

Atividade antioxidante e enzimática em morangos (*Fragaria vesca* L.) tratados termicamente combinados com ácido salicílico

Antioxidant and enzymatic activity in strawberries (*Fragaria vesca* L.) thermally treated combined with salicylic acid

Sidiane Coltro Roncato¹, Bruna Broti Rissato², Cristiane Claudia Meinerz³, Edilaine Della Valentina Gonçalves⁴, Omari Dangelo Forlin Dildey⁵, Laline Broetto⁶, Tulya Fernanda Barrientos Webler⁷

Recebido: 20.06.2017 Aceito: 18.07.2017

Sidiane, R., Bruna, R., Meinerz, C., Edilaine, V., Omari, F., Broetto, L. & Barrientos, T. (2017). Atividade antioxidante e enzimática em morangos (*Fragaria vesca* L.) tratados termicamente combinados com ácido salicílico. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 4(1), 48-58. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.418>

Resumo

Tratamentos pós-colheita de morango são necessários para induzir resistência e elevar a vida útil sem perda de sua qualidade. Tendo isso em vista, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do tratamento térmico pós-colheita em combinação com o ácido salicílico nas atividades antioxidantes e enzimáticas bem como na incidência de fungos em morangos durante seu armazenamento. O delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4 e em quatro repetições. Os morangos das cultivares Dover foram submetidos aos seguintes tratamentos: tratamento térmico de 45 °C por 3 horas em estufa, aplicação de ácido salicílico imerso por cinco minutos em solução aquosa a 2,0 mM, combinação de tratamento térmico com ácido salicílico e o controle (não tratados). Eles foram armazenados durante 1, 7, 14 e 21 dias sob refrigeração a 5 °C com o percentual de 90 a 95 % de umidade relativa do ar (UR). A atividade enzimática da peroxidase (POD) ocorreu, por

1 Pesquisadora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: scoltr@hotmail.com

2 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: brunarissato@hotmail.com

3 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: cristianemeinerz@hotmail.com

4 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: edilainevalentina@gmail.com

5 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: omaridildey@hotmail.com

6 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: lalineb@hotmail.com

7 Pesquisadora professora do Universidade estadual do oeste de Paraná-UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brazil. Correo: tulyabarrientos@gmail.com

Resumo

sua vez, no período inicial de 1 e 7 dias de armazenamento para morangos tratados termicamente e com ácido salicílico. O tratamento com combinação de ácido salicílico e tratamento térmico influenciou a atividade enzimática na presença de fungos. Tais morangos submetidos ao tratamento térmico apresentaram oscilação da atividade de polifenoloxidase (PFO), enquanto que o ácido salicílico e a combinação entre tratamento térmico e ácido salicílico não apresentaram diferenças significativas entre si e apresentaram atividade constante de PFO. Já os morangos tratados com ácido salicílico apresentaram apenas 5% de incidência de fungos ao longo dos 14 dias. A atividade antioxidante de morangos tratados com ácido salicílico foi elevada em todos os períodos, exceto aos 21 dias.

Palavras-chave: Atividade enzimática; pós-colheita; vida útil.

Abstract

Postharvest strawberry treatments are needed to induce resistance and increase the shelf life without loss of quality. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of postharvest heat treatment in combination with salicylic acid in the antioxidant activity, enzymatic and incidence of fungi in the strawberry during storage. The experimental design was completely randomized in a 4x4 factorial design with four replications. Strawberries grow Dover were subjected to the following treatments: heat treatment (45 ° C for 3 h in an oven), application of salicylic acid (immersion for five minutes in 2.0 mM aqueous solution), combination of heat treatment with salicylic acid and control (untreated). Were stored for 1, 7, 14 and 21 days under refrigeration at 5 ° C with 90-95 % relative humidity. The enzymatic activity of peroxidase (POD) occurred in the initial period of 1 to 7 days of storage strawberries treatment heat and with salicylic acid. Regarding the combination of salicylic acid and heat treatment occurred enzymatic activity in the presence of fungi. For polyphenol oxidase (PPO) activity, heat treatment showed an oscillation of activity, while salicylic acid and the combination of and salicylic acid with treatment heat showed no significant differences, and showed constant activity of PFO. For the treatment with salicylic acid the strawberries showed only 5 % fungal incidence. The antioxidant activity of strawberries treated with salicylic acid was high in all periods except at 21 days.

Keywords: Enzymatic activity; post-harvest; shelf life.

Introdução

O morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) é um fruto que apresenta elevada perecibilidade pós-colheita, devido à sua fragilidade e alta atividade metabólica. Tal característica é agravada, entre outros fatores, pela alta suscetibilidade a apodrecimentos, principalmente causada por *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer* e *Penicillium* sp. (Bautista-Banões, García-Domínguez, Barrera-Necha, Reyes-Chilpa, y Wilson, 2003), fazendo com que o morango tenha uma vida útil pós-colheita relativamente curta, com alterações que depreciam o seu valor comercial e nutricional (Chitarra & Chitarra, 2005). Embora a principal forma de controle das doenças pós-colheita é o uso de fungicidas químicos (Hernández-Muñoz, Almenar, Del Valle, Vélez & Gavara, 2008), atenção especial tem sido dada ao uso indiscriminado desta prática no manejo pós-colheita de morangos, uma vez que a demanda por produtos sem poluentes vem crescendo. Desta forma, estudos sobre a aplicação de tratamentos pós-colheita alternativos, juntamente com o armazenamento refrigerado, são necessários.

O tratamento térmico é uma alternativa promissora para substituir, ou reduzir o uso de tratamentos químicos durante o armazenamento de frutas e hortaliças e tem sido utilizado para o controle de doenças fúngicas no período pós-colheita patras, brunton, da pieve & butler. Um moderado estresse no fruto, causado pelo tratamento térmico, produz alterações no metabolismo do morango, induzindo a produção de enzimas antioxidantes em resposta à defesa tais como o inativadores de radicais de oxigênio, mantendo sob controle intracelular os níveis de radicais de oxigênio, que são danosos às células Vicente, Martínez, Chaves & Civello. É possível aplicar um moderado tratamento térmico em morangos com temperaturas não-letais, a 45°C por 3 horas com ar, resultando em uma redução de degradação dos frutos por fungos, aumentando o período de armazenamento do mesmo. O efeito do tratamento térmico na deterioração fúngica, pode ser devido a uma combinação de inativação

direta do patógeno e indução de resistência no fruto (Lurie, 1998; Vicente, Martínez, Chaves & Civello, *et al.*, 2003).

As enzimas polifenoloxidase e peroxidase apresentam, por sua vez, numerosas funções fisiológicas quando a planta ativa sistemas de autodefesa em resposta ao estresse sofrido. Tal como o estresse oxidativo, que ocorre durante o seu armazenamento causando escurecimento em seu pericarpo, reduzindo o valor comercial. Após alguns segundos da ocorrência de qualquer ferimento no fruto, ocorrem mudanças na estrutura das membranas, conduzindo à mistura de enzimas e substratos, aumentando assim a atividade respiratória e a produção de proteínas, levando a ativação de algumas enzimas como polifenoloxidase e peroxidase, que apresentam numerosas funções fisiológicas (Chitarra & Chitarra, 2005). Polifenoloxidase e peroxidase causam oxidação de compostos fenólicos ou reagem com aminoácidos e proteínas, e ainda oxidam ácido ascórbico e degradam antocianinas (Chitarra & Chitarra, 2005). A ação das enzimas POD e PFO resulta, conseqüentemente, em escurecimento enzimático de frutas após a colheita, como no caso da uva (Lima, Alves, Assis, Filgueiras, & Costa, 2002).

Substâncias como o ácido salicílico têm sido estudadas em aplicações isoladas ou em combinações com outras técnicas de preservação pós-colheita na busca de efeitos positivos na conservação de frutos (Zhang *et al.*, 2010). O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico natural simples, por exemplo, presente em muitas plantas e é um componente importante na via de transdução de sinal, induzindo respostas de defesa (Zhang *et al.*, 2010). Em morangos, a aplicação exógena em concentrações não tóxicas e em combinação com outros métodos, pode aumentar a sua resistência contra patógenos (Zhang *et al.*, 2010).

Esta aplicação combinada de tratamento térmico e ácido salicílico pode ser, talvez, uma alternativa promissora sobre efeitos na resposta

a estresses oxidativos na atividade antioxidante e no controle do desenvolvimento de fungos, durante o armazenamento do fruto. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do tratamento térmico pós-colheita em combinação com o ácido salicílico na atividade antioxidante e enzimática assim como na incidência de fungos em morango, durante o seu armazenamento.

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados morangos cultivares Dover, isentos de ferimentos, com tamanho uniforme e 75 % da cor vermelha superficial.

Os morangos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido em grupos de 10 frutos para cada bandeja, constituindo as unidades experimentais. Em seguida, foram submetidos ao tratamento térmico de 45 °C por 3 horas em estufa, uma aplicação de ácido salicílico (imerso por cinco minutos em solução aquosa a 2,0 mM), uma combinação de tratamento térmico com ácido salicílico e o controle (não tratados). Após o tratamento dos frutos, as bandejas foram cobertas com filme plástico de PVC e armazenados em câmara a 5 °C com 90 a 95 % de UR. Após os intervalos de armazenagem de 1, 7, 14 e 21 dias, as unidades experimentais foram retiradas e congeladas em nitrogênio líquido e armazenada a -24 °C para posteriores análises.

Para avaliação da atividade enzimática, foi obtido, primeiramente, o extrato enzimático. A análise da atividade de peroxidase (POD) foi determinada a 30 °C, através do método espectrofotométrico direto a 470 nm por um período de 2 min, com leitura a cada 15 segundos e expressa em variação (Δ = delta) de unidade de absorvância $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de peso fresco⁻¹.

Para a atividade de polifenoloxidase (PFO), diferentemente, utilizou-se a metodologia de

Duangmal & Apeten (1999). A temperatura da reação foi de 30 °C e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 420 nm por um período de 1 minuto, com leituras a cada 15 segundos e a atividade foi determinada pela variação ocorrida entre os valores extremos situados na faixa de incremento linear e expressa, por fim, em Δ de $\text{abs min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de peso fresco.

Os morangos foram avaliados visualmente quanto a presença ou ausência de fungos nos dias de análise, sendo os resultados expressos em porcentagem de morangos infectados. A identificação dos fungos foi feita por microscopia.

A determinação da atividade antioxidante do morango foi avaliada por via da sua capacidade de sequestro de radicais livres, pelo método DPPH proposto por De Ancos, Sgroppo, Plaza & Cano (2002), no qual a leitura da absorvância foi medida a 515 nm em espectrofotômetro. Utilizou-se como padrão o ácido ascórbico, para construir a curva de calibração. A partir da equação de regressão linear obtida, realizou-se o cálculo da concentração de atividade antioxidante, expressa em mg EAG g^{-1} de morango.

A perda de massa foi obtida por pesagens nos intervalos de observações durante a armazenagem, através da balança semi-analítica e os resultados expressos em porcentagem, estimados a partir das diferenças de massa das unidades experimentais entre o momento da instalação do experimento e o dia de cada avaliação.

O delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4 em quatro repetições. Foi utilizada a Análise de Variância e aos parâmetros significativos foi aplicado o teste de Tukey (1953). Diferenças significativas foram consideradas em todas as análises a $p < 0,05$. O software estatístico utilizado foi o GENES (Cruz, 2006).

Resultados e discussão

De acordo com os resultados da Tabela 1, morangos submetidos ao tratamento térmico e ao ácido salicílico, responderam rapidamente, com elevação da atividade de peroxidase (POD) no primeiro e aos sete dias, respectivamente, diferindo do controle e da combinação de ácido salicílico com tratamento térmico que manifestaram elevada atividade desta enzima somente aos 14 dias. No entanto, aos 14 e 21 dias a maior atividade estava na combinação de ácido salicílico com tratamento térmico, aos 7 dias de armazenagem o ácido salicílico se mostrava com maior atividade. A combinação de ácido salicílico com tratamento térmico se mostrou menos efetivo que os demais tratamentos, principalmente no primeiro e aos 7 dias de armazenagem, indicando ser desvantajoso o seu uso, pois, a atividade enzimática ocorreu quando já havia a presença de fungos.

A enzima peroxidase apresenta numerosas funções fisiológicas, tais como induzir a produção de β -1,3-glucanase, quitinase, síntese

de fitoalexinas e acúmulo de lignina quando a planta ativa sistemas de autodefesa em resposta a estresses sofridos, tais como por infecções de patógenos, a atividade desta enzima aumenta quando uma gama de compostos oriundos do metabolismo torna-se suscetível a sua ação (Chitarra & Chitarra, 2005).

O efeito indutor da atividade de POD promovido pelo tratamento térmico e ácido salicílico sobre os morangos no período inicial de armazenagem pode ser um indício de que houve indução de estresses oxidativos durante o armazenagem ou tratamento. O tratamento térmico promoveu rápida atividade no primeiro período de amostragem e queda da atividade em seguida, demonstrando o seu rápido e curto efeito protetor, já o tratamento com ácido salicílico demonstrou maior atividade aos sete dias, protegendo os morangos por mais tempo, conforme a Tabela 1.

Vicente *et al.* (2006) verificaram menor incremento da atividade de POD em morangos

Tabela 1.

Atividade de Peroxidase em morangos cv. Dover submetidos a diferentes tratamentos e armazenagem a 1, 7, 14 e 21 dias a 5°C

Tratamentos	Peroxidase (Δ abs $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de peso fresco)			
	Armazenamento (dias)			
	1	7	14	21
Controle	0,0013 cB	0,0013 bB	0,0024 cA	0,0014 cAB
Tratamento térmico-TT	0,0064 bA	0,0023 bC	0,0050 bB	0,0026 bC
Ácido salicílico-AS	0,0013 cB	0,0044 aA	0,0015 cB	0,0023 bcB
TT+AS	0,0076 aB	0,0018 bD	0,0090 aA	0,0057 aC
CV (%)	15,30			

*As médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: autores.

tratados termicamente (45 °C por 3 horas), indicando que esses frutos sofreram menos danos fisiológicos do que os frutos não tratados. Outros autores também encontraram redução da atividade de POD com o tratamento térmico em goiaba (Zanatta, Zotarelli & Clemente, 2006), e em maçã Valderrama, Marangoni & Clemente, (2001). No presente trabalho, morangos não tratados apresentaram menor atividade de POD durante o período de armazenamento.

As mudanças na atividade de POD refletem duas condições do fruto, resultantes de eventos

geneticamente programados do metabolismo normal do órgão como a maturação, ou de estresses causados por condições ambientais desfavoráveis (Chitarra & Chitarra, 2005).

O efeito protetor de PFO foi constatado em todos os tratamentos no primeiro período de armazenamento do morango, constatando maior atividade no controle (Tabela 2). Enquanto o tratamento térmico promoveu aumento significativo da atividade de PFO aos 14 dias, o ácido salicílico e a combinação entre tratamento térmico e ácido salicílico não apresentaram

Tabela 2.

Atividade de Polifenoloxidase em morangos cv. Dover submetidos a diferentes tratamentos e armazenagem a 1, 7, 14 e 21 dias a 5°C

Tratamentos	Polifenoloxidase (Δ abs min ⁻¹ mg ⁻¹ de peso fresco)			
	Armazenamento (dias)			
	1	7	14	21
Controle	0,0030 aA	0,0013 aB	0,0003 bB	0,0003 bcB
Tratamento térmico-TT	0,0015 bA	0,0000 bB	0,0016 aA	0,0000 cB
Ácido salicílico-AS	0,0012 bA	0,0014 aA	0,0019 aA	0,0022 aA
TT+AS	0,0013 bA	0,0014 aA	0,0020 aA	0,0014 abA
CV (%)	49,65			

*Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autores.

diferenças significativas entre si, e apresentaram atividade constante de PFO, sugerindo que os tratamentos tenham estressado fisiologicamente os morangos, causando mudanças na expressão gênica e em sua síntese proteica (Lurie, 1998).

Durante os 14 dias de armazenagem, todos os tratamentos foram eficientes em manter a atividade de PFO significativamente superior ao controle. Porém, a oscilação da atividade de PFO no tratamento térmico fez com que os morangos se mostrassem mais suscetíveis a infecções

fúngicas, quando comparada ao controle e ao ácido salicílico. Além disso, é possível que a menor atividade de PFO promovida pelo tratamento térmico tenha promovido menor suscetibilidade ao escurecimento enzimático, conforme sugerido por Lima *et al.* (2002).

Conforme a Figura 1, os morangos apresentaram aumento significativo de incidência de fungos em função do período de armazenagem para todos os tratamentos, sendo este um resultado esperado para o tratamento

controle, devido à alta suscetibilidade do fruto ao ataque de patógenos. No entanto, só foi constatada a presença de fungos aos 14 e 21 dias de amostragem. Vale ressaltar que, inclusive, uma das principais causas de perda da qualidade comercial de morangos é o surgimento de fungos (Shin, Liu & Nock, 2007).

Embora não tenha havido efeito significativo dos tratamentos na incidência de fungos nos morangos aos 21 dias, foi verificado aos 14 dias de amostragem diferenças significativas entre os tratamentos que o ácido salicílico, apesar de não diferir estatisticamente do controle apresentou menor incidência com 5 %. Pode-se sugerir, então, o efeito protetor da atividade POD aos 7 dias, enquanto que, por outro lado, a atividade de POD do tratamento térmico ao primeiro dia de armazenamento não demonstrou efeito protetor para os demais períodos. A combinação de tratamento térmico com o ácido salicílico não promoveu, por sua vez, efeito protetor aos morangos (Figura 1).

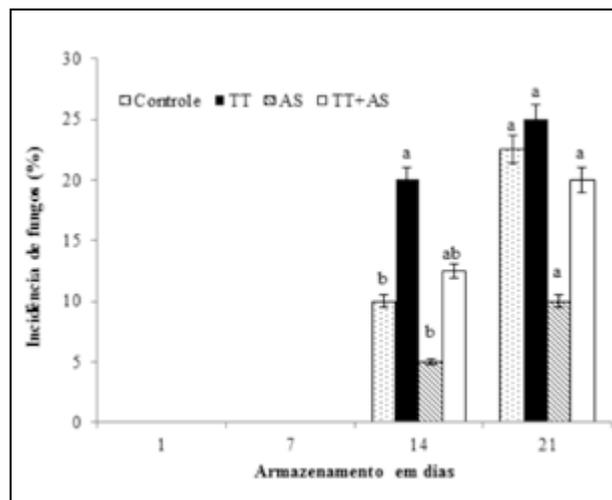


Figura 1. Incidência de fungos em morangos cv. Dover submetidos aos tratamentos controle, tratamento térmico (TT), ácido salicílico (AS) e combinação (TT+AS) e o armazenamento a 5°C. *Barras seguidas pela mesma letra dentro de cada período de armazenamento não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autores.

A combinação dos tratamentos, assim como o tratamento térmico, não apresentaram efeito benéfico aos frutos, sendo possível sugerir como explicação, os resultados encontrados por Paull & Jung Chen (2000), segundo os quais a exposição de células vegetais a temperaturas elevadas produz uma resposta de estresse, aumento das taxas de respiração e redução da síntese de mRNA e aumento de danos a proteínas e membranas. Contudo, os indicadores de estresse geralmente retomam os níveis de controle após o regresso à temperatura ambiente se o nível de calor não for acima do limite de temperatura do fruto.

Talvez, neste presente estudo, assim como observado por Wszelaki & Mitcham (2003), os morangos estressados pelo calor foram mais sensíveis às condições de armazenamento do que aqueles não aquecidos por produzirem mais metabólitos fermentativos, devido à elevada taxa de respiração, fazendo com que frutos não se recuperem, culminado em sua deterioração. Segundo Vicente *et al.* (2003), enquanto morangos tratados termicamente e armazenados a 0°C em até 7 dias não demonstraram presença de fungos, eles foram verificados quando os frutos foram transferidos para 20°C.

De acordo com Cai & Zheng (1999), o ácido salicílico é um importante ativador do sistema de defesa do vegetal contra patógenos, resultando em redução significativa da degradação de morangos Selva por fungos, pelo fato de o ácido salicílico estar envolvido na defesa das plantas e por promover aumento na produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), atuando na sinalização e ativação da resistência sistêmica. Isto evita, conseqüentemente, perdas pós-colheita por até 15 dias em armazenamento refrigerado, além de manter a qualidade do fruto e reduzir a produção de etileno através da inibição da ACC oxidase. Vale ressaltar também que, em função da menor atividade metabólica, respiração e redução da perda de água e carboidratos, a senescência do fruto pode ser retardada.

Wszelaki & Mitcham (2003) observaram que morangos tratados com a combinação de água quente (63°C por 12s), controle biológico com *Pichia guilliermondii* e atmosfera controlada (15 kPa CO₂), apresentaram melhor controle de *Botrytis cinerea* quando comparados com cada tratamento isolado, durante o armazenamento a 5°C por 5 dias com mais 2 dias a 20°C. Entretanto, os benefícios da combinação dos três tratamentos não justificam os custos adicionais necessários para a implementação. A deterioração, murchamento, perda de brilho, escurecimento entre aquênios e ressecamento do cálice foram semelhantes para todos os tratamentos. Porém, os morangos que foram aquecidos apresentaram cálices mais secos e algumas áreas levemente encharcadas em comparação aos que não haviam sido aquecidos. Após 14 dias a 5 °C e 14 mais 2 dias, a deterioração foi de moderada a grave, por causa da desidratação e deterioração.

Independente dos tratamentos, os fungos identificados nos morangos durante o armazenamento foram *Rhizopus nigricans* e *Penicillium* sp.

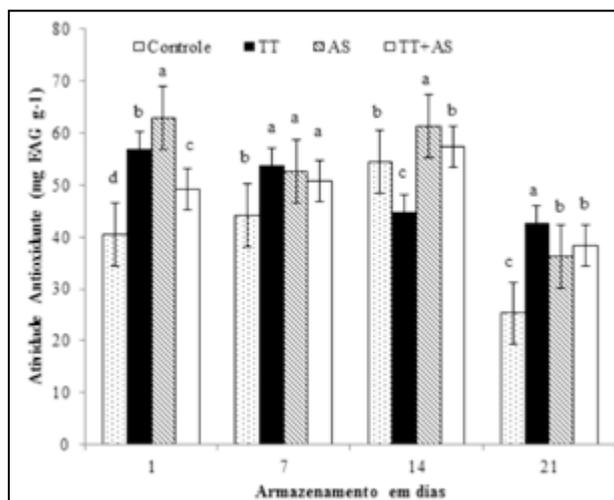


Figura 2. Atividade antioxidante em morangos cv. Dover submetidos aos tratamentos controle, tratamento térmico (TT), ácido salicílico (AS) e combinação (TT+AS) e o armazenamento a 5°C. *Barras seguidas pela mesma letra dentro de cada período de armazenamento não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autores.

De acordo com a Figura 2, no primeiro dia de amostragem, os morangos tratados com ácido salicílico apresentaram maior atividade antioxidante que os demais tratamentos, enquanto que a menor atividade foi observada na combinação de tratamento térmico com ácido salicílico. Já aos 7 dias de armazenamento, o tratamento térmico, ácido salicílico e a combinação de tratamento térmico com ácido salicílico, não diferiram entre si e apresentam-se superiores ao controle. Aos 14 dias de armazenamento, a maior atividade encontrava-se no tratamento com ácido salicílico e a menor no tratamento térmico, enquanto que aos 21 dias de armazenagem, o tratamento térmico superou os demais, apresentando maior atividade que ácido salicílico e a combinação de tratamento térmico com ácido salicílico, sendo que estes superaram o controle. Mas aos 21 dias, encontrou-se a menor atividade antioxidante comparada com outros períodos avaliados.

De modo geral, o controle apresentou baixa atividade antioxidante, demonstrando assim, o efeito benéfico dos tratamentos em induzir esta atividade. O ácido salicílico apresentou, porém, melhores resultados, com elevada atividade em todos os períodos exceto aos 21 dias. Esta elevada atividade pode estar relacionada ao bom nível observado de enzimas POD e PFO, sem oscilações, assim como à contribuição para o controle de fungos. A combinação de tratamento térmico com ácido salicílico não se mostrou efetiva em induzir a atividade antioxidante, apresentando níveis intermediários. Resultados sobre o ácido salicílico foram divulgados na bibliografia por Qin, Tian, Xu & Wan, que estimularam a atividade antioxidante em frutos e síntese de enzimas PFO, fenilalanina amônia-liase e β -1,3-glucanase.

De acordo com Kalt, Forney, Marin & Prior (1999), a atividade antioxidante de morangos está correlacionada com o tempo e temperatura de armazenagem, pois, a atividade antioxidante durante o período de 8 dias aumentou em média 1,5 vezes, com o aumento da temperatura

de 10 e 20 °C. Vale salientar que, ainda que o armazenamento a temperatura ambiente ou acima possa melhorar alguns atributos de qualidade, isto pode não ser comercialmente viável. O mesmo autor encontrou valor de atividade antioxidante de 20,6 $\mu\text{mol TEAC g}^{-1}$ peso fresco ORAC em morangos cultivares Kent, o que o difere deste presente trabalho, que encontrou valores variando de 25,29 a 62,96 mg EAG g^{-1} .

A atividade antioxidante de morangos Jewel após 3 dias de armazenamento sob temperatura de 10 °C foi de 41,9 mmol EAG kg^{-1} , enquanto que na temperatura de 0,5°C e 20°C a média foi de 35,6 mmol EAG kg^{-1} e 34,9 mmol EAG kg^{-1} , respectivamente (Shin *et al.*, 2007). De acordo com os mesmos autores, estes valores foram superiores à atividade antioxidante analisada no momento da colheita, ou seja, houve influência da temperatura e da umidade relativa do ar, e a atividade antioxidante não teve relação com os compostos individuais de antocianinas, compostos fenólicos e ácido ascórbico. Estes valores encontrados para atividade antioxidante apresentam-se, portanto, inferiores aos encontrados no presente trabalho.

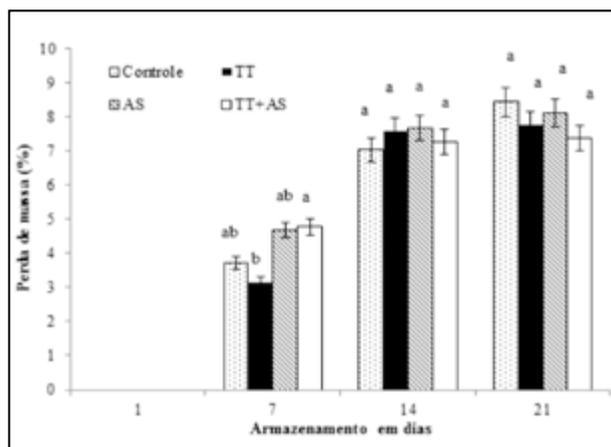


Figura 3. Perda de massa em morangos cv. Dover submetidos aos tratamentos controle, tratamento térmico (TT), ácido salicílico (AS) e combinação (TT+AS) e o armazenamento a 5°C. *Barras seguidas pela mesma letra dentro de cada período de armazenamento não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autores.

A perda de massa dos morangos (Figura 3) aumentou em função do período de armazenamento para todos os tratamentos, ainda que, apenas aos 7 dias de armazenamento, houve influência significativa dos tratamentos sobre a perda de massa, nos quais a combinação de tratamento térmico com ácido salicílico apresentou maior perda de massa em comparação ao tratamento térmico e os demais não diferiram entre estes. Este resultado pode estar relacionado com a incidência de fungos, que também aumentou em função do período de armazenamento, o que pode ter levado a aceleração dos processos degradativos relacionados à senescência, com consequente aumento do conteúdo de água e maior perda por evaporação (Chitarra & Chitarra, 2005). Resultado semelhante foi encontrado por Shin *et al.* (2007), quando morangos apresentaram maior perda de massa ao longo do período de armazenamento.

Estes resultados diferem dos encontrados por Vicente *et al.* (2003), nos quais se observou que morangos tratados termicamente (45°C a 3hs) apresentaram redução na perda de massa durante o armazenamento.

No presente trabalho, a perda de massa fresca variou em torno de 5 % em até 7 dias a 5°C, o que vem a ser um limite aceitável para a comercialização de morangos, contribuindo no sentido de minimizar os efeitos indesejáveis à aparência, como o enrugamento, por exemplo. A perda de massa acima de 10 % é suficiente para comprometer a aparência do morango, conferindo-lhe epiderme enrugada e sem brilho, podendo ser rejeitado pelo consumidor (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008).

Conclusões

A combinação do tratamento térmico com ácido salicílico se mostrou menos efetiva que os demais tratamentos para a maioria das variáveis analisadas, indicando ser desvantajosa, uma

vez que não justifica os custos adicionais necessários para a sua implementação. Entretanto, o ácido salicílico mostrou-se mais efetivo com maior atividade antioxidante, atividade constante de PFO, e menor incidência de fungos que os demais. O limite aceitável para o armazenamento de morangos sadios testados com os tratamentos corresponderam a 7 dias, sob a temperatura de 5°C.

Referências

- Bautista-Banões, S., García-Domínguez, E., Barrera-Necha, L.L., Reyes-Chilpa, R. y Wilson, C.L. (2003). Seasonal evaluation of the postharvest fungicidal activity of powders and extracts of huamuchil (*Pithecellobium dulce*): action against *Botrytis cinerea*. *Penicillium digitatum* and *Rhizopus stolonifer* of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 29(1) 81-92.
- Cai, X.Z. & Zheng, Z. (1999). Induction of systemic resistance in tomato by and incompatible race of *Cladosporium fulvum* and the accumulation dynamics of salicylic acid in tomato plants. *Acta Horticulturae Sinica*, 29(3), 261-264.
- Chitarra, M. I. & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Brasil: Lavras, Universidade Federal de Lavra.
- Cruz, C.D. (2006). Programa Genes: Biometria. Brasil: Universidade Federal de Viçosa.
- De Ancos, B., Sgroppo, S., Plaza, L. & Cano, M.P. (2002). Possible nutritional and health-related value promotion in orange juice preserved by high-pressure treatment. *Food Agriculture*, 82(8), 790-796. doi:10.1002/jsfa.1093
- Duangmal, K. & Apenten, R.K.O. (1999). A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). *Food Chemistry*, 64(3), 351-359. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00127-7
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Vélez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020
- Kalt, W., Forney, C.F., Marin, A. & Prior, R.L. (1999). Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Food Chemistry*, 47(11), 4638-4644. doi:10.1021/jf990266t
- Lima, M.A.C., Alves, R.E., Assis, J.S., Filgueiras, H.A.C. & Costa, J.T.A. (2002). Aparência, compostos fenólicos e enzimas oxidativas em uva "Itália" sob influência do cálcio e do armazenamento refrigerado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(1), 39-43. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000100009.
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 257-269.
- Paull, R.E. & Jung Chen, N. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 21(1), 21-37. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00162-9
- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S. & Butler, F. (2009). Effect of thermal and high pressure processing on antioxidant activity and instrumental colour of tomato and carrot purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(1), 16-22. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.09.008
- Qin, Q.Z., Tian, S.P., Xu, Y. & Wan, Y.K. (2003). Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62(3), 147-154. https://doi.org/10.1016/S0885-5765(03)00046-8
- Shin, Y., Liu, R. H. & Nock, J. F. (2007). Temperature and relative humidity effects on quality total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations and antioxidant activity of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 349-357. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.007
- Valderrama, P., Marangoni, F. & Clemente, E. (2001). Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(3), 321-325. http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000300012
- Vicente, A.R., Martínez, G.A., Chaves, A.R. & Civello, P.M. (2003). Influence of self-produced CO₂ on postharvest life of heat-treated strawberries.

- Postharvest Biology and Technology*, 27(3), 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00111-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00111-4)
- Vicente, A.R., Martínez, G.A., Chaves, A.R. & Civello, P.M. (2006). Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 40(2), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.012>
- Wszelaki, A.L. & Mitcham, E.J. (2003). Effect of combinations of hot water dips, biological control and controlled atmospheres for control of gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 27(3), 255-264. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00095-9)
- Zanatta, C. L., Zotarelli, M. F. & Clemente, E. (2006). Peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em polpa de goiaba (*Psidium guajava* R.). *Ciência Tecnologia Alimentos*, 26(3), 705-708. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000300034>
- Zhang, H., Ma, L., Turner, M., Xu, H., Zheng, X., Dong, Y. & Jiang, S. (2010). Salicylic acid enhances biocontrol efficacy of *Rhodotorula glutinis* against postharvest *Rhizopus* rot of strawberries and the possible mechanisms involved. *Food Chemistry*, 122(3), 577–583. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.013>