

ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA AUMENTA A ATIVIDADE DA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASE EM AMEIXA ‘LAETITIA’

Diana Carolina Lima Freitas¹
Angélica Schmitz Heinzen²
Marília Farias Rodrigues³
Karina Soardi¹
Lucas Muniz Arruda Pereira⁴
Aquidauana Miqueloto⁵

RESUMO: Devido a safra de ameixas no Brasil ser curta, isto abre brechas para o mercado de importação, desta forma, o armazenamento é uma forma de estender o produto nacional no mercado, entretanto alguns fatores contribuem para o surgimento de distúrbios fisiológicos, tais como, colheita precoce e armazenamento inadequado. Sendo assim, se faz necessário a adoção de novas tecnologias associadas ao armazenamento para prolongar o período de armazenamento destes frutos, mantendo a sua qualidade. Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da atmosfera refrigerada e atmosfera modificada ativa na atividade de enzimas envolvidas no estresse oxidativo, na atividade antioxidante e no teor de compostos fenólicos, bem como nos atributos físico-químicos em frutos de ameixa ‘Laetitia’. As ameixas foram provenientes de um pomar comercial no município de Urubici-SC, colhidas na safra 2015/2016, os tratamentos consistiram em controle (sem tratamento pós-colheita); vapor de etanol (0,15%); e atmosfera Modificada ativa (filme + cal), durante todo tempo de armazenamento. Após a montagem do experimento, os frutos foram armazenados durante 35 dias a $1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92 \pm 2\%$ de UR. Após o período de armazenamento refrigerado (AR) seguidos de mais três dias em exposição a condições ambiente, para simular o período de comercialização, os frutos foram avaliados quanto aos atributos de qualidade. A atmosfera modificada (AM) ativa reduziu significativamente no lado menos vermelho dos frutos de ameixa, obtendo valores mais elevados para as variáveis L e h° e após os três dias de vida de prateleira, o controle diferenciou-se estatisticamente na variável L , obtendo valores superiores ao tratamento com AM ativa. A produção de etileno diferiu estatisticamente para o controle na saída de AR e após os três dias de condições ambiente. A incidência do escurecimento de polpa, foi maior em frutos acondicionados em AM ativa, e a resistência à compressão foi superior no controle.

- 1 Mestranda em Produção Vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
- 2 Doutoranda em Produção Vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
- 3 Graduada em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
- 4 Graduando em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
- 5 Doutorado em Fisiologia Vegetal, Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC.

A enzima superóxido dismutase (SOD) foi superior no tratamento com AM ativa, e possivelmente a responsável por atuarem como a primeira barreira na defesa da produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), que não obtiveram diferença estatística entre os tratamentos. A AM ativa ocasiona um aumento da enzima SOD e do escurecimento de polpa.

Palavras-chave: *Prunus salicina*, pós-colheita, fruticultura.

MODIFIED ACTIVE ATMOSPHERE INCREASES THE ACTIVITY OF THE SUPEROXIDE DISMUTASE IN PLUM 'LAETITIA'

ABSTRACT: *Due to a crop of plums in Brazil being cut, this opens the door to the import market, in this way, storage is a way of extending the national product in the market, and some factors have contributed to the emergence of physiological disorders, such as early harvesting and inadequate storage. The objective of this exercise was to evaluate the effect of refrigerated and conditioned atmosphere on the activity of enzymes involved in oxidative stress, antioxidant activity, and protein content of phenolic compounds, as well as in physical-chemical physiscists in 'Laetitia' plum fruits. The plums were obtained from a commercial diet without municipality of Urubici-SC, harvested in the 2015/2016 crop, treatments consisted of control (without postharvest condition); ethanol vapor (0.15%); and Modified active atmosphere (film + lime), throughout the storage time. After assembly of the experiment, the time was stored for 35 days at 1 ± 0.2 ° C and $92 \pm 2\%$ RH. After the period of refrigerated storage (RS), the series of conditions for the environment, for the period of commercialization, were followed when they were concluded on the quality attributes. The modified atmosphere (MA) significantly reduced the size of the plum fruits, obtaining more values for the variables L and h the three days of shelf life, the control was statistically differentiated in the variable L, obtaining values the advances to the treatment with active MA. The production of ethylene differed statistically for the control of RS and after the three days of conditions environment. The elasticity of pulp darkening was higher in fruits conditioned in active MA, and the resistance to freedom was higher in the control. The enzyme superoxide dismutase (SOD) was superior in the treatment with the activation and the responsibility to act as a first barrier in the defense of the Production of Reactive Oxygen Species (ROS), which does not have the capacity to distinguish between treatments. The MA is active there is an increase of the SOD enzyme and the darkening of pulp.*

Keywords: *Prunus salicina*, post harvest, fruticulture.

INTRODUÇÃO

A ameixa é a primeira fruta de caroço do mundo em termos de área cultivada e a segunda em relação à produção total (CUEVAS et al., 2016). A ameixa 'Laetitia' atualmente é a cultivar mais utilizada para a implantação de novos pomares de ameixa na região Sul do Brasil, devido a sua maturação tardia (ALVES et al., 2010).

Além de possuir um rápido amadurecimento, apresenta curta vida pós-colheita e associada a rápida perda de qualidade, desta forma, limitando os ganhos

do produtor devido ao baixo valor obtido no período de safra (ALVES et al., 2009). Devido a curta safra brasileira de ameixas o armazenamento se torna uma alternativa viável para estender o período de oferta do produto nacional, evitando desta forma, que o mercado de ameixas importadas complemente a oferta sazonal, entretanto a praticamente de armazenamento ainda é pouco praticada (STEFFENS et al., 2011). O sistema de atmosfera controlada (AC) permite melhor preservação da qualidade dos frutos, pois ocasiona uma redução mais pronunciada no metabolismo dos frutos (STEFFENS et al., 2014). No entanto, o armazenamento pode comprometer a qualidade de muitos frutos, ocasionando grandes perdas (STEFFENS et al., 2009).

As ameixas 'Blackamber', se forem colhidas precocemente, estarão mais suscetíveis a dano por frio, este se manifesta através da polpa escurecida, e se forem colhidas tardias, são mais suscetíveis a dano por frio manifestado, como polpa translúcida (CRISOSTO et al., 2004).

Para as ameixas 'Laetitia', o dano por frio manifesta-se através do desenvolvimento de escurecimento da polpa, quando os frutos são armazenados a 0 °C por longos períodos (ARGENTA et al., 2011).

Há propostas que o distúrbio é decorrente de um processo oxidativo relacionado à produção de espécies reativas de oxigênio e à redução na eficiência dos sistemas antioxidantes, com conseqüente danos às membranas celulares (SINGH; SINGH, 2013). Assim, se faz fundamental a aplicação do uso de tecnologias pós-colheita adicionais ao AR para reduzir a perda de firmeza de polpa dos frutos e minimizar as perdas decorrentes do escurecimento da polpa (HEINZEN, 2016).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da atmosfera refrigerada e atmosfera modificada ativa na atividade de enzimas envolvidas no estresse oxidativo, na atividade antioxidante e no teor de compostos fenólicos, bem como nos atributos físico-químicos em frutos de ameixa 'Laetitia'.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com ameixas 'Laetitia' provenientes de um pomar comercial do município de Urubici, SC (28° 02' 85"S de latitude, 49° 27' 85" O de longitude e 990 m de altitude), colhidas na safra 2015/2016. Os frutos foram colhidos, e conduzidos 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 30 % de cor vermelha) foram eliminados.

Os tratamentos consistiram em controle (sem tratamento pós-colheita); vapor de etanol (0,15%); e atmosfera Modificada ativa (filme + cal), durante todo tempo de armazenamento. Após a montagem do experimento, os frutos foram armazenados durante 35 dias a $1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $92 \pm 2\%$ de UR.

Após o período de armazenamento seguidos de mais três dias em exposição a condições ambiente, para simular o período de comercialização, os frutos foram avaliados quanto aos atributos de qualidade. Na saída do armazenamento foram avaliados incidência de podridões, cor da epiderme e taxas respiratória e de produção de etileno. Após os três dias em condições ambiente os frutos foram avaliados quando a firmeza de polpa, força para compressão do fruto, cor da epiderme, taxas respiratória (CO_2) e de produção de etileno (C_2H_4), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), incidência de podridões, incidência e severidade de escurecimento da polpa, teor de compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante total (AAT; pelos métodos DPPH e ABTS), atividade enzimática da peroxidase (POD) e superóxido dismutase (SOD), espécies reativas de oxigênio (EROs) para peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical superóxido e peroxidação de lipídios.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Cada tratamento foi composto de quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de 25 frutos. 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 Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do programa SAS (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

RESULTADOS

Tabela 1. Índice de cor vermelha (ICV) e cor da casca (atributos *L*, *C* e *h*^o) nos lados mais e menos expostos a radiação solar, saída do armazenamento refrigerado (AR).

Table 1. Red color index (RCI) and skin color (attributes L, C and h^o) on the most and least exposed sides to solar radiation, refrigerated storage (AR) output.

Tratamento	ICV (1 - 4)	1 dia + vermelho			1 dia - vermelho		
		<i>L</i>	<i>C</i>	<i>h</i> ^o	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>h</i> ^o
T1 - Controle	3 ns	37,3 ns	37,0 ns	22,6 ns	60,7 a	33,4 ns	70,6 a
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	3,75	36,3	36,60	22,30	54,8 b	32,50	56,7 b
CV (%)	10,47	2,4	2,19	4,34	2,13	2,25	4,45

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Taxa respiratória, produção de etileno em ameixas 'laetitia' na saída do armazenamento refrigerado.

Table 2. Respiratory rate, ethylene production in 'laetitia' plums at refrigerated storage outlet.

Tratamento	Respiração nmol Kg ⁻¹ s ⁻¹	Etileno nmol Kg ⁻¹ s ⁻¹
	T1 - Controle	160,8 a
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	135,4 b	0,15 b
CV (%)	8,29	12,5

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3. Cor da casca (atributos *L*, *C* e *h*^o) nos lados mais e menos expostos a radiação solar, após 3 dias de vida de prateleira.

Table 3. Color of the skin (attributes L, C and h^o) on the sides more and less exposed to solar radiation, after 3 days of shelf life.

Tratamento	3 dias + vermelho			3 dias - vermelho		
	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>h</i> ^o	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>h</i> ^o
T1 - Controle	30,7 a	33,3 ns	19,6 ns	48,6 a	36,5 ns	42,3 ns
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	28,6 b	31,6	18,6	42,4 b	32,50	41,20
CV (%)	1,8	5,3	3,36	2,70	9,32	7,10

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Incidência do escurecimento de polpa e severidade em ameixas 'Laetitia' após três dias de vida de prateleira.

Table 4. Incidence of pulp darkening and severity in 'Laetitia' plums after three days of shelf life.

Tratamento	Escurecimento incidência	Severidade
		<i>L</i>
T1 - Controle	109,7 b	46,4 a
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	125,3 a	39,6 b
CV (%)	7,01	2,92

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Sólidos solúveis (SS), pH, NaOH, compressão e firmeza, após três dias de vida de prateleira.
Table 5. Soluble solids (SS), pH, NaOH, compression and firmness analyzes after three days of shelf life.

Tratamento					
	SS	pH	NaOH	compressão	firmeza
T1 - Controle	11,0 ns	2,90 ns	0,77 ns	29,1 a	8,60 ns
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	10,6	2,92	0,69	26,4 b	7,87
CV (%)	3,18	5,01	8,79	5,41	6,15

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 6. Avaliação da taxa de respiração, produção de etileno e peroxidação de lipídios (MDA), em ameixas 'laetitia', após três de vida de prateleira.

Table 6. Evaluation of respiration rate, ethylene production and lipid peroxidation (MDA) in 'laetitia' plums after three shelf life.

Tratamento	Respiração	Etileno nmol	MDA
	nmol Kg ⁻¹ s ⁻¹	Kg ⁻¹ s ⁻¹	
T1 - Controle	151,2 ns	1,51 a	5,26 ns
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	169,6	0,30 b	6,7
CV (%)	6,99	15,9	23,9

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 7. Análise das enzimas peroxidase, superóxido dismutase e espécies reativas de oxigênio em ameixas 'laetitia'.

Table 7. Analysis of the enzymes peroxidase, superoxide dismutase and reactive oxygen species in 'laetitia' plums.

Tratamento	Enzimas		Eros
	POX	SOD	H ₂ O ₂
T1 - Controle	1,84 ns	5,81 b	20,22 ns
T2 - Atmosfera Modificada ativa (filme + cal)	1,59	10,58 a	20,87
CV (%)	25,30	8,53	5,65

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

A atmosfera modificada ativa reduziu significativamente no lado menos vermelho dos frutos de ameixa, obtendo valores mais elevados para as variáveis *L* (*Lightness*) e *h°* (ângulo *hue*) como apresentado na Tabela 1. Após os três dias de vida de prateleira, o controle diferenciou-se estatisticamente na variável *L*, obtendo valores superiores ao tratamento com AM ativa.

A tabela 2 explora a taxa respiratória e produção de etileno na saída do armazenamento, pode-se observar que o controle foi superior em relação ao tratamento com AM ativa. A tabela 6 mostra que a taxa respiratória e a peroxidação de lipídios não diferiram entre si, mas a produção de etileno diferiu estatisticamente para o controle, assim como, na saída de AR.

A incidência do escurecimento de polpa, apresentado na Tabela 4 foi maior em frutos acondicionados em AM ativa, entretanto em experimento realizado por Stanger et al. (2017) apresentaram menor intensidade de escurecimento da polpa do

que em AR, pois foram mantidos com baixo etileno e CO₂. A manifestação do escurecimento de polpa está associada a uma combinação de fatores, onde o teor mineral do fruto e o processo de amadurecimento estão diretamente envolvidos na ocorrência do escurecimento de polpa, assim como, condições inadequadas de armazenamento podem estimular o distúrbio (ESPÍNDOLA, 2012).

A AT, SS, pH e firmeza de polpa não foram significativas. A resistência do fruto a compressão foi superior no controle. Para ameixas, os SS e a firmeza são dois dos mais importantes parâmetros internos de qualidade (PAZ et al., 2008). Pois influência diretamente na crocância dos frutos, assim como, a firmeza afeta a resistência ao transporte e ataque de microrganismos (JERONIMO et al., 2007).

As análises de Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total não diferiram entre si (dados não apresentados).

Na tabela 7, a enzima peroxidase e as espécies reativas de oxigênio não diferiram entre si, enquanto a superóxido dismutase obteve diferença estatística na AM ativa, apresentando valor elevado em relação ao controle. As enzimas superóxido dismutase (SOD) possui uma importante função na ajuda e eliminação dos radicais livres, sendo estas, as primeiras enzimas que atuam na defesa do organismo contra as EROs (SYROS et al., 2004). Devido a elevação de SOD, é possível que esta tenha inibido a produção de EROs. Essa enzima tem como função dismutar o ânion superóxido (O₂⁻) em H₂O₂ (peróxido de hidrogênio), entretanto, o H₂O₂ é um composto muito tóxico para as plantas e precisa ser eliminado, seguindo este raciocínio, as POD têm como principal função a conversão de H₂O₂ em H₂O e a dissipação completa das EROs (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

CONCLUSÕES

Os frutos de ameixa acondicionados em atmosfera modificada ativa, apresentaram maior produção de superóxido dismutase, que atua como primeira barreira de EROs, evitando que os frutos tivessem a ação destas espécies.

O escurecimento da polpa foram mais presentes no tratamento de AM ativa, entretanto o seu surgimento dar-se-á por uma combinação de fatores, mais estudos devem ser realizados para compreender melhor o distúrbio em questão.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. O.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do.; BRACKMANN, A. Qualidade de ameixas 'laetitia' em função da temperatura e da atmosfera de armazenamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 4, p.1018-1027, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452010005000114>

ALVES, E. O.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do.; WEBER, A.; MIQUELOTO, A.; BRACKMANN, A. Armazenamento refrigerado de ameixas 'Laetitia' com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. *Ciência Rural*, v. 40, n. 1, p.30-36, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000251>

ARGENTA, L. C.; AMARANTE, C. V. T. do.; SHIRAYAMA, D.; SCOLARO, A. M. T.; AYUB, R. A. CONTROLE DO ESCURECIMENTO INTERNO DE AMEIXAS DURANTE O ARMAZENAMENTO PELO MANEJO DO PONTO DE COLHEITA E DO ETILENO. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 2, p.376-385, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011005000051>

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2 ed., Lavras: UFLA, 783 p., 2005.

CRISOSTO, C.H.; GARNER, D.; CRISOSTO, G.M.; BOWERMAN, E. Increasing 'Blackamber' plum (*Prunus salicina* Lindell) consumer acceptance. *Postharvest Biology and Technology*, v.34, n.3, p.237-244, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.06.003>

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

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.049>

ESPÍNDOLA, B. P. Fatores associados à manifestação do escurecimento de polpa em ameixas. 2012. 65 f. Mestrado (Dissertação em Produção Vegetal – Área: Fisiologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pósgraduação em Produção Vegetal, Lages, 2012.

HEINZEN, S.A. Qualidade de ameixas 'Laetitia' frigoconservadas e submetidas ao estresse inicial por baixo oxigênio, tratamento térmico e vapor de etanol. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, 126 p. 2016.

JERONIMO, M.E.; BRUNINI, M.A.; ARRUDA, M.C.; CRUZ, J.C.S.; FISCHER, I.H.; GAVA, G.J.C. Conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob atmosfera modificada. Semina: Ciências Agrárias, v.28, n.3, p.417-26, 2007.

PAZ, P.; SÁNCHEZ, M. T.; PÉREZ-MARÍN, D.; GUERRERO, J. E.; GARRIDO-VARO, A. Nondestructive Determination of Total Soluble Solid Content and Firmness in Plums Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 56, n. 8, p.2565-2570, 2008.

DOI: 10.1021/jf073369h

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, v.7, p.391-400, 2013.

STANGER, M. C.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O. Quality preservation of 'laetitia' plums in active modified atmosphere storage. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 39, n. 2, e-714, 2017

DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452017714>

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do; ALVES, E. O.; BRACKMANN, A. Fruit quality preservation of 'Laetitia' plums under controlled atmosphere storage. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 86, n. 1, p.485-494, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420130237>

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do.; ALVES, E. O.; TANAKA, H.; BRACKMANN, A.; BOTH, V. Armazenamento de ameixas 'Laetitia' em atmosfera modificada. *Ciência Rural*, v.39, n. 9, p.2439-2444, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000900009>.

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do.; CHECHI, R.; SILVEIRA, J. P. G.; CORRÊA, T. R. Maturação e qualidade pós-colheita de ameixas 'laetitia' com a aplicação pré-colheita de AVG e GA3. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 1, p.21-31, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000100004>

SYROS, T.; YUPSANIS, T.; ZAFIRIADIS, H.; ECONOMOU, A. Activity and isoforms of peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. *Journal of Plant Physiology*, v.161, n.1, p.69-77, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00938>