podendo melhorar a manutenção dos atributos de qualidade, dependendo da espécie (PESIS, 2005), sendo que as respostas ao tratamento parecem ser dependentes de fatores como espécie, cultivar, maturidade, concentração aplicada, modo de aplicação e duração de exposição (RITENOUR et al. 1997).

A aplicação exógena de etanol, em brócolis, inibiu a expressão dos genes *BOACO1*, *BO-ACO2* e *BO-ACSI*, que estão envolvidos na biossíntese de etileno (ASODA et al., 2009), reduziu a concentração interna de etileno em melões doces (LIU et al. 2012) e retardou o amadurecimento de tomate (TZORTZAKIS; ECONOMAKIS, 2007) e de melão (JIN et al., 2013), além de apresentar resultados positivos no retardo da senescência de brócolis (ASODA

et al., 2009; XU et al., 2012). A aplicação de vapor de etanol, na concentração de 0,15% em ameixas 'Laetitia' armazenadas por 35 dias sob refrigeração ($0,5\pm 0,1$ °C/UR $96\pm 1\%$) proporcionou menores taxas respiratória e de produção de etileno em frutos, tanto na saída da câmara como após mais quatro dias em condição ambiente (20 ± 5 °C e UR de $63\pm 2\%$) (MARTIN et al., 2018), bem como reduziu a intensidade de escurecimento da polpa em ameixas 'Laetitia' armazenadas sob refrigeração ($1\pm 0,2$ °C e $92\pm 2\%$ de UR) por 35 dias, seguido de mais três dias em condição ambiente (HEIZEN, 2016). O efeito do etanol na redução de danos por frio também foi observado para outras frutíferas, sendo, que essa redução está associada a menor viscosidade das membranas pelo aumento da fluidez dos lipídios (PESIS, 2005) Desta forma, a associação da aplicação exógena de etanol com a AM poderia prolongar o período de oferta da ameixa 'Laetitia', possibilitando a comercialização de frutos com boa qualidade, durante a entressafra.

O armazenamento em AC é um método que tem sido utilizado para preservar a qualidade dos frutos durante longos períodos de armazenamento (MARTIN et al., 2015), sendo considerado como o sistema mais eficiente para o armazenamento de frutas de caroço, embora os custos de instalação e operacionais sejam maiores do que o armazenamento em ar refrigerado (FERNANDES, 2014). A combinação das concentrações ideais dos gases proporciona maior redução no metabolismo celular do que outros sistemas de armazenagem (DAS et al., 2006), possibilitando que alguns frutos sejam conservados por mais tempo e com melhor manutenção da qualidade (STEFFENS et al., 2013). Em ameixas, o armazenamento em AC aumenta a vida pós-colheita dos frutos (ALVES et al., 2010b), porém, mesmo neste sistema de armazenamento, a manifestação do escurecimento da polpa é um fator limitante ao armazenamento prolongado de ameixas 'Laetitia' (NUNES et al., 2017a). Entretanto, condições inadequadas de AC podem favorecer a ocorrência de desordens fisiológicas, como o escurecimento da polpa. A condição de AC ideal para o retardo do amadurecimento da ameixa 'Laetitia', com menor risco de escurecimento da polpa, parece estar entre 1 e 2 kPa de O₂ e 1 e 2 kPa de CO₂ (STEFFENS et al., 2013), pois nestas condições, retardou o amadurecimento dos frutos e reduziu o escurecimento interno da ameixa 'Laetitia' (STEFFENS et al., 2018). Devido à sensibilidade da ameixa 'Laetitia' ao escurecimento da polpa (ARGENTA et al., 2003), condições de alto CO₂ (> 3 kPa) podem ser inadequadas (ALVES et al. 2010b). Atmosferas com baixos níveis de oxigênio, têm demonstrando efeitos benéficos na conservação de frutas (KADER, 2003). No entanto, acredita-se que o estresse causado por condições inadequadas de armazenamento em AC, como pressões parciais muito reduzidas de O₂ ou muito elevadas de CO₂ possa induzir a respiração anaeróbica nos tecidos da polpa, fazendo que ocorra aumento no conteúdo de

produtos da fermentação, como etanol e acetaldeído, levando a formação de radicais livres, afetando o metabolismo energético, com consequente dano as membranas das células da polpa (MARTIN et al., 2017). Entretanto, baixas concentrações de etanol, produzido pela via fermentativa, através da indução da anaerobiose pode ser benéfico para manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento (BOTH et al., 2014), uma vez que condições de anaerobiose podem ocorrer naturalmente durante o amadurecimento em partes internas da polpa dos frutos (LARA et al., 2011).

Apesar dos benefícios da AC, a melhor condição para armazenar ameixas 'Laetitia' ainda necessita de estudos. Condições da atmosfera controlada com baixos níveis de O_2 (< 1 kPa) podem proporcionar melhores resultados para manter a qualidade das ameixas 'Laetitia' uma vez que podem induzir o acúmulo de concentrações de etanol que contribuam para o retardo do amadurecimento dos frutos e redução da incidência e severidade do escurecimento da polpa.

A ação do etileno aumenta a incidência e a severidade do escurecimento da polpa em ameixas 'Laetitia', que associado a condições inadequadas de O_2 e CO_2 , pode resultar em elevadas perdas (ALVES et al., 2009). O 1-MCP, um potente inibidor da ação do etileno (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; LALLU; BURDON, 2007), tem sido utilizado de forma eficaz no controle do amadurecimento e da senescência de frutos, como maçã, banana, manga, pera, tomate e kiwi (PIRIYAVINIT et al., 2011). O 1-MCP compete diretamente pelo sítio de ligação do etileno aos seus receptores, em nível de membrana celular, inibindo seu estímulo fisiológico e a transmissão do sinal que desencadeia os processos de amadurecimento (MARTIN et al., 2018). O uso do 1-MCP na dose de $1 \mu\text{L L}^{-1}$ em ameixas 'Laetitia' armazenadas a $1 \text{ kPa } O_2 + 1 \text{ kPa } CO_2$ apresentou resultado positivo na redução do escurecimento da polpa (STEFFENS et al., 2013; 2018). Todavia, a eficiência do 1-MCP pode variar em função das condições de armazenamento, principalmente com relação ao desenvolvimento de desordens fisiológicas (STEFFENS et al., 2013). O escurecimento da polpa em ameixas é considerado um dano por frio, que ocorre durante o armazenamento, mas os sintomas se manifestam principalmente após o armazenamento, durante o período de comercialização. Nunes et al. (2017a), relatam que a aplicação de 1-MCP ao final do armazenamento mostrou efeito positivo na redução da intensidade de escurecimento da polpa em ameixas 'Laetitia'. É possível que a aplicação de 1-MCP no início e ao final do armazenamento em AC contribuam de maneira efetiva na redução da incidência e severidade do escurecimento da polpa, bem como do amadurecimento de ameixas 'Laetitia'.

Todas estas tecnologias demonstraram resultados positivos em retardar o amadurecimento e reduzir a severidade do escurecimento de polpa. Contudo, não foi avaliado o efeito do etanol associado à AM e da AC com ultrabaixo oxigênio associado ao 1-MCP, aplicado em diferentes períodos de armazenamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de etanol associado ao armazenamento em AM, e o efeito do ultrabaixo oxigênio em AC, associado ou não ao 1-MCP aplicado em diferentes momentos do armazenamento, sobre a manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia', especialmente sobre a incidência e intensidade do escurecimento de polpa.

1.1 HIPÓTESES

As hipóteses do trabalho são:

- a) a aplicação pós-colheita de etanol associada ao armazenamento em atmosfera modificada retarda o amadurecimento e reduz o escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia';
- b) o armazenamento em atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio ($\leq 0,5$ kPa) a $1,5^{\circ}\text{C}$ apresenta melhor retardo do amadurecimento e reduz o escurecimento da polpa em ameixas 'Laetitia' do que o armazenamento em atmosfera controlada com 1 kPa de O_2 na temperatura de $0,5^{\circ}\text{C}$;
- c) a aplicação de 1-MCP após o armazenamento em atmosfera controlada contribui para o retardo do amadurecimento e redução da incidência e intensidade de escurecimento da polpa em ameixas 'Laetitia'.

2 VAPOR DE ETANOL RETARDA O AMADURECIMENTO E REDUZ A PERDA DE FIRMEZA DA POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ ARMAZENADAS EM ATMOSFERA MODIFICADA

2.1 RESUMO

A aplicação de etanol em frutos armazenados em atmosfera modificada (AM) pode potencializar os efeitos deste sistema de armazenamento sobre a manutenção da qualidade pós-colheita de ameixas ‘Laetitia’. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do vapor de etanol durante ao armazenamento em AM sobre o amadurecimento e a manutenção da qualidade pós-colheita de ameixas ‘Laetitia’, especialmente sobre o escurecimento da polpa. Foram utilizadas ameixas provenientes de um pomar comercial do município de Lages, SC, colhidas nas safras 2016/2017 e 2017/2018. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Cada tratamento foi composto de quatro repetições e unidade experimental constituída de 20 frutos. Na safra 2016/2017 as doses de vapor de etanol avaliados foram 0 (controle) e 2, 4, 6 e 8 mL kg⁻¹ de fruto e na safra 2017/2018 foram 0, 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 mL kg⁻¹ de fruto. Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram armazenados a 0,5±0,2°C e 92±2% de UR por 30 e 40 dias nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. Na saída do armazenamento seguido de mais três dias em condição ambiente os frutos foram avaliados quanto aos atributos físico-químicos, incidência e intensidade de escurecimento da polpa e quantificação de etanol, acetaldeído e acetato de etila. A aplicação de vapor de etanol, se mostrou eficiente na manutenção da firmeza de polpa dos frutos e na redução da evolução da cor vermelha, no entanto, não foram eficientes em reduzir a incidência de escurecimento da polpa. As doses de etanol, utilizadas na segunda safra (2017/2018), resultaram em frutos com menor intensidade de escurecimento da polpa de ameixas ‘Laetitia’.

Palavras-chave: *Prunus salicina* L. Pós-colheita. Distúrbio fisiológico. Etileno.

2.2 INTRODUÇÃO

A ameixa é um fruto de clima temperado, com padrão climatérico de respiração e produção de etileno, fatores que estão associados a rápida maturação (ARGENTA et al., 2011). No Brasil, a safra de ameixa é curta, compreendendo os meses entre novembro e janeiro, e com isso a entrada de frutos importados é favorecida (BENATO et al., 2015). Para regular a oferta do produto nacional no período de entressafra, uma alternativa viável é fazer uso do armazenamento refrigerado. A redução da temperatura é a principal estratégia utilizada para conservar os frutos (HENDGES et al., 2013). No entanto, devido a elevada taxa metabólica, o período de armazenamento é reduzido (STEFFENS et al., 2011), pois períodos prolongados proporcionam frutos com menor qualidade, apresentando elevada perda da firmeza de polpa (ALVES et al., 2009) e alta incidência de escurecimento de polpa (SINGH; SINGH, 2013a).

O escurecimento de polpa, distúrbio fisiológico que afeta ameixas armazenadas sob refrigeração, é considerado um dano pelo frio (SINGH; SINGH, 2013a). Este distúrbio ocorre devido a um processo oxidativo relacionado à produção de espécies reativas de oxigênio, causando a peroxidação de lipídios e reduzindo a eficiência de sistemas antioxidantes, com consequente danos às membranas celulares (SINGH; SINGH, 2012). Além disso, o escurecimento de polpa ainda pode ser agravado pela ação do etileno (CANDAN et al., 2011), sendo que a alta produção deste fitormônio em condição ambiente, após o armazenamento refrigerado, causa danos às membranas e induz a senescência em ameixas, com consequente manifestação de escurecimento da polpa (HENDGES et al., 2013).

Com isso, faz-se necessário adotar novas estratégias para prolongar o período de armazenamento, e entre elas destaca-se a atmosfera modificada (AM) e o uso do vapor de etanol. A AM pode aumentar o período de oferta da ameixa 'Laetitia', bem como possibilitar a comercialização de frutos com melhor qualidade, durante a entressafra, pois reduz a atividade metabólica e a perda de água pelos frutos, mantendo uma aparência mais atraente para o consumidor (SIQUEIRA et al., 2017). A redução da temperatura, a diminuição da pressão parcial de O₂ e o aumento da pressão parcial de CO₂ por meio da AM são os principais fatores que contribuem para a manutenção da qualidade do produto e, consequentemente, a redução das perdas pós-colheita (STANGER et al., 2017). Níveis baixos de O₂ promovem a redução da respiração e produção de etileno, retarda a maturação e senescência, e reduz a ocorrência de distúrbios fisiológicos (WRIGHT et al., 2015). O armazenamento em AM com pressão parcial de O₂ média de 1,2 kPa apresentou bons resultados na manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia' (STANGER et al., 2017).

Contudo, apesar da AM contribuir na manutenção da qualidade de frutos, pode, em alguns casos induzir o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e a fermentação dos frutos, devido à intensa redução nos níveis de O₂ e ao incremento do CO₂ (STEFFENS et al., 2007). No entanto, a fermentação não é necessariamente prejudicial para o funcionamento normal das células, desde que os níveis de energia estejam adequados ao mínimo metabolismo e os compostos da fermentação não se acumulem de forma excessiva (WRIGHT et al., 2015), pois, baixas concentrações de compostos da fermentação, auxiliam no retardo da maturação e não causam distúrbios (BOTH, 2015).

O etanol é um componente comum dos frutos, é uma substância natural, produzido em muitas plantas, presente em muitos alimentos, podendo ser facilmente metabolizados e com uma potente atividade antimicrobiana (LARSON; MORTON, 1991). Estudos demonstram que o vapor de etanol pode ser adotado como tratamento complementar à refrigeração, visando à

conservação da qualidade dos frutos (LICHTER et al., 2006). O etanol apresenta efeito sobre diversos frutos climatéricos, retarda a senescência e inibe a produção de etileno em plantas, podendo melhorar a manutenção dos atributos de qualidade, dependendo da espécie (PESIS, 2005).

Asoda et al. (2009) verificaram que concentrações não-tóxicas de etanol provocaram diminuição da respiração celular, da síntese de etileno e da degradação da clorofila (FUKASAWA et al. 2010). A aplicação de etanol inibe a expressão dos genes *BO-ACO1*, *BO-ACO2* e *BO-ACSI*, que estão envolvidos na biossíntese de etileno (ASODA et al. 2009). A aplicação de vapor de etanol reduziu as taxas respiratória e de produção de etileno em ameixas 'Laetitia' mantidas por 35 dias em armazenamento refrigerado (HEIZEN, 2016; MARTIN, et al., 2018).

Como o etileno está envolvido no desenvolvimento do escurecimento da polpa e o etanol reduz a síntese de etileno (ASODA et al., 2009; JIN et al., 2013), é possível utilizar vapor de etanol como ferramenta para reduzir este distúrbio. Entretanto, seu efeito também pode estar relacionado com a menor produção de espécies reativas de oxigênio, maior capacidade antioxidante e/ou estabilidade de membranas. Assim, a aplicação de etanol em frutos armazenados em AM pode potencializar os efeitos deste sistema de armazenamento sobre a manutenção da qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia'.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do vapor de etanol durante ao armazenamento em AM sobre o amadurecimento e a manutenção da qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia', especialmente sobre o escurecimento da polpa.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas ameixas 'Laetitia', provenientes de um pomar comercial localizado no município de Lages, SC, colhidas nas safras 2016/2017 e 2017/2018. Após a colheita, os frutos foram levados até o laboratório de Tecnologia pós-colheita da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC para a homogeneização das amostras experimentais e posteriormente a aplicação dos tratamentos. Antes da homogeneização das amostras os frutos com danos físicos, podridões, rachaduras e com coloração fora do padrão (frutos com >75% e <25 % da superfície do fruto recoberta com cor vermelha) foram eliminados. Cada tratamento foi composto de quatro repetições e unidade experimental constituída de 20 frutos. No entanto, para facilitar a aplicação do tratamento de forma precisa, o volume de frutos foi corrigido para 10 kg dentro

de cada embalagem, sendo que os frutos excedentes não foram avaliados após o armazenamento.

Na safra 2016/2017 (primeira safra) os tratamentos avaliados foram as seguintes doses de vapor de etanol: 0 (controle) e 2, 4, 6 e 8 mL kg⁻¹ de fruto. Na safra 2017/2018 (segunda safra) os tratamentos consistiram nas doses de 0, 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 mL kg⁻¹ de fruto.

Na safra 2016/2017 os frutos foram acondicionados em embalagem plástica constituída de três bolsas plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 12 µm, um sobre o outro, e amarrados com barbante, afim de manter o vapor de etanol dentro da embalagem. Dentro de cada embalagem foi adicionado sachê (100 g kg⁻¹ de fruto) contendo cal hidratada (Ca(OH)₂) para absorver o CO₂. O volume de etanol líquido, necessário para cada tratamento, foi adicionado em béqueres com capacidade para 100 mL, que foram colocados no interior das embalagens com frutos, os quais permaneceram durante todo o período de armazenamento. Para o tratamento controle, o acondicionamento dos frutos durante o armazenamento foi exatamente igual aos demais tratamentos, porém, sem a colocação de béquer com etanol. Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram armazenados em câmara fria a 0,5±0,2°C e 92±2% de UR por 30 dias.

Na segunda safra, a aplicação dos tratamentos ocorreu de forma semelhante a primeira safra, porém, foi utilizado apenas uma embalagem plástica de PEBD de 40 µm para acondicionar os frutos, sendo que foi realizado o monitoramento da concentração de gases O₂ e CO₂ dentro das embalagens, a cada sete dias a contar da data de aplicação dos tratamentos. Para a análise dos gases foi utilizado um analisador eletrônico de O₂ e CO₂ (Schelle®). Após a aplicação dos tratamentos, as embalagens de PEBD contendo os frutos foram armazenadas em câmara fria a 0,5±0,2°C e 92±2% de UR por 40 dias.

Na saída do armazenamento foram avaliados incidência de podridões, perda de massa, índice de coloração vermelha (ICV), cor da epiderme e taxa respiratória e de produção de etileno. Após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20±5°C e UR de 63±2%), para simular o período de comercialização, os frutos foram avaliados quanto ao índice de coloração vermelha (ICV), cor da epiderme, taxas respiratória e de produção de etileno, firmeza de polpa, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), incidência e intensidade de escurecimento da polpa e quantificação dos produtos da fermentação (acetato de etila, etanol e acetaldeído). Além destas variáveis, na safra 2017/2018 também foi realizada a avaliação de força para compressão do fruto. A incidência de podridões (%) foi avaliada pela contagem dos frutos afetados com lesões características de infecção por patógenos, como a presença de micélios, marrom-escuras e com aspecto aquoso.

A perda de massa (%) foi avaliada pesando cada amostra antes de ser submetida ao armazenamento em AM e na saída da câmara pesado novamente cada amostra, assim sendo avaliada pela diferença de massa entre a colheita e a saída da câmara.

O índice de cor vermelha (ICV) foi determinado pela avaliação da superfície dos frutos recoberta com coloração vermelha, à qual foram atribuídas notas de 1 a 4 para as percentagens da superfície dos frutos pigmentada de vermelho de 0–25, 26–50, 51–75 e 76–100%, respectivamente (STEFFENS et al., 2006).

A cor da epiderme foi avaliada em termos de valores de ângulo ‘hue’ (h°) com o auxílio de um colorímetro Minolta® modelo CR 400 (Konica, Tóquio, Japão). Os valores de h° apresentam as seguintes correspondências quanto às cores da superfície do tecido vegetal: 0° /vermelho, 90° /amarelo, 180° /verde e 270° /azul. As leituras foram realizadas em dois pontos opostos na região equatorial dos frutos, um na região mais vermelha e outro na região menos vermelha do fruto.

As taxas respiratórias ($\eta\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e de produção de etileno ($\eta\text{mol etileno kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) foram quantificadas colocando-se os frutos de cada amostra em um recipiente, que permite o fechamento hermético, com volume de 2300 mL. Através da cromatografia gasosa, em triplicata, utilizando-se seringas de 1 mL de volume, foi amostrada a atmosfera interna do recipiente e quantificadas as concentrações de CO_2 e etileno (C_2H_4). Para quantificação do CO_2 , a atmosfera foi amostrada após 30 minutos de fechamento dos recipientes contendo os frutos. Para quantificação do etileno (C_2H_4), foi necessário o fechamento dos recipientes por 15 horas com sachê (100 g kg^{-1} de fruto) contendo cal hidratada (Ca(OH)_2), para absorção do CO_2 . Para quantificação do CO_2 , o equipamento utilizado foi um cromatógrafo Varian®, modelo CP-3800 (Palo Alto, CA, EUA), equipado com coluna Porapak N® de 3 m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector, metanador e injetor foram de 45, 120, 300 e 110 °C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 30 e 300 mL min^{-1} , respectivamente. Enquanto que para quantificação do etileno, o equipamento utilizado foi um cromatógrafo a gás, modelo “Clarus 580 GC” (PerkinElmer, USA).

A firmeza da polpa foi determinada na região equatorial do fruto, em dois pontos opostos, onde foi previamente removida uma pequena porção da epiderme e posteriormente, com auxílio de um penetrômetro eletrônico (GÜSS Manufacturing Ltd., África do Sul) com ponteira de 7.9 mm de diâmetro, determinando a firmeza de polpa que foi expressa em Newton (N).

A força para compressão do fruto foi avaliada com texturômetro eletrônico TAXT-Plus® (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, Reino Unido). No qual utilizou-se uma plataforma plana,

modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, que exerceu uma força de compressão até uma deformação de 5 mm na superfície do fruto, com resultados expressos em Newton (N).

Os valores de AT (% ácido cítrico) foram obtidos através de uma amostra de 10 mL de suco, obtido pelo processamento em centrifuga, de duas fatias transversais retiradas da região equatorial dos frutos. Essa amostra foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Para a titulação, utilizou-se titulador automático TitroLine Easy® (Schott Instruments, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha). Os teores de SS (%) foram determinados em um refratômetro digital modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão), utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

A análise de incidência e intensidade 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 dos frutos que apresentaram regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, sendo determinada a proporção de frutos afetados (%). A intensidade do escurecimento da polpa foi determinada por meio dos valores de 'L' (Lightness), com um colorímetro modelo CR 400 da Konica Minolta®, sendo que 'L' varia de 0 para preto e 100 para branco, então quanto menor o valor de 'L', mais escurecida a polpa. Foram realizadas leituras nas quatro extremidades dos frutos, após um corte na região mediana dos mesmos.

Para a quantificação dos produtos da fermentação, foi utilizado cromatógrafo a gás, modelo "Clarus 580 GC", (PerkinElmer, USA), com temperatura do forno constante a 55 °C, tempo de corrida de 3 minutos, gás carreador nitrogênio com fluxo do gás de arraste de 2 mL por minuto e temperatura do detector e injetor de 250 e 180 °C respectivamente. O padrão utilizado foi de 100 µL L⁻¹ para acetato de etila e acetaldeído, e de 200 µL L⁻¹ para etanol, obtidos através da diluição dessas substâncias puras em água destilada. As amostras foram obtidas a partir de uma alíquota de 20 mL de suco dos frutos, armazenado em tubos vial 'headspace' com capacidade para 50 mL. Após uma hora em banho-maria a 70 °C, foram amostradas, em triplicatas, seringas de 1 mL com conteúdo retido no 'headspace' de cada amostra.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os valores em % foram previamente transformados pela fórmula arco seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram submetidas à análise de regressão para as doses de etanol. A análise estatística foi realizada com auxílio do software R (R core team, 2011).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na colheita os frutos da safra 2016/2017, apresentavam cor da casca no lado mais e menos vermelho (h°) de 25,71 e 74,53 respectivamente, firmeza de polpa de 39,54 N, teor de sólidos solúveis de 9,58 °Brix e acidez titulável de 12,48 mEq 100mL⁻¹. Para os frutos da safra 2017/2018, na colheita, a cor da casca na região mais e menos vermelha (h°) era de 29,31 e 63,99 respectivamente, firmeza de polpa de 37,99 N, teor de sólidos solúveis de 11,83 °Brix e acidez titulável de 12,98 mEq 100mL⁻¹.

A tabela 1 apresenta a concentração dos gases CO₂ e O₂ no interior das embalagens durante o período de armazenamento em cada tratamento, safra 2017/2018.

Tabela 1 – Nível de concentração dos gases CO₂ (%) e O₂ (%) durante o armazenamento em atmosfera modificada de ameixas ‘Laetitia’ em cada dose de vapor de etanol (ml kg⁻¹ de fruto), safra 2017/2018.

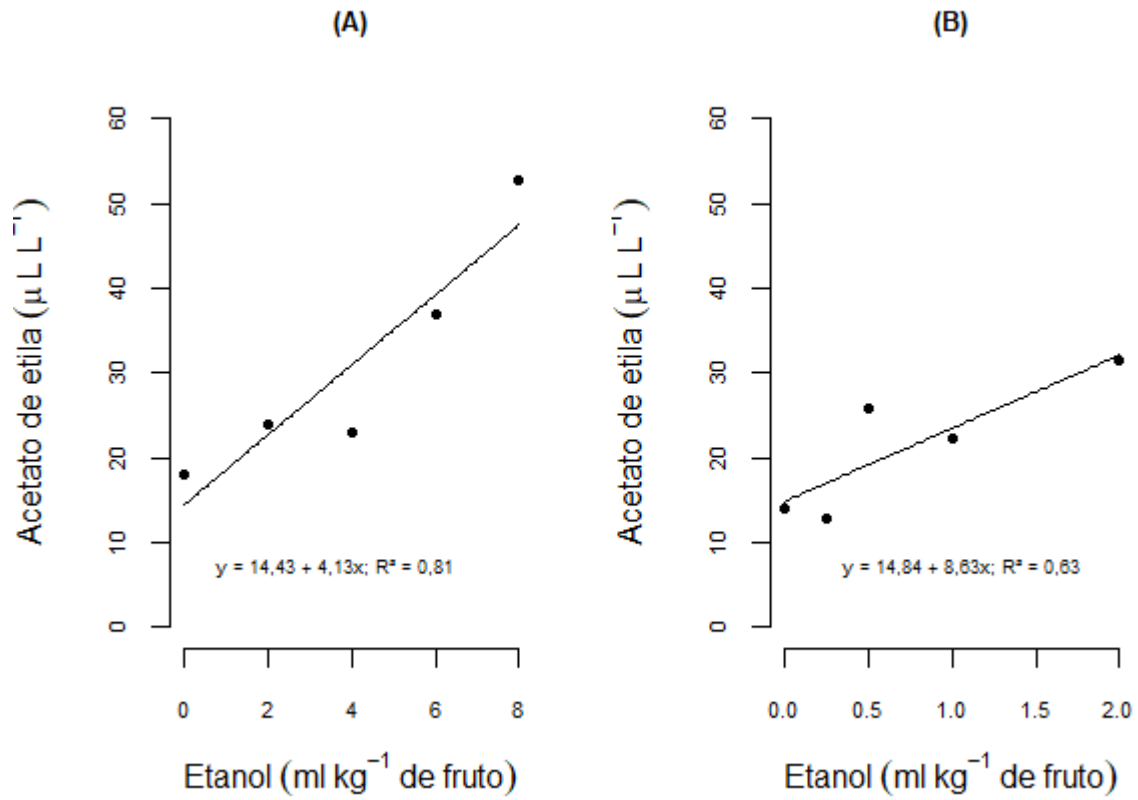
Tratamentos	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias		35 dias	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
0,0	0,06	1,90	0,05	4,41	0,05	4,40	0,09	4,51	0,14	2,70
0,25	0,06	5,09	0,07	2,42	0,06	2,05	0,15	1,90	0,20	2,72
0,50	0,04	13,27	0,00	7,39	0,04	0,20	0,00	0,22	0,12	0,37
1,00	0,05	2,22	0,00	0,32	0,04	0,44	0,00	1,82	0,10	2,14
2,00	0,09	3,13	0,05	0,49	0,04	1,76	0,00	1,05	0,09	3,92

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O tratamento com 0,5 mL de etanol kg⁻¹ de fruto, foi o que apresentou redução mais significativa dos níveis de O₂ ao longo do armazenamento, sendo que na primeira semana apresentava a concentração de 13,27% e ao final do armazenamento a concentração deste gás era de 0,37%, no entanto, durante o período de armazenamento a concentração de O₂ chegou ao nível de 0,20%. Nos demais tratamentos, a variação dos níveis de O₂ no interior das embalagens, foi menos pronunciada.

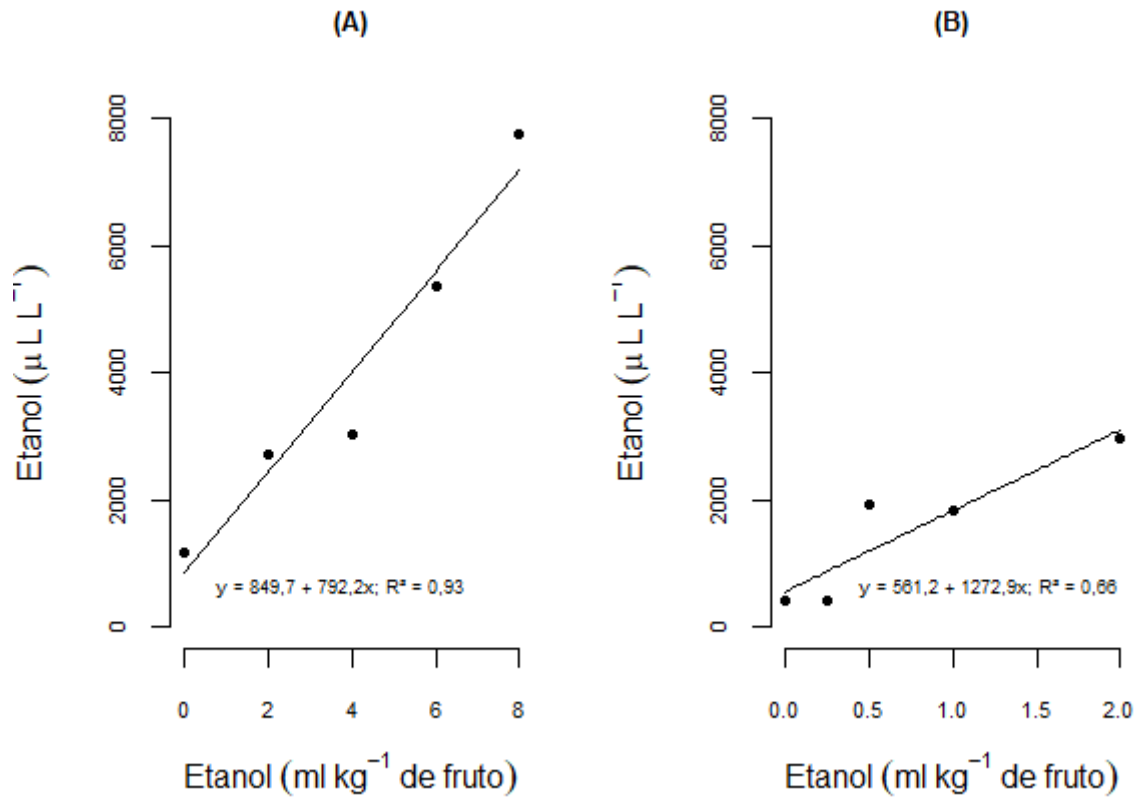
Em relação aos produtos da fermentação nas safras 2016/2017 e 2017/2018, observou-se aumento linear na concentração de acetato de etila e etanol com o incremento das doses de etanol (Figuras 1 e 2).

Figura 1 – Acetato de etila em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

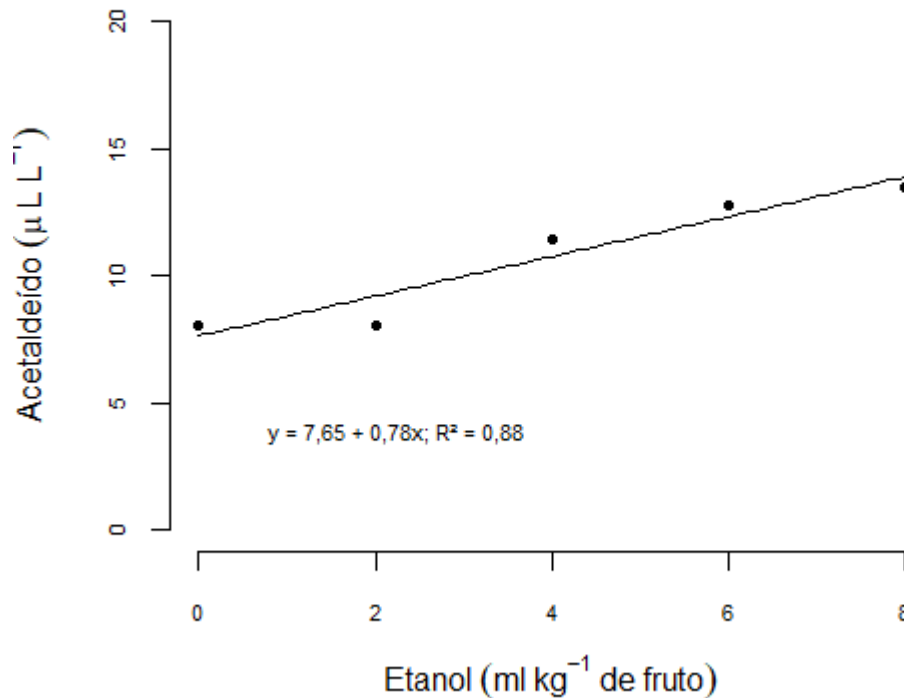
Figura 2 – Etanol em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017 (A) e 40 dias, safra 2017/2018 (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na safra 2016/2017 a concentração de acetaldeído no fruto foi crescente com as doses de etanol (Figura 3). Porém, na safra 2017/2018 não foi observado efeito das doses de etanol avaliadas sobre a concentração de acetaldeído (dados não apresentados).

Figura 3 – Acetaldeído em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem mais três dias em condições ambiente. Safra 2016/2017.



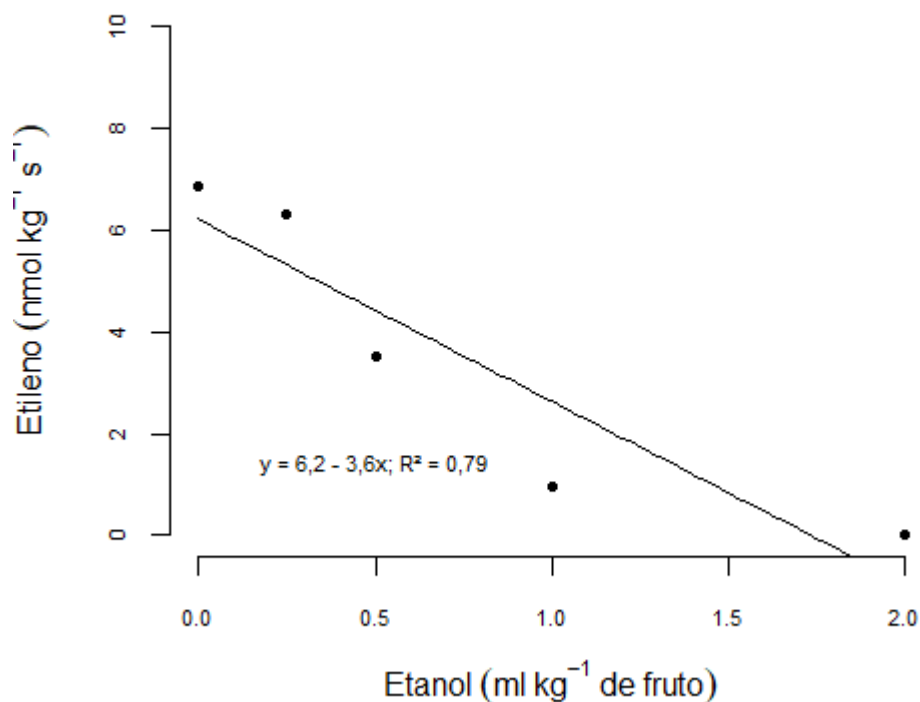
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Altas concentrações de produtos da fermentação (etanol, acetaldeído e acetato de etila) nos frutos podem produzir *off-flavour* (sabores estranhos) e reduzir a qualidade dos mesmos, causando escurecimento interno (WRIGHT et al, 2015). Embora grandes quantidades de compostos da fermentação possam causar características indesejáveis nos frutos, pequenas quantidades podem potencializar o aroma e o *flavour*. Echeverria et al. (2008) observaram que maçãs ‘Mondial Gala’, que possuíam presença de acetato de etila, tiveram maior aceitação pelos consumidores, justificando que a presença deste éster, até determinado limite, pode contribuir para o aroma dos frutos. Segundo Thewes et al. (2017) o limite de detecção em maçãs ‘Fuji Suprema’ para acetato de etila é $13.500 \mu\text{g kg}^{-1}$, acetaldeído $120 \mu\text{g kg}^{-1}$ e etanol $100.000 \mu\text{g kg}^{-1}$. Quantitativamente os ésteres são os principais componentes da composição volátil de ameixas, e entre eles o acetato de etila (PINO; QUIJANO, 2012). Os *off-flavours* estão relacionados com aumento nas concentrações de acetato de etila e etanol, mas não com o acetaldeído (LARSEN; WATKINS, 1995). No entanto, no presente trabalho não foi possível

avaliar a presença de *off-flavours*, pois não foi realizada análise sensorial. Além disso, outros fatores são importantes na aceitação dos consumidores, como a firmeza de polpa e a acidez dos frutos, sendo que estas características podem ser afetadas pelos produtos da fermentação (WEBER, 2010). Segundo este autor, o efeito dos produtos da fermentação como etanol e o acetaldeído, sobre a manutenção da qualidade dos frutos, ocorre devido a atuação na rota de síntese do etileno, no metabolismo respiratório, na produção de aromas e na expressão de algumas enzimas e proteínas.

A taxa de produção de etileno, após os frutos saírem da câmara de armazenamento, não foi alterada pelas doses de etanol na safra de 2016/2017 (dados não apresentados). No entanto, na safra de 2017/2018 a taxa de produção de etileno foi reduzida com o aumento das doses de etanol (Figura 4). Foi observado menor produção de etileno com a dose de 2 mL de etanol por kg de fruto. Resultados semelhantes foram encontrados por Martin et al. (2018) trabalhando com aplicação de vapor de etanol em ameixas ‘Laetitia’, antes do armazenamento refrigerado.

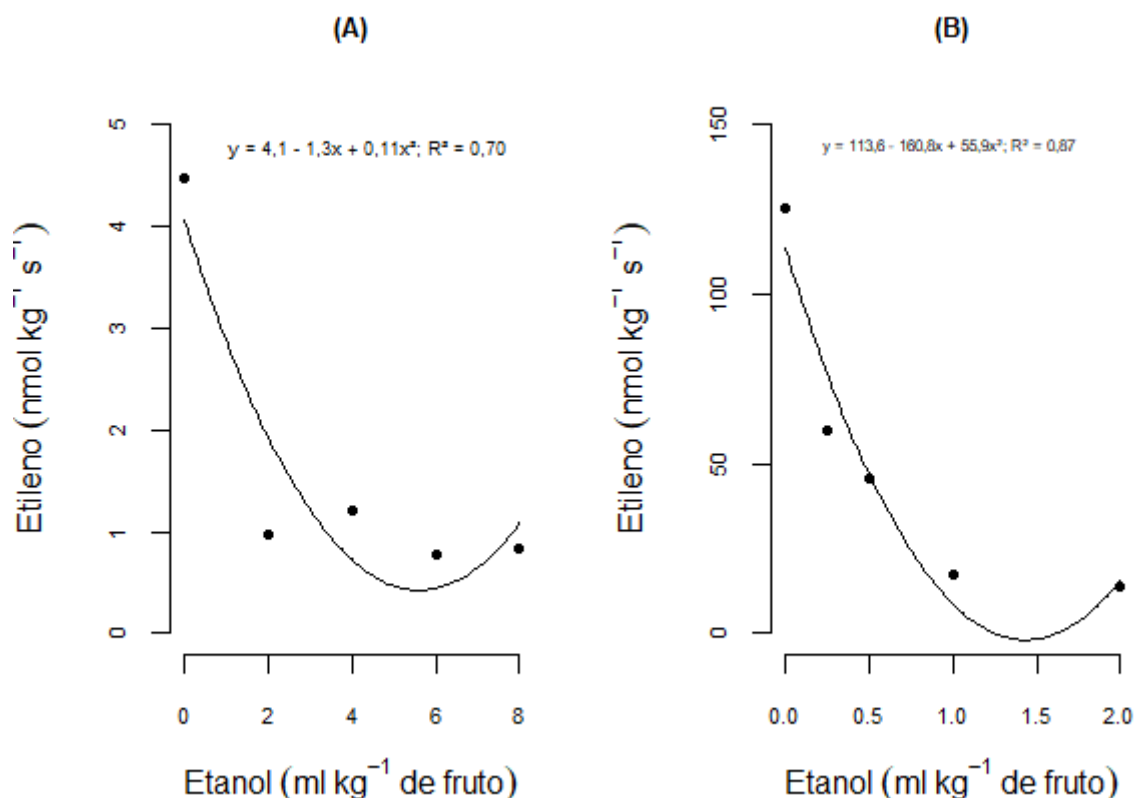
Figura 4 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Após três dias de exposição dos frutos a condições ambiente, em ambas as safras, a produção de etileno reduziu com o incremento da dose de etanol até a dose de 6 mL kg⁻¹ de fruto, safra 2016/2017, e 2,0 mL kg⁻¹ de fruto, safra 2017/2018 (Figura 5).

Figura 5 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a 0,5±0,2°C e 92±2% de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



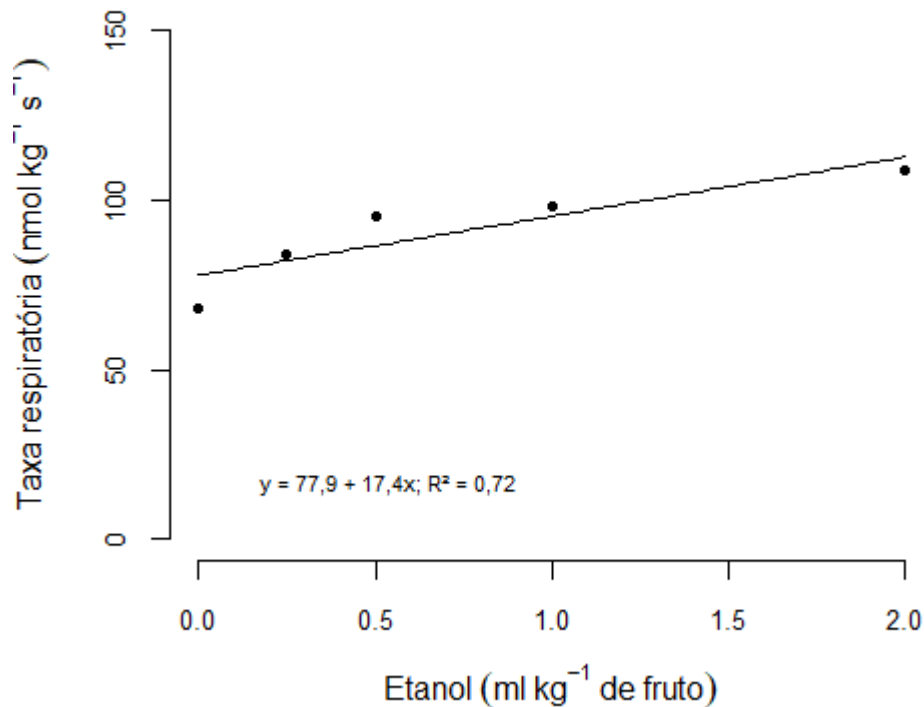
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Em melões ‘Yumeiren’ (JIN et al., 2013) e brócolis (ASODA et al., 2009) o vapor de etanol também reduziu a taxa de produção de etileno. Em brócolis o etanol inibiu a produção de etileno, pela redução na atividade das enzimas ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano sintase e oxidase (ACC sintase e ACC oxidase) (ASODA et al., 2009). Em melões a inibição da biossíntese de etileno ocorreu por meio da supressão da expressão dos genes *CM-ACO1*, *CM-ACO2*, *CMACO3* e *CM-ACS1*, *CM-ACS2*, *CM-ACS3* durante o armazenamento (JIN et al., 2013). Segundo Bai et al. (2004), o mecanismo de ação do etanol está relacionado a concentração endógena de acetaldeído, que é um fator biologicamente ativo e que afeta a produção de etileno. Weber et al. (2016) verificaram que o fornecimento de acetaldeído, após

oito meses de armazenamento de maçãs, reduziu a síntese de etileno no fruto. O acetaldeído presente nos tecidos, resultante da conversão do etanol ou pela aplicação do próprio acetaldeído, parece ser fator determinante na inibição do amadurecimento, pois, atua inibindo diretamente a síntese da enzima ACC oxidase que atua na conversão de ACC a etileno (BOTH et al., 2012). No presente trabalho, os tratamentos que apresentaram baixa taxa de produção de etileno (Figura 5) tiveram maiores concentrações de acetaldeído (Figura 3), em 2016/2017, e etanol e acetato de etila, em ambas as safras avaliadas (Figuras 1 e 2).

Na safra 2016/2017, na saída da câmara e após três dias em condição ambiente a taxa respiratória dos frutos não foi influenciada pelas doses de etanol. Resultado semelhante ocorreu na safra 2017/2018 com os frutos expostos por três dias em condição ambiente (dados não apresentados). No entanto, na safra 2017/2018 após a saída da câmara, o incremento nas doses de etanol surpreendentemente provocou maior taxa respiratória nos frutos (Figura 6). Esse resultado é diferente do resultado encontrado por Martin et al. (2018) que observaram redução da taxa respiratória com a aplicação de vapor de etanol em ameixas 'Laetitia' mantidas em armazenamento refrigerado.

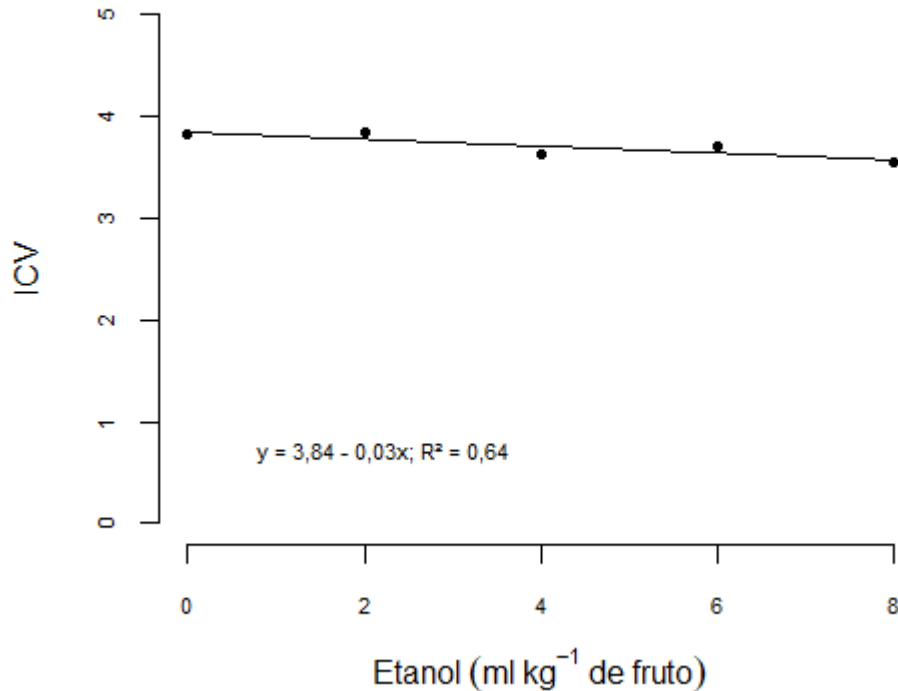
Figura 6 – Taxa respiratória em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O índice de cor vermelha (ICV) dos frutos, em ambas as safras 2016/2017, tanto após a saída da câmara, apresentou redução com o aumento das doses de etanol (Figura 7). Embora tenha sido observado efeito significativo da aplicação de vapor de etanol, as diferenças observadas não foram substanciais, onde o controle apresentou ICV de 3,84 e a dose 8 mLkg^{-1} de fruto IVC de 3,60, sendo valores muito próximos. Na safra 2016/2017, após três dias em condições ambiente, e na safra 2017/2018, em ambas as avaliações, não houve efeito das doses de etanol sobre o ICV (dados não apresentados). Martin et al. (2018) também não observaram efeito da aplicação de vapor de etanol sobre o ICV em ameixas conservadas sob armazenamento refrigerado.

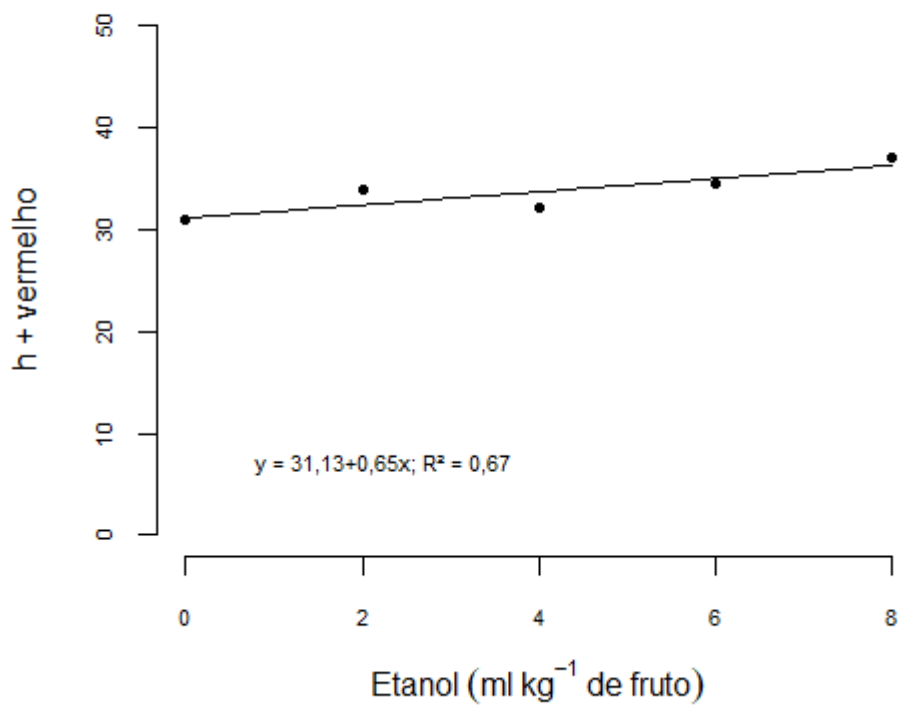
Figura 7 – Índice de coloração vermelha em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

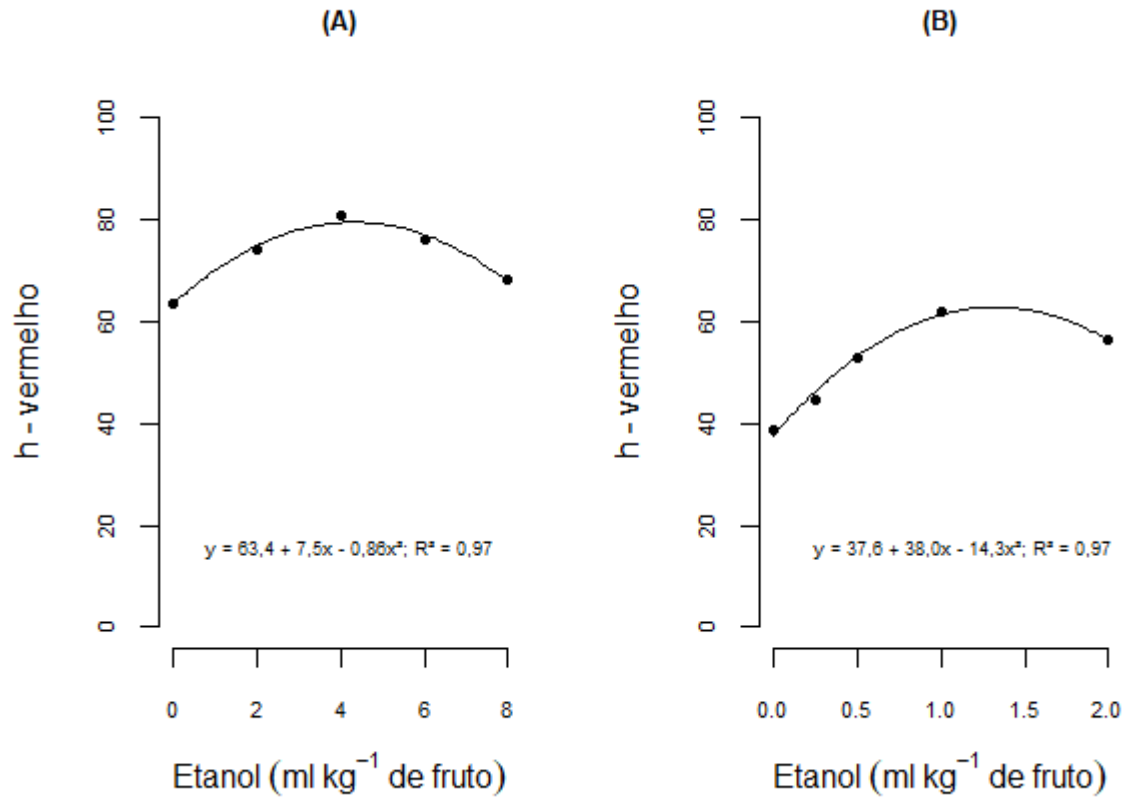
Na saída da câmara, o ângulo *hue* (h°), na região menos vermelha dos frutos, safra 2016/2017 e 2017/2018, não foi alterado com a aplicação de etanol (dados não apresentados). Já na região mais vermelha, na safra 2016/2017 o aumento das doses de etanol resultou em maiores valores de ângulo *hue* (h°) indicando frutos menos vermelhos (Figura 8). No entanto, esse resultado não foi observado nos frutos da safra 2017/2018. Isso pode ter ocorrido devido as doses utilizadas na safra 2017/2018 serem menores que as doses utilizadas na safra 2016/2017. Após três dias em condições ambiente, o ângulo *hue* (h°), em ambas as regiões do fruto, apresentou maior valor com a dose de 4 mL de etanol kg⁻¹ de fruto, safra 2016/2017 (Figura 9A e 10A), e na dose de 1 mL de etanol kg⁻¹ de fruto, safra 2017/2018 (Figura 9B e 10B), indicando frutos menos vermelhos.

Figura 8 – Ângulo *hue* na região mais vermelha (h +vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017.



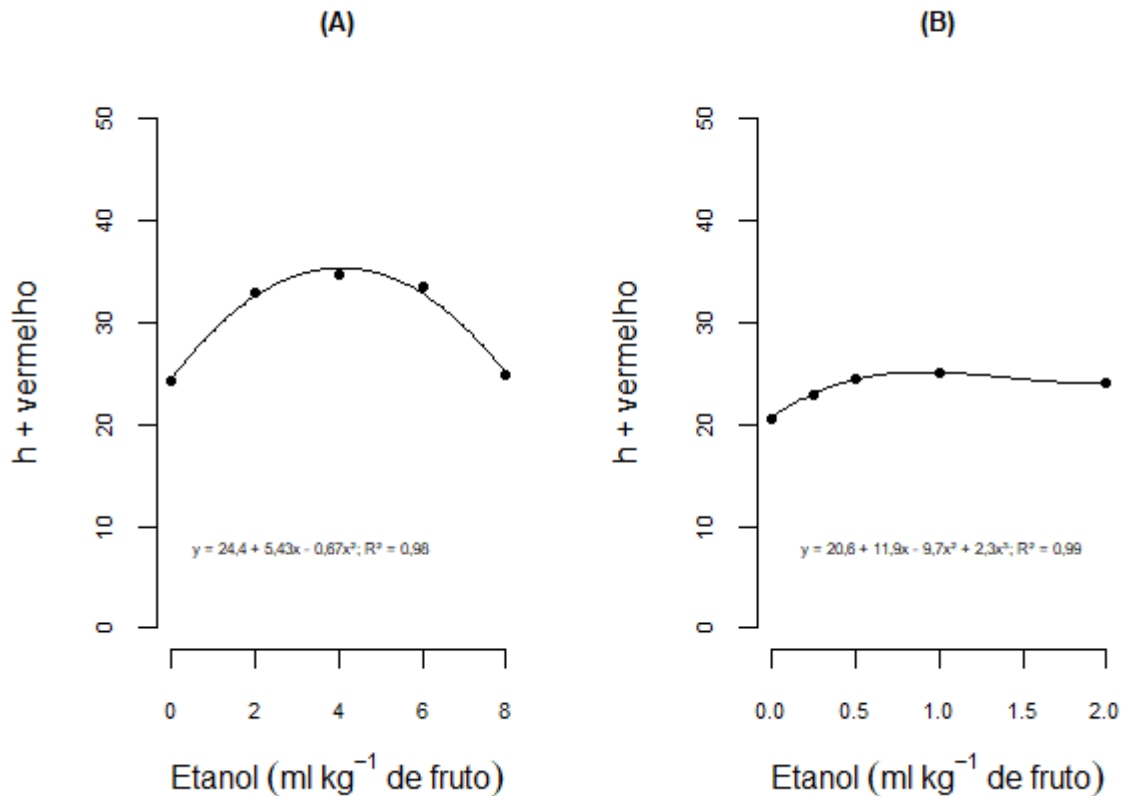
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 9 – Ângulo *hue* na região menos vermelha (h-vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

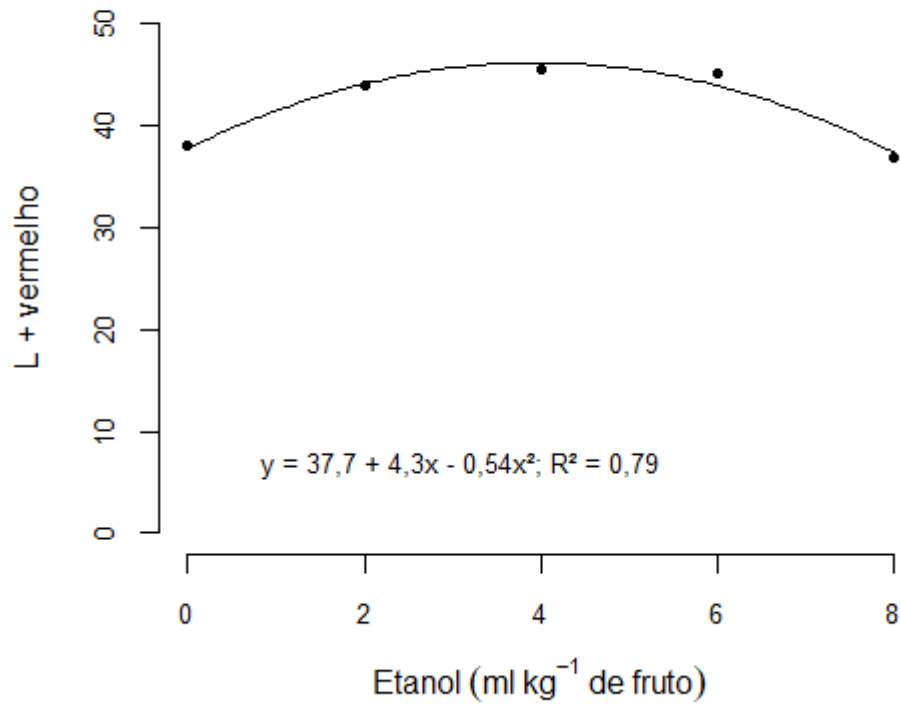
Figura 10 – Ângulo *hue* na região mais vermelha (h +vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

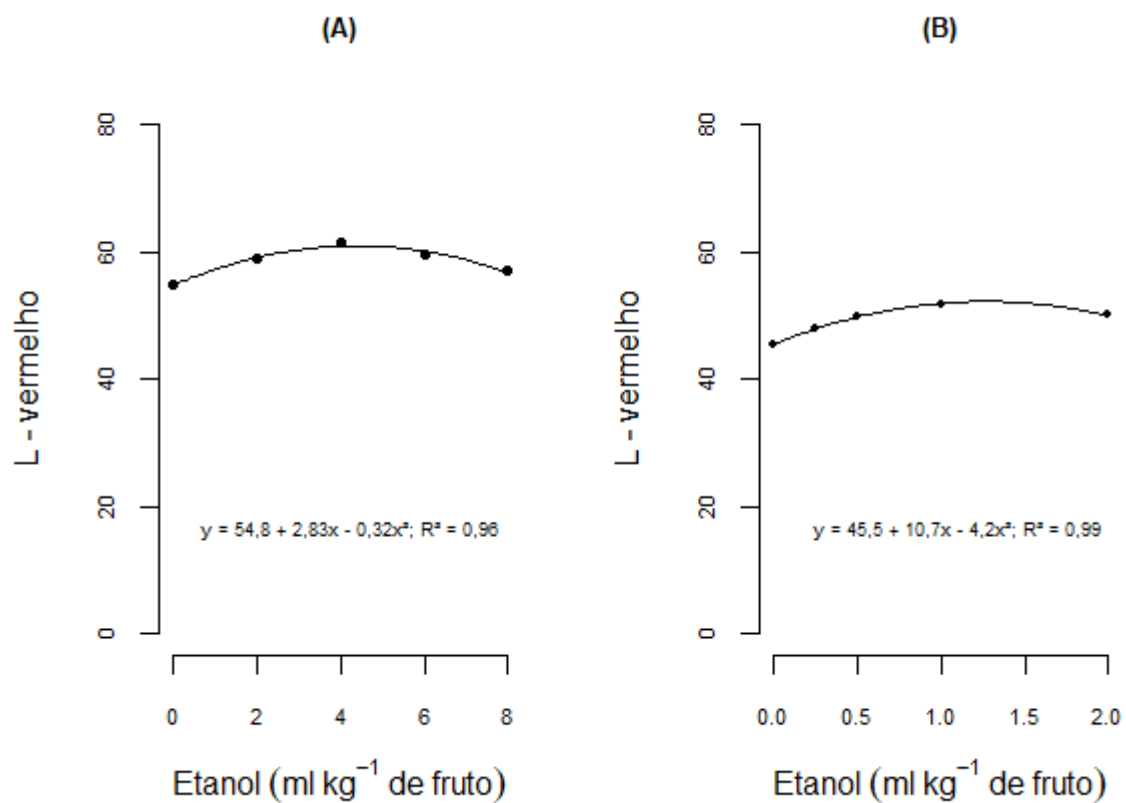
Após 30 (safra 2016/2017) e 40 dias (safra 2017/2018) de armazenamento, na saída da câmara, a luminosidade (L) nas regiões mais e menos vermelha dos frutos não foi alterada com a aplicação de etanol (dados não apresentados). Contudo, após mais três dias em condições ambiente, o valor de L foi maior nas regiões mais e menos vermelha dos frutos com a dose de 4 mL de etanol kg^{-1} fruto, safra 2016/2017 (Figura 11 e 12A), e na região menos vermelha do fruto com a dose de 1 mL kg^{-1} fruto, safra 2017/2018 (Figura 12B).

Figura 11 – Luminosidade na região mais vermelha (L +vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^\circ\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem mais três dias em condições ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 12 – Luminosidade na região menos vermelha (*L*-vermelho) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.

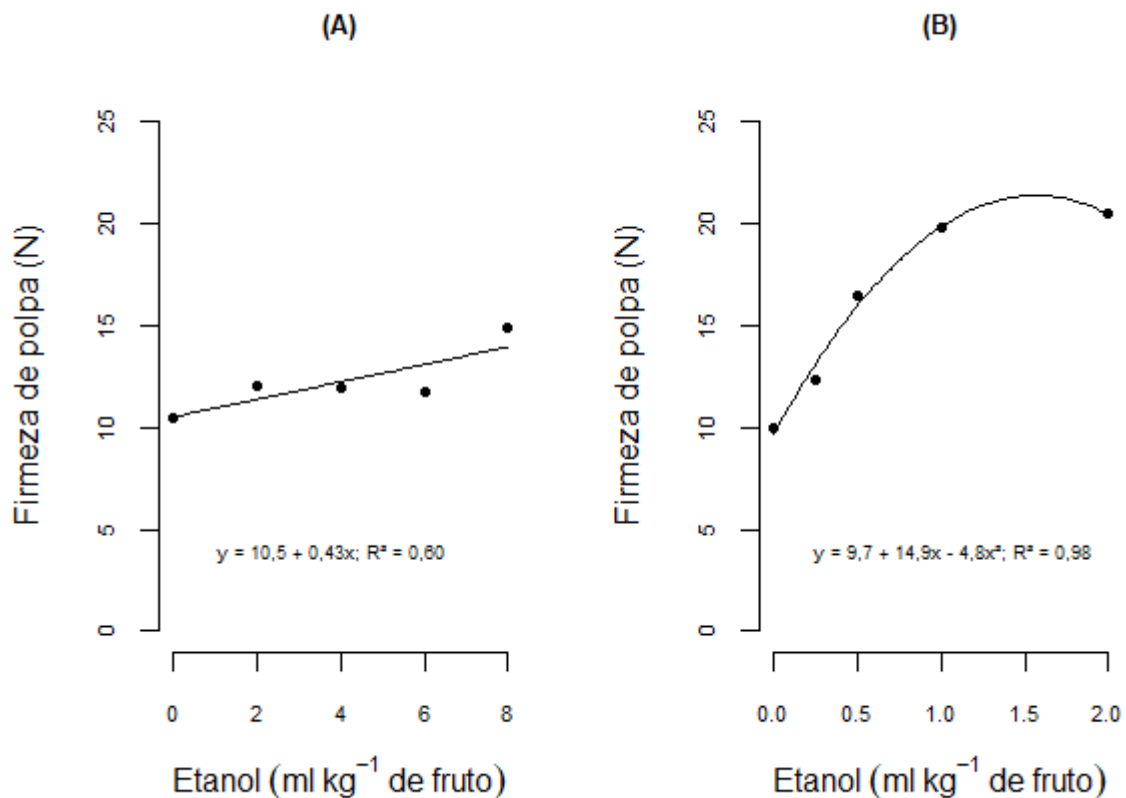


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os resultados dos atributos relacionados com a cor dos frutos evidenciam o benefício do tratamento com vapor de etanol no retardo da evolução da cor vermelha dos frutos, até a dose de 4 mL por kg de fruto, principalmente durante o período de exposição dos frutos durante os três dias em condições ambiente. Porém, a efetividade do vapor de etanol pode estar relacionada com a dose utilizada. A cor da epiderme é um importante indicador do estágio de amadurecimento dos frutos (PALAPOL et al., 2009; HEINZEN, 2016). A menor evolução na coloração da epiderme nos frutos (maiores valores de ângulo *hue* e de *L*) submetidos a aplicação de vapor de etanol deve estar relacionada à menor biossíntese e ação do etileno (NUNES et al., 2017), pois o etileno estimula a síntese e a atividade de enzimas, como clorofilases e oxidases, responsáveis pela alteração da cor dos frutos (HENDGES et al., 2013).

A firmeza de polpa foi maior com o aumento das doses de etanol, em ambas as safras avaliadas (Figura 13A e 13B).

Figura 13 – Firmeza de polpa em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias, safra 2016/2017, (A) e 40 dias, safra 2017/2018, (B) de armazenagem mais três dias em condições ambiente.

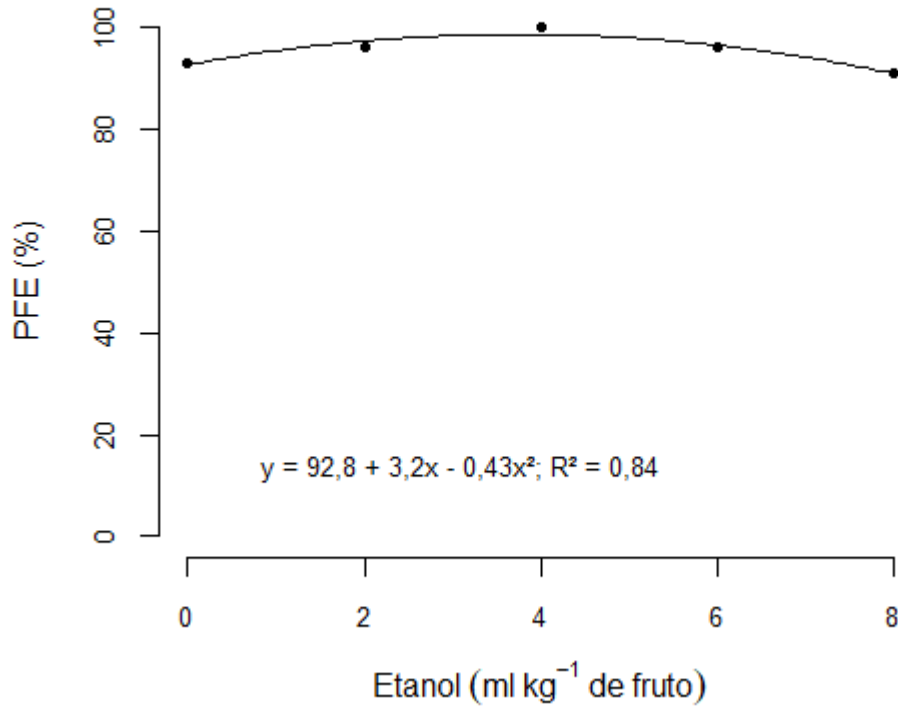


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O efeito positivo do tratamento com etanol na manutenção da firmeza de polpa está de acordo com o estudo realizado por Ritenour et al. (1997), com melões, Bai et al. (2011), com maçãs, e Martin et al. (2018), com ameixas ‘Laetitia’. Lurie e Pesis (1992) relataram que a atividade das enzimas relacionadas com a degradação da parede celular, como a poligalactorunase, foram reduzidas pela ação do etanol em pêssegos e nectarinas. Outro fator relacionado a manutenção da firmeza de polpa pode ser explicado pelo fato que o etileno produzido pelo fruto regula a atividade de enzimas associadas a degradação de componentes da parede celular e a perda de firmeza de polpa (DONG et al., 2001), como por exemplo a redução da celulase, β -galactosidase e endoglucanase em abacate (LOULAKAKIS et al., 2006). Em ameixa ‘Laetitia’ (STEFFENS et al., 2013), melões (JIN et al., 2013) e tomates (TZAORTAKIS; ECONOMAKIS, 2007) a maior firmeza de polpa foi relacionada à forte redução na biossíntese de etileno. No presente trabalho, os frutos com maior firmeza de polpa também apresentaram menor taxa de biossíntese de etileno (Figura 5A e 5B), no entanto, os frutos de todos os tratamentos, incluindo o tratamento sem aplicação de etanol, apresentaram firmeza de polpa superior a 9N. Ameixas com firmeza de polpa inferior a 9N são consideradas impróprias para o consumo (BRACKMANN et al., 2001).

Na safra de 2016/2017, a porcentagem de frutos escurecidos foi levemente superior com a aplicação de 4 mL de etanol kg^{-1} de fruto (Figura 14) e na safra de 2017/2018 não foi observado efeito do etanol sobre porcentagem de frutos escurecidos (dados não apresentados). Todavia, a porcentagem de frutos escurecidos foi elevada em todos os tratamentos, em ambas as safras avaliadas (>90%).

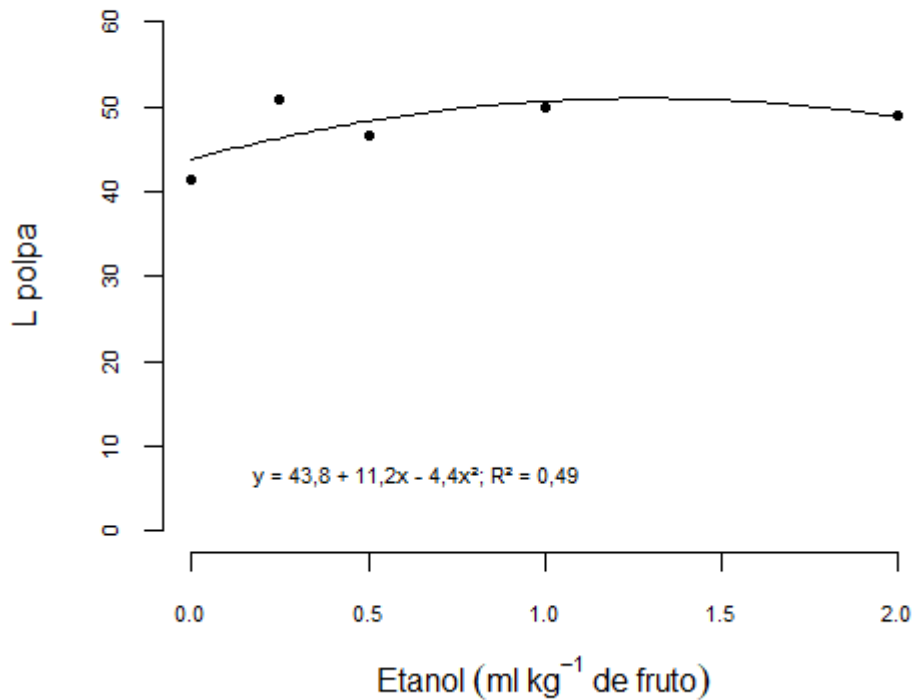
Figura 14 – Porcentagem de frutos escurecidos (PFE) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 30 dias de armazenagem. Safra 2016/2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Na safra 2016/2017 não foi observado efeito do etanol sobre intensidade do escurecimento de polpa (dados não apresentados). Contudo, na safra 2017/2018 a intensidade do escurecimento de polpa, mensurado pelo *L* da polpa, foi menor com aplicação de vapor de etanol (Figura 15).

Figura 15 – Intensidade do escurecimento da polpa (L da polpa) em ameixas ‘Laetitia’ submetidas a diferentes doses de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A aplicação de etanol também reduziu a intensidade do escurecimento da polpa em ameixas frigoconservadas (HEINZEN, 2016; MARTIN et al., 2018). Em ameixas 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, com consequente danos às membranas celulares (SINGH; SINGH, 2013a). A cor da polpa é um importante aspecto a ser considerado quanto a aceitabilidade dos frutos pelos consumidores. Em avaliação sensorial, ameixas ‘Laetitia’ que apresentavam valores de L inferiores a 41,3 apresentaram rejeição acima de 90% por parte dos consumidores, quando avaliadas em termos de cor da polpa (STEFFENS et al., 2013; CORRÊA et al., 2011). As ameixas armazenadas sem aplicação de vapor de etanol apresentaram valor de L médio de 41,5 resultando em polpa mais escurecidas quando comparado aos demais tratamentos, sendo que o tratamento com 0,25 mL de etanol foi o que apresentou maior valor médio de L (50,8) (Figura 16).

Figura 16 – Intensidade do escurecimento da polpa (L da polpa) em ameixas ‘Laetitia’ sem aplicação de etanol (A) e com a dose de $0,25 \text{ mL de etanol kg}^{-1}$ de fruto (B) durante o armazenamento em atmosfera modificada a $0,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $92 \pm 2\%$ de UR, após 40 dias de armazenagem. Safra 2017/2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Não houve efeito sobre a acidez titulável nos frutos tratados com etanol em ambas as safras. A manutenção da acidez titulável é importante para garantir o equilíbrio, com os teores de açúcares. Tem sido demonstrado que o etanol e o acetaldeído podem induzir respostas fisiológicas e bioquímicas nos frutos, incrementando o teor de açúcares e reduzindo a acidez (PESIS, 2005). Nunes et al. (2017) verificaram que sólidos solúveis e a acidez titulável foram mais elevados em ameixas ‘Laetitia’ após o tratamento com vapor de etanol durante o armazenamento. No entanto, neste trabalho não foi verificado este comportamento para o teor de açúcares, sendo que os valores ficaram muito próximos do controle em ambas as safras (dados não apresentados). Ritenour et al. (1997) e Heinzen (2016) também não observaram efeito da exposição de ameixas ao vapor de etanol sobre os sólidos solúveis.

A incidência de podridões após o armazenamento e após mais três dias em condições ambiente não foi afetada pelos tratamentos (dados não apresentados). De acordo com Weber (2010), a aplicação de produtos da fermentação (etanol e acetaldeído) aumentaram a ocorrência de podridões em maçã ‘Royal Gala’, possivelmente por se utilizar uma dose muito alta, de $0,5 \text{ ml kg}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. Entretanto, no presente trabalho não foi verificado este comportamento, mesmo na safra 2016/2017 onde foram utilizadas doses mais altas de etanol.

2.5 CONCLUSÃO

A aplicação de vapor de etanol associado ao armazenamento em AM se mostrou eficiente em retardar o amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’, principalmente na redução da perda de firmeza de polpa, em ambas as safras. Entretanto, as doses de etanol utilizadas neste

trabalho não foram eficientes em reduzir a incidência de escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'. As doses de etanol utilizadas na segunda safra (2017/2018), apresentaram efeito positivo na redução da intensidade de escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'.

3 ARMAZENAMENTO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ EM ATMOSFERA CONTROLADA COM ULTRABAIXO OXIGÊNIO E 1-MCP

3.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de condições de atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio, em combinação com temperatura de armazenamento mais elevada (1,5°C), e da aplicação do 1-MCP em diferentes momentos do armazenamento sobre a manutenção da qualidade de ameixas ‘Laetitia’. Foram utilizadas ameixas colhidas em um pomar comercial do município de Lages, SC, na safra 2017/2018. Os tratamentos avaliados foram: 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 0,5 °C; 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C; 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início do armazenamento); 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início e ao final do armazenamento); 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ em 1,5 °C + 1 – MCP (início do armazenamento). Cada tratamento foi composto de quatro repetições e unidade experimental constituída de 20 frutos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Após 55 dias de armazenamento e mais três dias em condição ambiente (20 ± 2 °C e 60 ± 5% de UR), os frutos foram avaliados quanto aos atributos físico-químicos, incidência e intensidade de escurecimento da polpa e quantificação de etanol, acetaldeído e acetato de etila. Nas condições de armazenamento 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ a temperatura de 1,5 °C resultou em frutos com menor intensidade de escurecimento da polpa. Menor incidência e intensidade de escurecimento da polpa foi observado nos tratamentos combinado com 1-MCP, bem como para os produtos da fermentação. Nas condições avaliadas o 1-MCP não contribuiu para manutenção da firmeza da polpa.

Palavras-chave: *Prunus salicina* L. Pós-colheita. Escurecimento da polpa. Conservação. Qualidade. Etileno.

3.2 INTRODUÇÃO

A ameixa ‘Laetitia’, cultivar de maturação tardia, é tradicionalmente produzida nas regiões mais frias do sul do Brasil, com elevada produção e frutos de alta qualidade (STANGER et al., 2014). No entanto, o período de safra é curto e com isso faz-se necessário adotar técnicas que permitam comercializar os frutos por mais tempo. A principal estratégia utilizada pelos produtores é o armazenamento refrigerado, porém este sistema de armazenamento pode levar a ocorrência de escurecimento da polpa, distúrbio conhecido como dano por frio (SINGH; SINGH, 2013a, b), além de acentuada redução na firmeza de polpa (ALVES et al., 2009). O escurecimento da polpa ocorre devido a um processo oxidativo, relacionado a produção de intermediários tóxicos, como espécies reativas de oxigênio, provocado por alterações na

permeabilidade das membranas (JIANG et al., 2014), podendo ainda ser agravado pela ação do etileno (STEFFENS et al., 2013).

O armazenamento em atmosfera controlada (AC), é um método que tem sido utilizado para preservar a qualidade dos frutos durante longos períodos de armazenamento (WEBER et al., 2013), pois proporciona maior redução no metabolismo celular do que outros sistemas de armazenamento (STEFFENS et al., 2013). Vários trabalhos foram realizados avaliando o efeito da AC, em temperaturas de $-0,5$ a $0,5^{\circ}\text{C}$, sobre a manutenção da qualidade de ameixas ‘Laetitia’ e demonstraram resultados positivos (ALVES et al., 2010b; MOSQUERA et al., 2017; SOARDI et al., 2017). As condições ideais para o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em AC são $1\text{ kPa O}_2 + 1\text{ kPa CO}_2$ e $2\text{ kPa O}_2 + 2\text{ kPa CO}_2$ na temperatura de $0,5^{\circ}\text{C}$ (STEFFENS et al., 2018). No entanto, ainda assim o escurecimento de polpa ocorre, porém com menor severidade (STEFFENS et al., 2017, 2018).

Em maçãs tem sido demonstrado que o uso de temperaturas de armazenamento superiores ($1,5$ a 3°C) aquelas anteriormente preconizadas (0 a 1°C) proporcionaram melhor manutenção da qualidade do fruto, especialmente pela redução de distúrbios fisiológicos (BOTH et al., 2018), além de menor custo de energia para a refrigeração (MAZZURANA et al., 2016). O armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em temperatura mais elevada ($1,5^{\circ}\text{C}$) do que aquela considerada adequada ($0,5^{\circ}\text{C}$) (ALVES et al., 2010b), combinado com pressões parciais de O_2 ultrabaixas ($0,5\text{ kPa}$), podem apresentar resultados satisfatórios no armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ (STEFFENS et al., 2017). O armazenamento em condições de ultrabaixo oxigênio, é uma técnica complementar a AC, no entanto deve-se respeitar os limites mínimos de O_2 a fim de evitar danos aos frutos (GRAELL et al., 2008) Além de apresentar efeito na inibição da biossíntese e ação do etileno, o baixo oxigênio exerce efeito no prolongamento do armazenamento de frutos por induzir muitos genes e proteínas que possivelmente participam da adaptação dos frutos a condição de baixo oxigênio (LOULAKAKIS et al., 2006)

O estresse, causado por condições inadequadas durante o armazenamento em AC, como pressões parciais muito reduzidas de O_2 e/ou muito elevadas de CO_2 , induz a respiração anaeróbica nos frutos, aumentando o conteúdo de etanol e acetaldeído, levando à formação de radicais livres, afetando o metabolismo energético e, conseqüentemente, danificando as membranas das células da polpa (MARTIN et al., 2017). No entanto, a produção de produtos da fermentação, etanol e acetaldeído, pelos frutos em condições de baixo O_2 ($<1\text{ kPa}$) pode contribuir para o retardo do amadurecimento dos frutos como foi visto na cultura do brócolis (XU et al., 2012) e do melão (JIN et al., 2013). A presença de acetaldeído em baixas

concentrações promove a síntese ou ativação da enzima ACC oxidase, o que aumenta a conversão de ACC a etileno, já em altas concentrações de acetaldeído, a ACC oxidase é desativada, seja em função da desnaturação provocada pelo acetaldeído ou pela indução de uma rota de inativação (BEAULIEU; SALTVEIT, 1997). A síntese de etanol em pequenas concentrações pode ser benéfica para manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento (BOTH et al., 2014). Entretanto, quando a síntese de metabolitos da via fermentativa ocorre em excesso, especialmente a de acetaldeído e etanol, estes podem ser tóxicos aos tecidos da polpa dos frutos (WEBER et al., 2016).

O 1-MCP, um potente inibidor da ação do etileno, como técnica complementar a AC, pode ser uma alternativa para reduzir a incidência e intensidade de escurecimento de polpa em ameixas. Diversos estudos demonstraram que o 1-MCP retarda o amadurecimento e reduz a intensidade de escurecimento de polpa em ameixas, especialmente quando mantidas sob armazenamento refrigerado (ALVES et al., 2010a; ARGENTA et al., 2011; HENDGES et al., 2013). O uso do 1-MCP na dose de $1 \mu\text{L L}^{-1}$ em ameixas 'Laetitia', armazenadas a $1 \text{ kPa O}_2 + 1 \text{ kPa CO}_2$, apresentou resultado positivo na redução da severidade do escurecimento da polpa (STEFFENS et al., 2013; 2018). A maioria das pesquisas envolvendo a utilização de 1-MCP avaliaram seu efeito quando aplicado antes do período de armazenamento em AC (ALVES et al., 2010a; SOARDI et al., 2017; STEFFENS et al., 2018). No entanto, o 1-MCP aplicado após o armazenamento em AC causou redução na intensidade de escurecimento da polpa durante o período de exposição dos frutos em condições ambiente (NUNES et al., 2017a). Contudo, o efeito da reaplicação do 1-MCP em ameixas armazenadas em AC ainda não foi avaliado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de condições de AC com ultrabaixo oxigênio, em combinação com temperaturas de armazenamento mais elevadas ($1,5^\circ\text{C}$), e do 1-MCP, aplicado em diferentes momentos do armazenamento, sobre a manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia', especialmente sobre o escurecimento da polpa.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas ameixas 'Laetitia' provenientes de um pomar comercial do município de Lages, SC, colhidas na safra 2017/2018. Após a colheita, os frutos foram levados até o laboratório para a homogeneização das amostras experimentais e posteriormente a aplicação dos tratamentos. Antes da homogeneização das amostras os frutos com danos físicos, podridões, rachaduras e coloração (totalmente vermelha ou com coloração menor que 25 % de cor vermelha) foram eliminados. Cada tratamento foi composto de quatro repetições e

unidade experimental constituída de 20 frutos. Os tratamentos avaliados foram combinação de diferentes pressões parciais de O₂, temperatura de armazenamento e momentos de aplicação de 1-MCP, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos avaliados, combinando pressões parciais de O₂ + CO₂, temperatura de armazenamento e momentos de aplicação do 1-MCP.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	1-MCP(início)	1-MCP(final)
T1=	1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	Não	Não
T2 =	1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Não	Não
T3 =	0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Não	Não
T4 =	0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Não	Não
T5 =	0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Não	Não
T6 =	0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Sim	Não
T7 =	0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Sim	Sim
T8 =	0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	Sim	Não

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O monitoramento das minicâmaras foi feito por meio de um analisador eletrônico de CO₂ e O₂, marca Shelle[®], e com posterior correção, até atingir os níveis preestabelecidos. O O₂ consumido pela respiração foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras e o CO₂ em excesso foi reduzido com a injeção de nitrogênio industrial para dentro das minicâmaras. Nas minicâmaras com 0,0 kPa de CO₂ foi adicionado sachês contendo cal hidratada para absorção do mesmo.

Todos os tratamentos foram mantidos com umidade relativa de 95±2%. Nos tratamentos T6 (0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂), T7 (0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂) e T8 (0,3 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂) foi realizada a aplicação do 1-MCP antes da instalação das atmosferas (início do armazenamento), sendo que o tratamento T7 (0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂) também foi submetido a aplicação do 1-MCP no último dia de armazenamento (final do armazenamento), pelo período de 24 horas, antes da exposição dos frutos em condições ambiente.

Para a aplicação de 1-MCP foi utilizado o produto SmartFresh[®], (0,14% de 1-MCP na formulação pó), na relação de 0,16g de produto m⁻³ de câmara, para obter 1,0 µL L⁻¹ de 1-MCP. O produto foi solubilizado em água, em condições ambiente, em um recipiente hermético e, posteriormente, a solução foi transferida para uma placa de Petri dentro de uma minicâmara com volume de 430L, com fechamento hermético. Os frutos ficaram expostos ao tratamento durante 24 horas, sob temperatura de armazenamento. Os frutos ficaram armazenados durante 55 dias.

Na saída do armazenamento, os frutos foram avaliados quanto a incidência de podridões, índice de coloração vermelha (ICV), cor da epiderme e taxas respiratória e de produção de

etileno. Após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$ e UR de $63\pm 2\%$), para simular o período de comercialização, os frutos foram avaliados quanto a incidência de podridões, índice de coloração vermelha (ICV), cor da epiderme, taxas respiratória e de produção de etileno, firmeza de polpa, força para compressão do fruto, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), incidência e intensidade de escurecimento da polpa e quantificação dos produtos da fermentação (acetaldeído, etanol e acetato de etila).

A incidência de podridões (%) foi avaliada pela contagem dos frutos afetados com características de infecção por patógenos, como a presença de micélios, lesões marrom-escuras e com aspecto aquoso.

O índice de cor vermelha (ICV) foi determinado pela avaliação da superfície dos frutos recoberta com coloração vermelha, à qual foram atribuídas notas de 1 a 4 para as percentagens da superfície dos frutos recobertos com cor vermelha de 0–25, 26–50, 51–75 e 76–100%, respectivamente (STEFFENS et al., 2006).

A cor da epiderme foi avaliada em termos de valores de ângulo ‘hue’ (h°) com o auxílio de um colorímetro Minolta® modelo CR 400 (Konica, Tóquio, Japão). Os valores de h° apresentam as seguintes correspondências quanto às cores da superfície do tecido vegetal: 0° /vermelho, 90° /amarelo, 180° /verde e 270° /azul. As leituras foram realizadas em dois pontos opostos na região equatorial dos frutos, um na região mais vermelha e outro na região menos vermelha do fruto.

As taxas respiratórias ($\eta\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e de produção de etileno ($\eta\text{mol etileno kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) foram quantificadas colocando-se os frutos de cada amostra em um recipiente, que permite o fechamento hermético, com volume de 2300 mL. Através da cromatografia gasosa, em triplicata, utilizando-se seringas de 1 mL de volume, foi amostrada a atmosfera interna do recipiente e quantificadas as concentrações de CO_2 e etileno (C_2H_4). Para quantificação do CO_2 , a atmosfera foi amostrada após 30 minutos de fechamento dos recipientes contendo os frutos. Para quantificação do etileno (C_2H_4), foi necessário o fechamento dos recipientes por 15 horas com sachê (100 g kg^{-1} de fruto) contendo cal hidratada (Ca(OH)_2), para absorção do CO_2 . Para quantificação do CO_2 , o equipamento utilizado foi um cromatógrafo Varian®, modelo CP-3800 (Palo Alto, CA, EUA), equipado com coluna Porapak N® de 3 m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector, metanador e injetor foram de 45, 120, 300 e 110°C , respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 30 e 300 mL min^{-1} , respectivamente. Enquanto que para quantificação do etileno, o equipamento utilizado foi um cromatógrafo a gás, modelo “Clarus 580 GC” (PerkinElmer, USA).

A firmeza da polpa foi determinada na região equatorial do fruto, em dois pontos opostos, onde foi previamente removida uma pequena porção da epiderme e posteriormente, com auxílio de um penetrômetro eletrônico (GÜSS Manufacturing Ltd, África do Sul) com ponteira de 7.9 mm de diâmetro, determinando a firmeza de polpa que foi expressa em Newton (N).

A força para compressão do fruto foi avaliada com texturômetro eletrônico TAXT-Plus® (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, Reino Unido). No qual utilizou-se uma plataforma plana, modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, que exerceu uma força de compressão até uma deformação de 5 mm na superfície do fruto, com resultados expressos em Newton (N).

Os valores de AT (% ácido cítrico) foram obtidos através de uma amostra de 10 mL de suco, obtido pelo processamento em centrifuga, de duas fatias transversais retiradas da região equatorial dos frutos. Essa amostra foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Para a titulação, utilizou-se titulador automático TitroLine Easy® (Schott Instruments, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha). Os teores de SS (%) foram determinados em um refratômetro digital modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão), utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

A análise de incidência e intensidade 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 dos frutos que apresentaram regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, sendo determinada a proporção de frutos afetados (%). A intensidade do escurecimento da polpa foi determinada por meio dos valores de 'L' (Lightness), com um colorímetro modelo CR 400 da Konica Minolta®, sendo que 'L' varia de 0 para preto e 100 para branco, então quanto menor o valor de 'L', mais escurecida a polpa. Foram realizadas leituras nas quatro extremidades dos frutos, após um corte na região mediana dos mesmos.

Para a quantificação dos produtos da fermentação, foi utilizado cromatógrafo a gás, modelo "Clarus 580 GC", (PerkinElmer, USA), com temperatura do forno constante a 55 °C, tempo de corrida de 3 minutos, gás carreador nitrogênio com fluxo do gás de arraste de 2 mL por minuto e temperatura do detector e injetor de 250 e 180 °C respectivamente. O padrão utilizado foi de 100 ppm para acetato de etila e acetaldeído, e de 200 ppm para etanol, obtidos através da diluição dessas substâncias puras em água destilada. As amostras foram obtidas a partir de uma alíquota de 20 mL de suco dos frutos, armazenado em tubos vial 'headspace' com capacidade para 50 mL. Após uma hora em banho-maria a 70 °C, foram amostradas, em triplicatas, seringas de 1 mL com conteúdo retido no 'headspace' de cada amostra.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os valores em % foram previamente transformados pela fórmula arco seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$. Os dados foram

submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-knott ($p < 0,05$). A análise estatística foi realizada com auxílio do software R (R core team, 2011).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No momento da colheita os frutos estavam com cor da epiderme entre 50-75% recoberta de cor vermelha. Apresentavam cor da casca no lado mais e menos vermelho (h°) de 29,31 e 63,99 respectivamente, força para compressão dos frutos de 57,81 N, firmeza de polpa de 38 N, teor de sólidos solúveis de 11,83 °Brix e acidez titulável de 12,98 mEq 100mL⁻¹.

Pode-se observar que a temperatura de armazenamento não teve efeito sobre a produção de etileno na saída da câmara. No entanto, após três dias em condição ambiente, os frutos armazenados em temperatura de 0,5 °C apresentaram maior produção de etileno comparado aos frutos armazenados na mesma condição de AC com temperatura de 1,5 °C (Tabela 3).

Na saída da câmara e após três dias em condição ambiente os frutos armazenados na condição de 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂; 1,5 °C apresentaram maior produção de etileno. O etileno em altas concentrações provoca a rápida perda de consistência do fruto, a intensa evolução da cor vermelha da epiderme e o escurecimento da polpa após o período de armazenamento de ameixas (ARGENTA et al., 2003; 2011; STEFFENS et al., 2017). No entanto, a aplicação de 1-MCP apresentou efeito adicional à condição de AC em frutos armazenados a 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂, independente do momento de aplicação, mas não em frutos armazenados a 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ (Tabela 3). Estudos realizados com ameixas demonstraram que o 1-MCP reduz consideravelmente a produção de etileno (DONG et al., 2002; ARGENTA et al., 2003; ALVES et al., 2009). Para o armazenamento em AC, a condição de armazenamento considerada adequada para o armazenamento de ameixas 'Laetita' é 1 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂ na temperatura de 0,5°C (STEFFENS et al., 2017 2018).

Segundo Both (2012) é evidente a influência de baixo O₂ na inibição da produção de etileno, uma vez que quanto menor a concentração de O₂ durante o armazenamento menor a produção de etileno pelos frutos. Esse fato pode ser explicado pela menor atividade da enzima ACC oxidase nessas condições, uma vez que esta enzima necessita de O₂ para conversão da ACC a etileno (YANG; HOFFMAN, 1984; YIP et al., 1988; BLANKENSHIP; DOLE, 2003). Segundo Gorny; Kader (1994) como um fator adicional ao baixo O₂, a pressão mais elevada de CO₂ pode reduzir o pH celular, inibindo a atividade da enzima ACC oxidase, ocasionando a redução da biossíntese do etileno. Isso pode explicar o motivo pelo qual o tratamento 0,5 kPa

de O₂ + 0,0 kPa de CO₂; 1,5 °C mesmo em condição de baixa pressão parcial de oxigênio tenha resultado maior produção de etileno nos frutos.

Tabela 3 – Taxa de produção de etileno em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Etileno ($\eta\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$)	
	Saída	Três dias
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	0,4 c	30,2 a
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,4 c	18,0 b
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,3 c	14,6 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,9 a	33,0 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,4 c	7,0 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	0,7 b	14,9 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	0,6 b	12,9 b
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	0,5 c	9,0 b
CV (%)	23,4	46,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Saída: avaliações realizadas logo após saída da câmara de armazenamento. Três dias: avaliações realizadas após saída da câmara de armazenamento seguido por mais três dias em condição ambiente.

Após três dias de exposição dos frutos a condição ambiente, a taxa respiratória foi menor nos frutos armazenados com 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ a 1,5 °C (Tabela 4). Nessa mesma condição, porém com temperatura de 0,5 °C a taxa respiratória dos frutos foi maior. De acordo com Steffens et al (2007), o aumento na taxa respiratória é um evento secundário, estimulado pelo aumento na taxa de produção de etileno durante o amadurecimento dos frutos, sendo que após o armazenamento, seguido de mais três dias de exposição dos frutos a condição ambiente, a taxa de produção de etileno nos frutos armazenados na condição de 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ a 0,5 °C também foi superior a taxa de produção de etileno dos frutos armazenados na mesma condição a 1,5 °C. Os frutos armazenados nas condições de 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ na temperatura de 1,5 °C com aplicação de 1-MCP, independente do momento de aplicação, apresentaram menor taxa respiratória do que os frutos armazenados em mesmas condições de armazenamento, porém sem aplicação de 1-MCP (Tabela 4). Esse resultado pode estar associado a presença de 1-MCP, pois reduz a biossíntese de etileno, diminuindo a ação do mesmo sob enzimas que atuam no processo respiratório (MATHOOKO,1996; FONSECA et al., 2002). No entanto, em condições de ultrabaixo oxigênio (0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂; 1,5 °C) o efeito do 1-MCP não foi observado.

Tabela 4 – Respiração em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Respiração ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	185,8 a
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	106,1 c
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	205,1 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	203,5 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	194,9 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	160,1 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	156,6 b
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	181,5 a
CV (%)	12,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em relação ao índice de cor vermelha não houve diferença entre os tratamentos na saída da câmara e após três dias de exposição dos frutos em condição ambiente (Tabela 5). Esses resultados demonstraram que nas condições de AC testadas a temperatura e a aplicação de 1-MCP não tem efeito no ICV dos frutos de ameixa ‘Laetitia’.

Tabela 5 – Índice de cor vermelha em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Índice de cor vermelha (ICV)	
	Saída	Três dias
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	3,6 a	4,0 a
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	3,5 a	4,0 a
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	3,6 a	4,0 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	3,6 a	4,0 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	3,6 a	4,0 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	3,7 a	4,0 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	3,7 a	4,0 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	3,3 a	4,0 a
CV (%)	4,4	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Saída: avaliações realizadas logo após saída da câmara de armazenagem. Três dias: avaliações realizadas após saída da câmara de armazenagem seguido por mais três dias em condição ambiente.

Na saída da câmara, os frutos não apresentaram diferença entre os tratamentos para variável *L* nas regiões mais e menos vermelha da epiderme. Resultado semelhante foi observado por Steffens et al. (2013) trabalhando com diferentes condições de atmosfera controlada combinada ou não com a aplicação de 1-MCP.

Após saída da câmara e mais três dias em condição ambiente, os tratamentos 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂, ambos a 1,5 °C, resultaram em frutos com valor de *L* mais alto na região mais vermelha, sendo que este último tratamento também resultou em menor valor de *L* na região menos vermelha dos frutos (Tabela 6). A aplicação do 1-MCP, independente do momento de aplicação, não apresentou efeito sobre os valores de *L*, em ambas as regiões do fruto (Tabela 6).

O ângulo *hue*, na saída da câmara, não apresentou diferenças entre tratamentos na região menos vermelha dos frutos. Contudo, na região mais vermelha dos frutos foi maior nos tratamentos 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ na temperatura de 1,5 °C combinado ou não com a aplicação de 1-MCP. Após mais três dias em condições ambiente, não houve efeito dos tratamentos sobre o ângulo *hue* na região mais vermelha dos frutos, porém na região menos vermelha o tratamento 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ na temperatura de 1,5 °C resultou em frutos com maior ângulo *hue*. O ângulo *hue* indica a coloração da epiderme, sendo que maiores valores indicam frutos menos vermelhos. De maneira geral, observou-se que na condição menor pressão parcial de O₂ os frutos apresentaram menor evolução da cor vermelha após o armazenamento em AC. Não foi observado efeito positivo da aplicação de 1-MCP sobre o retardo da evolução da cor da epiderme (Tabela 5). Este resultado corrobora com os encontrados por Alves et al. (2010), Corrêa et al. (2011) e Espíndola (2012). Segundo Espíndola (2012), a maior evolução da cor da epiderme está associada a maior taxa de produção de etileno. Observou-se que os frutos armazenados na condição de 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ apresentaram baixa taxa de produção de etileno (Tabela 3).

Tabela 6 – Atributos de cor da casca L e h° na região mais e menos vermelha dos frutos em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Cor na região mais vermelha dos frutos			
	L	L	h°	h°
	Saída	Três dias	Saída	Três dias
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	39,2 a	34,3 b	26,3 b	22,6 a
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	38,7 a	34,5 b	25,5 b	22,8 a
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	38,2 a	35,2 a	26,2 b	23,7 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	37,4 a	34,8 b	25,4 b	23,0 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	39,0 a	36,3 a	28,2 a	25,8 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	37,6 a	33,6 b	25,9 b	23,1 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	38,0 a	33,5 b	25,4 b	22,4 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	39,8 a	34,2 b	27,9 a	24,1 a
CV (%)	3,0	2,6	6,1	6,5
	Cor na região menos vermelha dos frutos			
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	55,2 a	45,3 b	63,3 a	40,7 b
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	55,1 a	46,2 b	63,6 a	44,0 b
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	55,2 a	46,9 b	64,1 a	43,8 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	54,1 a	47,1 b	62,1 a	45,8 b
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	54,5 a	51,1 a	68,0 a	56,3 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	56,5 a	44,8 b	66,0 a	40,4 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	56,0 a	45,1 b	66,2 a	41,3 b
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	57,1 a	45,0 b	67,9 a	40,1 b
CV (%)	3,3	3,0	7,6	7,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Saída: avaliações realizadas logo após saída da câmara de armazenagem. Três dias: avaliações realizadas após saída da câmara de armazenagem seguido por mais três dias em condição ambiente.

Os frutos apresentaram maior firmeza de polpa quando armazenados com 1,0 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ a 0,5 °C, esse resultado evidenciou o efeito da temperatura na manutenção da firmeza de polpa, e 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂ a 1,5 °C (Tabela 7). Era esperado que os tratamentos associados ao 1–MCP apresentassem frutos com maior firmeza de polpa. No entanto, esse resultado não foi observado no experimento. Espindola (2012), em trabalho realizado com ameixas, observou que o uso do 1-MCP na condição de 2 kPa de O₂ + 2 kPa de CO₂ não teve efeito na firmeza de polpa dos frutos após o período de armazenagem.

Os frutos com maior força necessária para a compressão foram aqueles armazenados a 1,5°C nas condições de 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂, 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1 – MCP aplicado no início e ao final do armazenagem e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂; combinado com aplicação de 1 – MCP no início do armazenagem (Tabela 7). As condições de armazenagem que combinaram CO₂ com os mais baixos níveis de O₂ ou

aquelas com baixo O₂ combinado com 1-MCP apresentaram maiores valores para força para compressão do fruto (Tabela 7).

Tabela 7 – Firmeza de polpa e força de compressão do fruto em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Firmeza (N)	Compressão (N)
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	19,3 a	48,7 b
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	16,9 b	46,3 b
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	21,5 a	58,2 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	15,1 b	40,4 b
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	17,6 b	44,3 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	16,9 b	46,8 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	17,2 b	54,4 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	17,5 b	50,6 a
CV (%)	8,7	8,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Com relação aos sólidos solúveis não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 8). Outros trabalhos relatam que o 1-MCP não influencia os teores de sólidos solúveis nas cultivares de ameixa ‘Laetitia’ (ARGENTA et al. 2003; ESPÍNDOLA, 2012). Both (2012) e Ceretta et al. (2010), em trabalhos realizados com maçã, verificaram que, independente da pressão parcial de O₂ e de CO₂ na câmara de armazenamento, não ocorreu mudanças nos sólidos solúveis dos frutos. Os açúcares são substratos orgânicos utilizados na respiração apenas depois de acentuado consumo dos ácidos orgânicos (BRACKMANN, 1990). Isso indica que as condições de armazenamento utilizados neste experimento propiciaram baixo metabolismo dos frutos, de forma que não influenciaram nos sólidos solúveis.

Os frutos armazenados a 1,5°C nas condições de 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1-MCP, independente do momento de aplicação, e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1-MCP apresentaram maior acidez titulável (Tabela 8). Steffens et al. (2013) e Luo et al. (2009) também observaram maiores valores de acidez titulável em ameixas tratadas com 1-MCP. Em maçã, a aplicação de 1-MCP manteve mais elevada a acidez titulável em comparação com as maçãs não tratadas (CORRENT et al., 2004). A manutenção da acidez titulável é importante para garantir o equilíbrio com os teores de açúcares. Segundo Both (2012), o armazenamento com menor pressão parcial de O₂ (0,5 kPa de O₂) deve manter maior a acidez dos frutos. No entanto, nas condições de menor pressão parcial de oxigênio, a maior acidez dos frutos só foi verificada quando combinado com 1-MCP. O efeito do 1-MCP sobre

a manutenção da acidez titulável dos frutos pode estar relacionado ao menor consumo dos ácidos no ciclo dos ácidos tricarbóxicos, pela redução na atividade respiratória (ALVES et al., 2009). Entretanto, não foi possível quantificar a taxa respiratória após três dias em condição ambiente.

Tabela 8 – Sólido solúveis e acidez titulável em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Sólidos solúveis (°Brix)	Acidez titulável (%)
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	11,9 a	16,1 b
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	11,6 a	12,7 c
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	11,3 a	16,0 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	11,5 a	13,5 c
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	11,7 a	13,7 c
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	11,8 a	17,5 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	12,1 a	17,3 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	11,8 a	18,5 a
CV (%)	2,6	7,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os frutos armazenados a 1,5°C nas condições de 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1–MCP, independente do momento de aplicação, e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1–MCP apresentaram maior valor de *L* indicando frutos com menor intensidade de escurecimento da polpa (Tabela 9). Steffens et al. (2018) citam a condição de 1 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂ a 0,5°C como ideal para o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’. No presente trabalho ficou evidente que o armazenamento em temperatura pouco mais elevada (1,5°C) em combinação com pressões parciais de O₂ mais baixas ($\leq 0,5$ kPa) associadas ao 1-MCP ou pressões parciais de O₂ entre 0,5 e 1,0 kPa combinadas com 1,0 kPa de CO₂ apresentaram melhor resultado para escurecimento da polpa, do que a condição recomendada como ideal para o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’.

A incidência de frutos com escurecimento da polpa foi menor nos tratamentos 0,5 kPa de O₂ + 1,0 kPa de CO₂, 0,5 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1–MCP, independente do momento de aplicação e 0,25 kPa de O₂ + 0,0 kPa de CO₂ combinado com 1–MCP aplicado no início do armazenamento, todos armazenados a temperatura de 1,5 °C (Tabela 9). As condições de AC em combinação com 1-MCP proporcionaram frutos com menor intensidade de escurecimento da polpa evidenciado por maior *L*. O efeito do 1-MCP na redução da

incidência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ também foi observado por Argenta et al. (2003).

Tabela 9 – Luminosidade da polpa e porcentagem de frutos escurecidos em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Frutos escurecidos (%)	L polpa
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	96,2 a	48,8 c
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	95,0 a	51,4 b
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	88,1 b	51,7 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	100,0 a	46,9 d
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	97,3 a	51,0 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	85,7 b	54,6 a
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	92,2 b	54,0 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	92,4 b	54,7 a
CV (%)	2,8	2,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na condição de AC de 1 kPa O₂ + 1 kPa CO₂, os frutos mantidos na temperatura de 0,5°C apresentaram menor concentração de acetaldeído e maior de acetato de etila do que na temperatura de 1,5°C, sem ocorrer diferença para a concentração de etanol. Nos tratamentos com 1-MCP, independente do momento de aplicação e da condição de AC, houve redução na concentração de acetaldeído, etanol e acetato de etila, em comparação as mesmas condições de AC sem 1-MCP (Tabela 10). O armazenamento em pressões parciais de O₂ muito baixas induz o metabolismo fermentativo, com produção de acetaldeído, etanol e acetato de etila, que em altas concentrações são indesejáveis, podendo causar distúrbios fisiológicos como o escurecimento da polpa (LEE et al., 2012; WRIGHT et al., 2015). Contudo, não foi observada relação entre menores pressões parciais de O₂ com acúmulo a níveis tóxicos de produtos da rota fermentativa. Segundo Both (2015), etanol e acetaldeído estiveram presentes em concentrações mais elevadas, em maçãs armazenadas em pressão parcial de 1,4 kPa de CO₂, comparado com 0,8 kPa, demonstrando que CO₂ mais alto induz ao metabolismo fermentativo, porém esta relação entre maior pressão parcial de CO₂ com maior concentração de produtos do metabolismo fermentativo não foi observado no presente trabalho. É possível que a ameixa ‘Laetitia’ tolere combinações de O₂ + CO₂ mais limitantes. A presença de produtos de fermentação em pequenas quantidades na câmara de armazenamento é desejável, uma vez que retarda a maturação, por afetar a síntese de etileno (ASODA et al., 2009; LIU et al., 2012).

Tabela 10 – Acetato de etila, acetaldeído e etanol em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em diferentes condições de armazenamento sob atmosfera controlada após 55 dias de armazenagem e após mais três dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

Tratamentos	Acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$)
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 0,5 °C	0,45 b	1718,72 a	28,01 a
1,0 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,55 a	1677,64 a	20,08 b
0,5 kPa de O ₂ + 1,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,64 a	1412,20 a	21,26 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,53 a	1450,17 a	25,33 a
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C	0,53 a	1265,11 a	22,11 b
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	0,42 b	773,05 b	14,85 c
0,5 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início e final)	0,39 b	530,49 b	12,17 c
0,25 kPa de O ₂ + 0,0 kPa de CO ₂ ; 1,5 °C + 1 – MCP (início)	0,39 b	661,49 b	13,30 c
CV (%)	21,9	38,4	17,70

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.5 CONCLUSÃO

Nas condições de atmosfera controlada avaliadas, o armazenamento com pressões ultrabaixas de oxigênio ($\leq 0,5$ kPa), quando combinadas 1-MCP no início do armazenamento, resultam em menor incidência e intensidade de escurecimento da polpa e reduz os produtos da fermentação. No entanto, o 1-MCP não contribuiu para a manutenção da firmeza da polpa.

A aplicação de 1-MCP ao final do armazenamento, na condição avaliada, não apresenta efeito adicional a aplicação de 1-MCP no início do armazenamento sobre a manutenção da qualidade dos frutos.

Frutos armazenados em AC na condição de 1 kPa O₂ + 1 kPa CO₂ a 1,5 °C apresentam menor intensidade de escurecimento de polpa quando comparados a frutos armazenados sob a mesma condição de AC a 0,5 °C.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A firmeza de polpa é um dos principais parâmetros de qualidade exigidos pelos consumidores de ameixas. A perda de firmeza de polpa reduz o tempo de prateleira do fruto. O uso de vapor de etanol associado ao armazenamento em atmosfera modificada reduziu a perda de firmeza de polpa dos frutos.

A condição de atmosfera controlada com ultrabaixo nível de oxigênio ($\leq 0,5$ kPa) se mostrou eficiente em reduzir a incidência de escurecimento de polpa. Enquanto que na condição de armazenamento em atmosfera modificada com o uso de vapor de etanol a incidência de escurecimento de polpa não foi alterada.

Há redução da produção de produtos da fermentação com o armazenamento em níveis extremamente baixos de O_2 ($\leq 0,5$ kPa) esse efeito foi pronunciado quando utilizado o 1-MCP antes do armazenamento dos frutos.

Em relação a aplicação do 1-MCP, no último dia de armazenamento, pelo período de 24 horas, antes da exposição dos frutos em condições ambiente, na condição avaliada, não contribuiu para manutenção da qualidade dos frutos.

Com os resultados dessa pesquisa foi possível observar que ameixa tolera baixos níveis de oxigênio sugerindo pesquisas futuras com outras tecnologias, como a utilização da atmosfera controlada dinâmica (ACD) pelo método do quociente respiratório (QR), técnica com grande potencial para substituir a armazenamento em AC convencional. Durante o armazenamento em ACD o QR permanece constante e o nível de O_2 oscila de acordo com o metabolismo do fruto, sempre mantendo valores mínimos e seguros de O_2 dentro da câmara, permitindo maior diminuição do metabolismo do fruto do que a AC convencional.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, L., GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 377, p. 2039– 2055, 2002.
- ALVES, E. O. et al. Qualidade de ameixas ‘Laetitia’ em função da temperatura e da atmosfera de armazenamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1018-1027, 2010b.
- ALVES, E.O. et al. Armazenamento refrigerado de ameixas ‘Laetitia’ com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. **Ciência Rural**, v.40, p.30-36, 2010a.
- ALVES, E.O. et al. Manejo do etileno durante o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2445- 245, 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.
- ASODA, T. et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, p. 216- 220, 2009.
- BEAULIEU, J. C.; SALTVEIT, M.E. Inhibition or promotion of tomato fruit ripening by acetaldehyde and ethanol is concentration dependent and varies with initial fruit maturity. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 122, p. 392-398, 1997.
- BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 1-25, 2003.
- BOTH, V. et al. The influence of temperature and 1-MCP on quality attributes of Galaxy apples stored in controlled atmosphere and dynamic controlled atmosphere. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 168-177, 2018.
- BOTH, V. **Atmosfera controlada dinâmica monitorada pelo quociente respiratório: efeito do manejo do etileno, temperatura e níveis de CO₂ sobre compostos voláteis e**

conservação de maçãs. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

BOTH, V. et al. Estresse inicial por baixo oxigênio seguido do armazenamento em atmosfera controlada de maçãs ‘Royal Gala’. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 708-717, 2014.

BOTH, V. Estresse inicial e condicionamento ao baixo oxigênio no armazenamento em atmosfera controlada de maçãs ‘Royal Gala’. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

BRACKMANN, A. et al. Armazenamento de ameixas ‘Reubennel’ e ‘Pluma 7’ em frigoconservação intermitente e atmosfera controlada. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.6, n.1, p.71-76, 2001.

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

BRACKMANN, A. et al. Inibição da ação do etileno e temperatura de armazenamento no padrão de amadurecimento de tomates. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1688-1694, 2009.

CANDAN, A.P.; GRAEL, J.; LARRIGAUDIÉRE, C. Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of 1-methylcyclopropene. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.9, n.2, p.554-564, 2011.

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

CORRÊA, T. R. et al. Qualidade de maçãs ‘Fuji’ armazenadas em atmosfera controlada e influência do clima na degenerescência da polpa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.531-538, 2010.

DAS, E.; GÜRAKAN, E. D. G. C.; BAYINDIRH, A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella enteritidis* on cherry tomatoes. **Food Microbiology**, v. 23, n. 5, p. 430-438, 2006.

DONG, L. et al. Ripening of ‘Red Rosa’ plums: effect of ethylene and 1-methylcyclopropene. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.28, n.10, p.1039-1045, 2001.

ECHEVERRIA, G. et al. Physicochemical measurements in ‘Mondial Gala®’ apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability. **Postharvest Biology Technology**. v. 50, p. 135-144, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2016-2017. 2017. Disponível em: < http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Sintese-Anual-da-Agricultura-SC_2016_17.pdf> acesso em: 05 ago. 2018.

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

FUKASAWA, A. et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on activities and gene expression of chlorophyll catabolic enzymes in broccoli florets. **Postharvest Biol Tec**. v. 55, p. 97-102, 2010.

GRAELL, J. et al. Quality and volatile emission changes of ‘Mondial Gala’ apples during preharvest period and posterior storage in air controlled atmosphere. **Food Science and Technology International**, v. 14, p. 285-294, 2008.

HEINZEN, A. S. et al. Qualidade pós-colheita de ameixas ‘laetitia’ em função do estágio de maturação e temperatura de armazenamento. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa – Congrega**. Bagé, RS. 2017.

HEINZEN, A. S. **Qualidade de ameixas ‘laetitia’ frigoconservadas e submetidas ao estresse inicial por baixo oxigênio, tratamento térmico e vapor de etanol**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

JIANG, L. et al. Proteomic analysis of peach fruit during ripening upon post-harvest heat combined with 1-MCP treatment. **Journal of Proteomics**, v.98, p.31-43, 2014.

JIN, Y. Z. et al. Ethanol vapor treatment maintains postharvest storage quality and inhibits internal ethylene biosynthesis during storage of oriental sweet melons. **Postharvest Biology and Technology**, v.86, p.372-380, 2013.

KADER, A. A. A summary of CA requirements and recommendation for fruits other than apples and pears. **Acta Horticulturae**, v. 600, p. 737-740, 2003.

LALLU, N.; BURDON, J. Experiences with recent postharvest technologies in kiwifruit. **Acta Horticulturae**, Brugg, v. 753, p. 733-740, 2007.

LARA, M. V. et al. Peach (*Prunus persica*) fruit response to anoxia: reversible ripening delay and biochemical changes. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 52, n. 2, p. 392-403, 2011.

LARSEN, M.; WATKINS, C. B. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 5, p. 39-50. 1995.

LARSON, E.L.: MORTON, H.E. **Alcohols. In Disinfection, Sterilization, and Preservation**, 4th Ed. (S.S. Block, ed.) pp. 191-203, Lea and Febiger, London, U.K., 1991.

LICHTER, A.; GABLER, F.M.; SMILANICK, J.L. Control os spoilage in table grapes. **Stewart Postharvest Review**, Quebec, v.6, n.1, p.1-10, 2006.

LIU, W.W. et al. Ethanol treatment inhibits internal ethylene concentrations and enhances ethyl ester production during storage of oriental sweet melons (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.67, p.75-83, 2012.

LUOLAKAKIS, C. A. et al. Effects of low oxygen on in vitro translation products of poly(A)+RNA, cellulase and alcohol dehydrogenase expression In preclimateric and ripening-initiated avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.39, p. 29-37, 2006.

LUO, Z. et al. Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene. *Plant Science*, v. 177, n. 6, p. 705-709, 2009.

MARTIN, M. S. de et al.; Escurecimento da polpa em pera 'Rocha' influenciado pela composição mineral do fruto e condições de atmosfera controlada. **Bragantia**, Campinas, v.76, n.2, p.318-326, 2017.

MARTIN, M. S. de et al.; Qualidade de peras 'rocha' armazenadas em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 37, n. 1, p. 073-082, 2015.

MARTIN, M. S. de et al.; Manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia' pela aplicação de 1-MCP, etanol e tratamento térmico. (No prelo).

MAZZURANA, E. R. et al. Potenciais benefícios do aumento da temperatura de armazenagem em atmosfera controlada de maçãs ‘gala’ tratadas com 1-MCP. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v.38, n. 1, p. 043-052, 2016.

MOSQUERA, D. J. C. et al. Condições de armazenamento, uso de 1-mcp e indução de perda de massa na manutenção da qualidade de ameixas ‘Laetitia’. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa – Congrega**. Bagé, RS, 2017.

NUNES, F. R. et al. Escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ em função do amadurecimento e 1-MCP aplicado após o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa – Congrega**. Bagé, RS, 2017.

NUNES, F. R. et al. Vapor de etanol controla o escurecimento de polpa e o amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’ submetidas ao armazenamento refrigerado. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa – Congrega**. Bagé, RS 2017.

OLIVEIRA, M.C. et al. Seleção de ameixeiras promissoras para a Serra da Mantiqueira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.4, p. 531-535, 2011.

PALHARINI, M. C. de A. et al. Qualidade de goiabas ‘Pedro Sato’ em função de tratamentos alternativos em pós-colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.38, n. 1. 129-140, 2016.

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**. Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 1-19, 2005.

PESIS, E; FAIMAN, D; DORI, S. Postharvest effects of acetaldehyde vapour on ripening related enzyme activity in avocado fruit. **Postharvest Biology na Technology**, v. 13, p. 245-253, 1998.

PINO, J. A; QUIJANO, C. E. Study of the volatile compounds from plum (*Prunus domestica* L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 32(1), p. 76-83, 2012.

PIRIYAVINIT, P.; KETSA, S.; VAN DOORN, W. G. 1-MCP extends the storage and shelf life of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 15-20, 2011.

PODD, L. A.; VAN STADEN, J. Is acetaldehyde the casual agente in the retardation of carnation flower senescence by ethanol? **Journal of Plant Physiology**, v. 154, p. 351-354, 1999.

R CORE TEAM. **R**: A language and Environment for statistical computing, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RITENOUR, M.A. et al. Ethanol effects on the ripening of climacteric fruit. **Postharvest Biology Technology**. Amsterdam, v.12, p.35–42, 1997.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in ‘Jonagold’ apples under controlled atmosphere storage. **European Journal of Horticultural Science**, Hannover, v. 73, n. 1, p. 43-46, 2008.

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, 2013b.

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**, Lindfield, v.7, n.3, p.391-400, 2013a.

SINGH, S.P.; SINGH, Z. Role of membrane lipid peroxidation, enzymatic and non-enzymatic antioxidative systems in the development of chilling injury in japanese plums. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.137, n.6, p.473-81, 2012.

SIQUEIRA, C. L. et al. Modified atmosphere together with refrigeration in the conservation of bananas resistant to black Sigatoka. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 614-624, 2017.

SOARDI, K. et al. Armazenamento de ameixas ‘laetitia’ em atmosfera controlada associada com o uso de 1-MCP, indução de perda de massa e absorção de etileno. **Revista da jornada de pós-graduação e pesquisa – Congrega**. Bagé, RS 2017.

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

STANGER, M. C. et al. Quality preservation of 'laetitia' plums in active modified atmosphere storage. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 2: (e-714), 2017.

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

STEFFENS, C.A. et al. 'Laetitia' plums stored in controlled atmospheres combined with induction of mass loss and ethylene management. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 225 – 234, 2018.

STEFFENS, C.A. et al. Armazenamento de ameixas 'Laetitia' em atmosfera modificada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2439-44, 2009.

STEFFENS, C.A. et al. Armazenamento de ameixas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, XV, 2017, Fraiburgo, SC. Anais... Caçador: Epagri, v. 1, p.111-115, 2017.

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

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. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Ciência Rural**, v.36, p.434-440, 2006.

STEFFENS, C.A.; et al. 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.485-94, 2014a.

STEFFENS, C.A. et al. Storage of 'Laetitia' plums (*Prunus salicina*) under controlled atmosphere conditions. **African Journal of Biotechnology**, Nairóbi, v.13, n.32, p.3239-3243, 2014b.

THEWES, F.R. et al. The different impacts of dynamic controlled atmosphere and controlled atmosphere storage in the quality attributes of 'Fuji Suprema' apples. **Postharvest Biology Technology**. Amsterdam, v.130, p.07–20, 2017.

TZORTZAKIS, N.G., & ECONOMAKIS, C.D. Maintaining postharvest quality of the tomato fruit by employing methyl jasmonate and ethanol vapor treatment. **Journal of Food Quality**, v. 30, p. 567-580, 2007.

WEBER, A. **A aplicação de produtos da fermentação e ultrabaixo oxigênio para conservação de maçãs ‘Royal Gala’**. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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

WEBER, A. et al. Ethanol reduces ripening of ‘Royal Gala’ apples stored in controlled atmosphere. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.88, n.1, p.403-410, 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**, v.90, p.1-13, 2015.

WU, M. J. et al. Alcohols and carnation. senescence. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 2, p. 136-138, 1992.

XU, F. et al. Effect of ethanol treatment on quality and antioxidant activity in postharvest broccoli florets. **European Food Research Technology**, v. 235, p. 793- 800, 2012.