

1 **TRATAMENTOS HIDROTÉRMICO E COM RADIAÇÃO UV-C NO CONTROLE**
2 **PÓS-COLHEITA DA PODRIDÃO OLHO-DE-BOI EM UMA LINHA COMERCIAL**
3 **DE SELEÇÃO DE MAÇÃS¹**
4

5 VINÍCIUS ADÃO BARTNICKI², ROSA MARIA VALDEBENITO-SANHUEZA³,
6 CASSANDRO VIDAL TALAMINI DO AMARANTE⁴, CRISTIANO ANDRÉ
7 STEFFENS⁵

8 **RESUMO** - Avaliaram-se os efeitos da aspersão hidrotérmica e da radiação UV-C no
9 controle pós-colheita da podridão olho-de-boi (POB) em maçãs 'Fuji', após um e oito meses
10 de armazenamento, e 'Gala', após cinco meses de armazenamento, ambas sob condição de
11 atmosfera controlada (AC). Esses frutos foram inoculados ou mantidos com infecção natural
12 de *Cryptosporiopsis perennans*. As maçãs 'Fuji' foram submetidas aos seguintes
13 tratamentos, aplicados em uma linha comercial de seleção: Sem tratamento (testemunha);
14 Aspersão hidrotérmica (água a 50°C por 12 segundos); Radiação UV-C (0,0069 kJ m⁻²); e
15 Aspersão hidrotérmica + radiação UV-C. As maçãs 'Gala' também foram submetidas a estes
16 tratamentos utilizados em 'Fuji', exceto no tratamento com aspersão hidrotérmica + radiação
17 UV-C. Após os tratamentos, as maçãs foram incubadas a 22°C por 15 dias e avaliadas
18 quanto à incidência da doença. Nas maçãs 'Fuji', os tratamentos de aspersão hidrotérmica
19 e/ou radiação UV-C, reduziram a incidência da POB dos frutos inoculados e com infecção
20 natural, proporcionaram controle da incidência da POB superiores a 56% e 54%, em relação
21 ao testemunha, respectivamente. Em maçãs 'Gala' inoculadas, os tratamentos com aspersão
22 hidrotérmica e radiação UV-C também reduziram o número de unidades formadoras de
23 colônias (UFC) nos frutos, com controle superior a 70% em relação ao testemunha, e a
24 incidência da POB, com controle superior a 69% em relação à testemunha. Em maçãs 'Gala',
25 com infecção natural, estes tratamentos apresentaram controle da POB superior a 85% em
26 relação ao testemunha. Os resultados obtidos mostram que os tratamentos com aspersão

¹ Submetido para publicação em _____. Aceito para publicação em _____.

² Aluno de Curso de Doutorado em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Av. Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. **Autor para a correspondência.** E-mail: vinibart@hotmail.com

³ Dra., Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Pesquisadora da Proterra Engenharia Agrônômica. BR 116, nº 7320, Bairro Fátima, CEP 95200-000, Vacaria, RS, Brasil. E-mail: rosamaria@m2net.com.br

⁴ Ph.D., Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Professor do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Av. Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. E-mail: amarante@cav.udesc.br

⁵ Dr., Professor do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Av. Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. E-mail: a2cs@cav.udesc.br

1 hidrotérmica e radiação UV-C reduzem a incidência da POB, em linha comercial de seleção
2 de maçãs 'Gala' e 'Fuji'. Todavia, o uso da radiação UV-C, em ambas as cultivares, foi o
3 tratamento que apresentou maior benefício e retorno econômico.

4 **Termos para indexação:** *Malus domestica*, *Cryptosporiopsis perennans*, desinfestação,
5 aspersão de água aquecida, irradiação.

6 **HYDROTHERMAL AND UV-C RADIATION TREATMENTS FOR**
7 **POSTHARVEST CONTROL OF BULL'S-EYE ROT OF APPLES IN A**
8 **COMMERCIAL PACKING LINE**

9 **ABSTRACT** - This research was carried out to evaluate the effects of hydrothermal and
10 UV-C radiation treatments for postharvest control of bull's-eye rot (BER) on 'Fuji' (after one
11 and eight months storage under controlled atmosphere - CA) and 'Gala' (after five months
12 storage under CA) apples. These fruits were inoculated or naturally infected with
13 *Cryptosporiopsis perennans* (causal agent of BER). 'Fuji' apples were submitted to the
14 following treatments implemented in a commercial packing line: 1) Control; 2)
15 Hydrothermal treatment (water at 50°C, sprayed for 12 seconds); 3) UV-C radiation (0.0069
16 kJ m⁻²); and 4) Hydrothermal treatment + UV-C radiation. 'Gala' apples were submitted to
17 the same treatments described for 'Fuji', except the hydrothermal treatment water + UV-C
18 radiation. After the treatment, the apples were incubated at 22°C for 15 days and assessed
19 for BER incidence. On 'Fuji', the hydrothermal treatment and/or UV-C radiation was
20 efficient, providing more than 56% and 54% reduction of BER compared to the control, in
21 fruit inoculated or with natural infection of *C. perennans*, respectively. On 'Gala' apples
22 inoculated with *C. perennans*, the hydrothermal treatment and UV-C radiation were equally
23 effective to reduce the number of colony formation units (CFU) recovered from treated
24 fruits (more than 70% reduction in comparison to the control) and BER incidence (more
25 than 69% reduction in comparison to the control). On 'Gala' apples with natural infection,
26 these treatments provided more than 85% reduction of BER compared to the control. The
27 results show that hydrothermal treatment (water at 50°C, sprayed for 12 seconds) and UV-C
28 radiation (0.0069 kJ m⁻²) are equally effective to control BER on 'Gala' e 'Fuji' apples when
29 implemented in a commercial packing line. However, UV-C radiation was the most
30 effective treatment and had the best economical return in both cultivars.

1 **Index Terms:** *Malus domestica*, *Cryptosporiopsis perennans*, disinfestations, heated water
2 spraying, irradiation.

3 INTRODUÇÃO

4 No Sul do Brasil, a podridão olho-de-boi (POB), causada pelo fungo
5 *Cryptosporiopsis perennans*, em associação ao mofo-azul (*Penicillium expansum*), vem
6 causando perdas crescentes de maçãs durante a pós-colheita, principalmente em maçãs
7 'Fuji'. Infecções latentes causadas por *C. perennans* podem causar perdas de até 16% dos
8 frutos frigorificados, não se dispondo de práticas adequadas para a sua redução
9 (Valdebenito-Sanhueza, 2002). Os sintomas de *C. perennans* nos frutos se caracterizam por
10 uma podridão marrom-clara, de forma circular, às vezes com margens marrom-escuras ou
11 avermelhadas, deprimida, de textura firme e desenvolvimento lento. Os tecidos internos são
12 de cor amarelada e firme. As podridões iniciadas em lesões causadas por ferimentos no
13 campo são mais amareladas que as que se desenvolvem em pós-colheita, apresentam a polpa
14 desidratada e em formato de cavernas (Valdebenito-Sanhueza, 2002). Este patógeno penetra
15 através de lenticelas e aberturas naturais, como a calicinal e a peduncular (Edney &
16 Burchill, 1967). Quando os conídios penetram pelas lenticelas podem se tornar inacessíveis
17 a fungicidas, pois aderem-se a estas estruturas e a microfissuras da cutícula (Bartnicki et al.,
18 2010).

19 A imersão das maçãs em água clorada é o principal método utilizado para reduzir a
20 quantidade de inóculo antes ou após o armazenamento e antes da embalagem. Porém, além
21 de causar corrosão do maquinário processador, o tratamento com cloro pode ser ineficaz em
22 frutos com grande quantidade de matéria orgânica e com alta contaminação por
23 microrganismos (Sadiq & Rodriguez, 2004). O resultado disso pode ser observado através
24 das perdas após a embalagem no mercado interno ou externo, tendo como consequência a
25 devolução de lotes, a qual contabiliza grandes prejuízos para as empacotadoras. Assim,
26 outros métodos de controle que reduzam a quantidade de inóculo nas maçãs trariam
27 benefícios para toda a cadeia produtiva de maçãs. Entre os métodos alternativos ao uso de
28 fungicidas para o controle de doenças pós-colheita, a aspersão hidrotérmica e a radiação
29 UV-C oferecem possibilidades interessantes.

30 O tratamento térmico tem sido utilizado como agente esterilizante há muitos anos,
31 mas, apenas a partir do fim da década de 60, tem recebido atenção para controlar podridões

1 pós-colheita de frutos (Edney & Burchill, 1967). A sua utilização em pré-armazenamento,
2 com temperaturas e períodos diversos, é eficaz no controle de pragas e doenças, e para
3 retardar o amadurecimento de frutos (Lurie, 2006; Jin et al., 2009). Em maçãs 'Golden
4 Delicious' inoculadas com *P. expansum*, o tratamento com ar aquecido a 38°C por quatro
5 dias reduziu a ocorrência de podridões em frutos armazenados a 0°C por seis meses (Sams
6 et al., 1993). Em maçãs 'Cox's Orange Pippin', o tratamento dos frutos por imersão
7 hidrotérmica e com temperaturas variando de 42°C a 48°C por 5 a 20 minutos, reduziu a
8 infecção de *Gloeosporium* spp., agente causal da POB na Europa, em frutos armazenados a
9 5°C por 12 semanas (Edney & Burchill, 1967). Para o controle desta podridão em maçãs
10 oriundas de produção orgânica tem-se dado o tratamento hidrotérmico a 53°C por três
11 minutos (Maxin et al., 2005).

12 O tratamento com radiação UV-C ($\lambda=254$ nm), na dose adequada, pode induzir
13 resistência a patógenos no tecido vegetal e, assim, reduzir a incidência de doenças pós-
14 colheita (Stevens et al., 1996 e 2005). Li et al. (2008), trabalhando com bagas de uva
15 'Carigane', irradiadas com doses de UV-C variando de 1,2 a 3,6 kJ m⁻² e incubadas a 20°C
16 por 24 horas, observaram incremento no conteúdo de trans-resveratrol de sua epiderme.
17 Além da indução de resistência, alguns resultados sugerem que o controle de podridões
18 pode ser devido ao efeito germicida da radiação UV-C sobre a população epífita de
19 microorganismos (Chun et al., 2010; Sommers et al., 2010), o que contribuiria para o
20 controle de propágulos de alguns patógenos presentes na superfície dos frutos antes da
21 embalagem.

22 Os frutos imaturos apresentam maior resistência a patógenos, sendo que as mudanças
23 fisiológicas verificadas na pós-colheita aumentam a suscetibilidade da parede celular às
24 enzimas pectinolíticas produzidas pelos patógenos, favorecendo a infecção (Borsani et al.,
25 2009). A infecção ocasionada por *C. perennans* em maçãs é maior quando o fruto está
26 próximo do ponto de colheita, mas as maiores perdas ocorrem durante e após o
27 armazenamento refrigerado (Valdebenito-Sanhueza, 2002).

28 Bartnicki et al. (2010) mostraram a susceptibilidade do agente causal da podridão
29 olho-de-boi, no Brasil, ao tratamento hidrotérmico e à radiação UV-C, sob condições
30 controladas. Contudo, não há informações disponíveis sobre o uso prático da aspensão
31 hidrotérmica e da radiação UV-C no controle pós-colheita desta podridão em maçãs. O

1 objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência técnica e a viabilidade econômica da aspersão
2 hidrotérmica e da radiação UV-C no controle da POB em maçãs 'Fuji' e 'Gala', inoculadas
3 artificialmente e com infecção natural, após armazenamento em condição de atmosfera
4 controlada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

6 Os experimentos foram conduzidos no Centro de Pesquisa Proterra (CPPro) e na
7 empacotadora da Empresa Rasip Agro Pastoral S.A., ambos localizados em Vacaria, RS, no
8 ano de 2009.

9 Maçãs 'Fuji' com peso variando entre 127g até 141g, (correspondente ao calibre 135,
10 segundo normas de classificação de maçãs do Brasil, 2002), armazenadas durante um e oito
11 meses em condição de atmosfera controlada (AC; 1,5 kPa de O₂ + 0,5 kPa de CO₂) a
12 0,5±0,5°C e 95±2% UR, com infecção natural ou após inoculação de *C. perennans*, foram
13 submetidas aos seguintes tratamentos, em uma linha comercial de seleção: 1) sem
14 tratamento (testemunha); 2) aspersão hidrotérmica (com água aquecida a 50°C, por 12
15 segundos; 3) radiação UV-C na dose de 0,0069 kJ m⁻²; e 4) aspersão hidrotérmica (com
16 água aquecida a 50°C, por 12 segundos) + radiação UV-C (0,0069 kJ m⁻²). Os frutos
17 armazenados por um e oito meses em AC, apresentavam, respectivamente, teores de sólidos
18 solúveis (SS) de 15,0 e 13,5 °Brix, e firmeza de polpa de 64,3 e 71,5 Newtons (N). Em
19 frutos inoculados, foram utilizadas quatro a sete repetições de três a cinco frutos. Em frutos
20 com infecção natural, foram utilizadas quatro a oito repetições de 30 a 100 frutos.

21 Maçãs 'Gala' com peso variando entre 87g até 95g (correspondente ao calibre 198,
22 segundo normas de classificação de maçãs do Brasil, 2002), armazenadas por cinco meses
23 em condição de AC (2,0 kPa de O₂ + 1,5 kPa de CO₂) a 0,5±0,5°C e 95±2% UR, inoculadas
24 ou com infecção natural de *C. perennans*, foram submetidas aos mesmos tratamentos
25 utilizados em 'Fuji', exceto o tratamento combinado de aspersão hidrotérmica + radiação
26 UV-C. Os frutos apresentavam SS de 11,7 °Brix e firmeza de polpa de 73,5 N. Em frutos
27 inoculados, foram utilizadas oito repetições de 10 frutos. Em frutos com infecção natural,
28 foram utilizadas quatro repetições de 100 frutos.

29 Os frutos foram inoculados antes da aplicação dos tratamentos físicos, sendo que foi
30 utilizado o isolado Cp 5 de *C. perennans* (CNPUV/Va-5). As maçãs foram submetidas a
31 uma desinfestação prévia com álcool. Antes da inoculação, para condicionamento, as maçãs

1 foram armazenadas na temperatura de 20°C por 24h em câmara úmida. Após esse período as
2 maçãs foram pulverizadas com uma suspensão de 1×10^7 conídios mL^{-1} de *C. perennans*.
3 Maçãs 'Fuji' e 'Gala' inoculadas foram incubadas a 22°C durante sete dias e 24h,
4 respectivamente, antes da aplicação dos tratamentos físicos. Em 'Gala', o período de
5 incubação foi de apenas 24h, tendo em vista a avaliação, nesta cultivar, da desinfestação dos
6 frutos submetidos aos tratamentos com aspersão hidrotérmica e radiação UV-C. Para isto,
7 logo após os tratamentos, quatro repetições de três frutos foram submetidas à lavagem por
8 sonicação durante 30 segundos, sendo usados 200 mL de água destilada e esterilizada para
9 cada repetição. Alíquotas de 0,1 mL da lavagem dos frutos foram distribuídas em placas de
10 Petri com meio seletivo para *C. perennans* (Spolti et al., 2010), e incubadas por sete dias a
11 22°C, sob luz fluorescente contínua (tipo luz do dia). Nas placas, avaliou-se a sobrevivência
12 de conídios recuperados da superfície dos frutos, estimada pelo número de unidades
13 formadoras de colônias (UFC). Através das UFC nas placas foi estimado o número de UFC
14 por fruto. Foram usadas três placas para contagem de colônias de cada repetição da
15 lavagem.

16 A aplicação dos tratamentos físicos nos frutos foi realizada acoplando os
17 equipamentos de aspersão hidrotérmica e de radiação UV-C em uma linha comercial de
18 seleção (Marca Prodol), a qual possuía rolos de alumínio, girando a 12 rpm.

19 Para a aspersão hidrotérmica dos frutos foi utilizado um conjunto de aquecimento de
20 água e outro de aspersão. O primeiro compreendeu um recipiente com resistências elétricas
21 e termostato para controlar a temperatura. O segundo foi composto de nove barras
22 (contendo cinco bicos de aspersão do tipo cone vazio, distanciados entre si em 25 cm),
23 distribuídas a cada 30 cm na linha de classificação, uma bomba e um motor. O sistema de
24 aspersão foi ajustado para que a distância entre a saída do bico e o fruto fosse de 10 cm,
25 sendo a temperatura do tratamento aferida neste percurso.

26 O equipamento de radiação UV-C foi composto de nove lâmpadas UV-C (Marca
27 Ecolume), com potência de 40 watts cada, distanciadas entre si 20 cm, emitindo radiação
28 com comprimento de onda de 253,7 nanômetros. As lâmpadas foram instaladas numa caixa
29 de madeira, dimensionada para que a radiação não fosse emitida para fora da linha de
30 seleção, uma vez que poderia comprometer a saúde dos trabalhadores. A distância entre a

1 fonte de radiação UV-C e o fruto foi de 10 cm. A radiação UV-C foi aferida conforme
2 metodologia descrita por Bartnicki et al. (2010).

3 Após a aplicação dos tratamentos, maçãs 'Fuji' e 'Gala' foram incubadas a 22°C e,
4 após 15 dias, avaliadas quanto ao número de maçãs com sintomas (incidência) da POB,
5 conforme descrito por Valdebenito-Sanhueza (2002).

6 Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em todos os experimentos. Os
7 dados de incidência de POB (em 'Fuji' e 'Gala') e de UFC (em 'Gala') foram transformados
8 para arco seno $[(x+1)/100]^{1/2}$ e $(x+1)^{1/2}$, respectivamente, antes de serem submetidos à análise
9 de variância, utilizando o programa SAS (SAS Institute, 2002). As médias de tratamentos
10 foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

11 Através dos resultados obtidos no controle de POB em frutos com infecção natural
12 foi realizada a análise de retorno financeiro pelo uso dos tratamentos físicos, levando em
13 consideração o custo de implementação (montagem dos equipamentos), da aplicação
14 (energia consumida), e as perdas ocasionadas pela POB na testemunha. Com isso, foi obtido
15 o benefício das aplicações (receita - despesa) e a relação entre R\$ investido/R\$ retorno pelo
16 controle da doença.

17 RESULTADOS E DISCUSSÃO

18 A incidência natural da POB nas maçãs 'Fuji' sem tratamento físico variou de 15,5%
19 a 11,7% nas amostras com um ou oito meses de AC, respectivamente, e foi de 2,1% em
20 maçãs 'Gala' com cinco meses de AC, comprovando a importância desta doença no Sul do
21 Brasil. A baixa incidência da POB em maçãs 'Gala' é justificada por sua colheita precoce,
22 quando comparada a outras cultivares, como 'Fuji' e 'Pink Lady'. Assim, a menor
23 permanência dos frutos no campo garante um menor período de exposição à pressão de
24 inóculo e, conseqüentemente, uma baixa incidência da POB (Valdebenito-Sanhueza, 2002).

25 Em maçãs 'Fuji' inoculadas ou com infecção natural de *C. perennans*, os tratamentos
26 de aspersão hidrotérmica e de radiação UV-C, aplicados isoladamente ou em combinação,
27 reduziram a incidência de POB em relação à testemunha, independente do período de
28 armazenamento em AC (Tabela 1).

29 Maçãs 'Fuji' submetidas à inoculação após um e oito meses de armazenados em AC,
30 apresentaram 66,7% e 51,4% de incidência de POB, respectivamente, no tratamento
31 testemunha. Quando submetidos aos tratamentos com aspersão hidrotérmica ou radiação

1 UV-C, a incidência de POB foi reduzida para 12% e 23% com um e oito meses de
2 armazenamento em condição de AC, respectivamente, o que representa um controle da
3 doença, em relação à testemunha, de 81% e 56%. Já o tratamento combinado de aspersão
4 hidrotérmica + radiação UV-C, resultou em 0 e 17% de incidência de POB, em frutos
5 armazenados durante um e oito meses em AC, respectivamente. Em frutos inoculados após
6 um mês de armazenamento em AC, o tratamento com aspersão hidrotérmica + radiação UV-
7 C foi mais eficiente na redução da incidência da POB do que os tratamentos físicos testados
8 isoladamente.

9 Em maçãs 'Fuji' com infecção natural, armazenadas durante um e oito meses em AC,
10 os tratamentos físicos utilizados apresentaram resultados similares àqueles obtidos em frutos
11 inoculados (Tabela 1). Todavia, a incidência de POB em frutos com infecção natural foi
12 menor do que em frutos inoculados. Todos os tratamentos físicos testados (aspersão
13 hidrotérmica, radiação UV-C e aspersão hidrotérmica + radiação UV-C) reduziram
14 igualmente a incidência da POB (53% a 79% de redução em relação à testemunha,
15 dependendo do período de armazenamento em AC), apresentando incidência de 2,5% a
16 7,2% (Tabela 1).

17 Em maçãs 'Gala' armazenadas durante cinco meses em AC e inoculadas com *C.*
18 *perennans*, o número de unidades formadoras de colônias (UFC) recuperadas nos frutos,
19 bem como a incidência da POB nos mesmos, após a aplicação dos tratamentos hidrotérmico
20 e de radiação UV-C, foram significativamente menores em relação à testemunha (Tabela 2).
21 Ainda, os dois métodos físicos testados apresentaram mais de 87% e 69% de controle, em
22 relação à testemunha, no número de UFC e na incidência de POB nos frutos,
23 respectivamente.

24 Em maçãs 'Gala' com infecção natural de *C. perennans*, os tratamentos hidrotérmico
25 e de radiação UV-C reduziram igualmente a incidência da POB, sendo superior a 85% em
26 relação à testemunha (Tabela 3). A incidência de POB foi de 2,1% na testemunha, e de
27 0,3% e 0,2% após os tratamentos de aspersão hidrotérmica e radiação UV-C,
28 respectivamente.

29 A aspersão hidrotérmica teve como custo de implementação e de consumo diário de
30 energia R\$ 7.000,00 e R\$ 622,80, respectivamente; para o sistema de radiação, esses valores
31 foram de R\$ 6.700,00 e R\$ 18,00, respectivamente. Para os cálculos de benefício e retorno

1 econômico levou-se em consideração que os equipamentos de aspersão hidrotérmica e
2 radiação UV-C possuem uma vida média de 90 dias, cada equipamento é capaz de tratar
3 40.500 kg de maçãs em cada linha.dia⁻¹, o preço da energia por kW de R\$ 6,24 (RGE,
4 2011), e o preço do kg de maçã 'Fuji' R\$ 1,60 e R\$ 1,34 para 'Gala', conforme valores
5 médios obtidos no site de cotações agrícolas Agrolink (2009) para o período em que os
6 frutos foram tratados. O cálculo de viabilidade econômica para a cultivar Fuji foi realizado
7 com a perda média dos dois períodos avaliados (um e oito meses).

8 Os tratamentos com aspersão hidrotérmica e/ou radiação UV-C trouxeram vantagem
9 econômica para o controle da POB em maçãs 'Fuji' e 'Gala' (Tabela 4). O uso da radiação
10 UV-C, em ambas as cultivares, foi o tratamento que apresentou maior benefício e retorno
11 econômico. O benefício com os tratamentos de aspersão hidrotérmica e de radiação UV-C
12 em maçãs 'Fuji' foi de R\$ 4.700,00.dia⁻¹ e R\$ 5.845,00.dia⁻¹, enquanto que em maçãs 'Gala'
13 esses valores foram de R\$ 337,00.dia⁻¹ e R\$ 954,00.dia⁻¹, respectivamente. O retorno, que
14 significa R\$ de retorno por R\$ investido, em maçãs 'Fuji' com aspersão hidrotérmica e
15 radiação UV-C, foi de R\$ 7,70 e R\$ 64,00, enquanto que em maçãs 'Gala' esses valores
16 foram de R\$ 1,48 e R\$ 11,32, respectivamente. A associação dos tratamentos, aspersão
17 hidrotérmica + radiação UV-C, não trouxe maior benefício e retorno quando comparado ao
18 tratamento com radiação UV-C. Quando se compara estes parâmetros econômicos entre
19 cultivares, se observa uma maior viabilidade econômica do tratamento na 'Fuji' do que na
20 'Gala'. Esta diferença é justificada pela baixa incidência da POB na cultivar Gala.

21 O controle 'in vitro' de conídios de *C. perennans*, segundo Bartnicki et al. (2010), foi
22 possível com a temperatura de 50°C por 15 segundos. A redução da incidência da POB em
23 maçãs tratadas com aspersão hidrotérmica pode ser atribuída ao efeito letal da temperatura e
24 à remoção dos esporos através da aspersão (Lurie, 2006). Adicionalmente, o tratamento
25 térmico pode induzir mecanismos de defesa nas camadas mais externas do epicarpo, o que
26 inibe a infecção quiescente de patógenos nos frutos (Fallik, 2004). A indução de resistência
27 poderia ser confirmada se os frutos tivessem sido inoculados após os tratamentos físicos.
28 Porém, avaliou-se apenas a infecção natural de *C. perennans*, que corresponde ao patógeno
29 presente no fruto antes da colheita, mas que, devido aos mecanismos de defesa do vegetal,
30 não há manifestação de sintomas da doença (Valdebenito-Sanhueza, 2002). Assim, em pós-

1 colheita, quando diminuem os mecanismos de defesa dos frutos, associado às temperaturas
2 próximas de 20°C, o patógeno desenvolve a podridão (Borsani et al., 2009).

3 Perdas durante o armazenamento, causadas por *Botrytis cinerea*, *P. expansum* ou
4 *Gloeosporium* spp., foram reduzidas em maçãs inoculadas e tratadas com temperaturas mais
5 baixas que a usada neste trabalho, porém com maior período de exposição. A exposição de
6 maçãs a temperatura de 38°C, durante quatro dias, foi eficiente no controle de *P. expansum*
7 (Fallik, 2004). Os tratamentos por imersão hidrotérmica, nas temperaturas de 42°C a 48°C,
8 por cinco a 20 minutos (Edney & Burchill, 1967), ou a imersão a 53°C por três minutos, em
9 maçãs com infecção natural (Maxin et al., 2005), controlaram a POB. O período de aspersão
10 de 12 segundos a 50°C, testado neste trabalho, mostra maior viabilidade do ponto de vista
11 prático, em relação aos demais métodos de tratamento térmico citados na literatura, uma vez
12 que as maçãs devem ser classificadas e embaladas no menor período possível, para
13 aumentar o rendimento da empacotadora e diminuir a demanda de energia necessária para o
14 aquecimento e manutenção da temperatura desejada da água.

15 A redução de UFC de *C. perennans* da superfície de maçãs 'Gala' inoculadas e
16 tratadas com radiação UV-C pode ser atribuída ao efeito germicida da radiação. Conforme
17 Demirci & Panico (2008), este efeito ocorre pela destruição de estruturas do patógeno,
18 inibição da germinação ou retardo no desenvolvimento do fungo, pela desnaturação protéica
19 e desorganização da membrana plasmática. Em condições de manejo comercial,
20 Valdebenito-Sanhueza & Maia (2001) atribuíram o controle de *P. expansum*, em maçãs
21 'Fuji' com alta contaminação, ao efeito germicida da radiação UV-C, uma vez que ocorreu
22 redução de 90 a 100% dos propágulos presentes na superfície dos frutos.

23 Conforme Lu et al. (1993), a radiação UV-C não penetra no tecido dos frutos, e,
24 portanto não atinge infecções já estabelecidas. Alguns pesquisadores atribuem a redução de
25 doenças à indução de resistência ao patógeno que a radiação UV-C causa no hospedeiro
26 (Stevens et al., 1996 e 2005). Stevens et al. (2005) usaram a dose de radiação UV-C de 7,5
27 kJ m⁻², para a indução de resistência e redução de podridões em maçãs 'Golden Delicious'
28 inoculadas com *Colletotrichum gloeosporioides*. A radiação UV-C na dose de 2,4 kJ m⁻²
29 induziu a síntese da fitoalexina trans-resveratrol em maçãs 'Fuji', porém não foi eficiente no
30 controle da podridão causada por *P. expansum*, durante sete meses de armazenamento em
31 AC (Sautter et al., 2008).

1 Segundo Stevens et al. (1996), em maçãs 'Golden Delicious', a melhor dose de
2 radiação UV-C para redução de podridões pós-colheita causadas por *Monilinia* spp.,
3 *Alternaria* spp. e *C. gloeosporioides* foi de 7,5 kJ m⁻², sendo que as doses testadas variaram
4 de 0 a 40 kJ m⁻². Os mesmos autores observaram que o patógeno de mais difícil controle foi
5 *Alternaria* spp. Para a redução das infecções naturais causadas por *Penicillium digitatum*,
6 *Alternaria citri* e *Geotrichum candidum* em tangerinas, as doses mais efetivas de radiação
7 UV-C variaram de 0,84 a 3,6 kJ m⁻², sendo que a dose de 1,3 kJ m⁻² foi eficiente no controle
8 de *P. digitatum* (Stevens et al., 1996). O controle 'in vitro' de *C. perennans* foi obtido com a
9 dose de radiação UV-C de 0,750 kJ m⁻² e, 'in vivo', em maçãs 'Fuji', numa linha
10 experimental de seleção, com a dose de 0,375 kJ m⁻² (Bartnicki et al., 2010). Neste trabalho,
11 a radiação UV-C (0,0069 kJ m⁻²), em dose bem menor do que as citadas por outros autores,
12 reduziu o número de conídios de *C. perennans* presentes na superfície de maçãs 'Gala' e a
13 incidência da POB em maçãs 'Gala' e 'Fuji' (Tabelas 1, 2 e 3).

14 Os tratamentos com aspersão hidrotérmica e radiação UV-C estudados neste trabalho
15 apresentam como benefícios o curto período de exposição necessário para o controle do
16 patógeno, a existência de equipamentos de segurança acessíveis e o fato de não deixarem
17 resíduos na superfície dos frutos. Contudo, para assegurar o controle de POB em maçãs, a
18 radiação UV-C pode ser mais vantajosa às embaladoras do que o uso de aspersão
19 hidrotérmica, principalmente pelo menor investimento, maior eficiência econômica e maior
20 facilidade de implementação em escala comercial.

21 CONCLUSÕES

- 22 1. Em maçãs 'Fuji' armazenadas em condição de AC por um e oito meses, inoculadas ou
23 com infecção natural, o uso da aspersão hidrotérmica a 50°C durante 12 segundos e/ou
24 radiação UV-C na dose de 0,0069 kJ m⁻² reduz a incidência da podridão olho-de-boi.
- 25 2. Em maçãs 'Gala', com cinco meses de armazenamento em AC, a aspersão hidrotérmica
26 a 50°C durante 12 segundos ou a radiação UV-C na dose de 0,0069 kJ m⁻², reduz o
27 número de unidades formadoras de colônias e a incidência de podridões em frutos
28 inoculados com *C. perennans*, e reduz a incidência da podridão olho-de-boi em frutos
29 com infecção natural.
- 30 3. O uso da radiação UV-C, em ambas as cultivares, foi o tratamento que apresentou
31 maior benefício e retorno econômico.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e ao Projeto Inova Maçã, pelo apoio financeiro; às Empresas Rasip Agro Pastoril e Proterra Engenharia Agrônômica, pela infra-estrutura e recursos disponibilizados.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. **Cotações**. Disponível em: < <http://www.agrolink.com.br/>>. Acesso em: 20 de jan. 2011.
- BARTNICKI, V.A.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.; AMARANTE, C.V.T.; CASTRO, L.A.S.; RIZZATTI, M.R.; SOUZA, J.A.V. Água aquecida e radiação UV-C no controle pós-colheita de *Cryptosporiopsis perennans* em maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.124-131, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 50. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação de maçã**. 2002. 11p.
- BORSANI, J.; BUDDE, C.O.; PORRINI, L.; LAUXMANN, M.A.; LOMBARDO, V.A.; MURRAY, R.; ANDREO, C.S.; DRINCOVICH, M.F.; LARA, M.V. Carbon metabolism of peach fruit after harvest: changes in enzymes involved in organic acid and sugar level modifications. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.60, n.6, p.1823-1837, 2009.
- CHUN, H.H.; KIM, J.Y.; SONG, K.B. Inactivation of foodborne pathogens in ready-to-eat salad using UV-C irradiation. **Food Science and Biotechnology**, Seul, v.19, n.2, p.547-551, 2010.
- DEMIRCI, A; PANICO, L. Pulsed ultraviolet light. **Food Science and Technology International**, London, v.14, n.5, p.443-446, 2008.
- EDNEY, K.L.; BURCHILL, R.T. The use of heat to control the rotting of Cox's Orange Pippin apples by *Gloeosporium* spp. **Annals of Applied Biology**, Kent, v.59, n.3, p.389-400, 1967.
- FALLIK, E. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, n.1, p.125-134, 2004.
- JIN, P.; ZHENG, Y.; TANG, S.; RUI, H.; WANG, CY. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.52, n.1, p.24-29, 2009.

- 1 LI, X.; ZHENG, X.; YAN, S.; LI, S. Effects of salicylic acid (SA), ultraviolet radiation
2 (UV-B and UV-C) on trans-resveratrol inducement in the skin of harvested grape berries.
3 **Frontiers of Agriculture in China**, Pequim, v.2, n.1, p.77-81, 2008.
- 4 LU, J.Y.; LUKOMBO, S.M.; STEVENS, C.; KHAN, V.A.; WILSON, C.L.; PUSEY, P.L.;
5 CHAULTZ, E. Low dose UV and gamma radiation on storage rot and physicochemical
6 changes in peaches. **Journal of Food Quality**, Weinheim, v.16, n.4, p.301-309, 1993.
- 7 LURIE, S. The effect of high temperature treatment on quality of fruits and vegetables.
8 **Acta Horticulturae**, Leuven, n.712, p.165-173, 2006.
- 9 MAXIN, P.; KLOPP, K.; HUYSKENS-KEIL, S.; EBERT, G. Control of postharvest decay
10 in organic grown apples by hot water treatment. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.682,
11 p.2153-2158, 2005.
- 12 RGE – Rio Grande Energia. **Tarifas**. Disponível em: <<http://www.rge-rs.com.br>>. Acesso
13 em: 01 de nov. 2010.
- 14 SADIQ, R.; RODRIGUEZ, M.J. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and
15 predictive models for their occurrence: a review. **Science of the Total Environment**, v.321,
16 n.1/2, p.21-46, 2004.
- 17 SAMS, C.E.; CONWAY, W.S.; ABBOTT, J.A.; LEWIS, R.J.; BEN-SHALOM, N.
18 Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat
19 treatment. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v.118, n.5, p.
20 623-627, 1993.
- 21 SAS INSTITUTE. **Getting started with the SAS learning edition**. Cary: SAS, 2002. 200p.
- 22 SAUTTER, C.K.; STORCK, L.; RIZZATTI, M.R.; MALLMANN, C.A.; BRACKMANN,
23 A. Síntese de trans-resveratrol e controle de podridão em maçãs com uso de elicitores em
24 pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1097-1103, 2008.
- 25 SOMMERS, C.H.; SITES, J.E.; MUSGROVE, M. Ultraviolet light (254 nm) inactivation of
26 pathogens on foods and stainless steel surfaces. **Journal of Food Safety**, Hoboken, v.30,
27 n.2, p.470-479, 2010.
- 28 SPOLTI, P.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.; DEL PONTE, E.M. Meio semiseletivo
29 para recuperação e quantificação de *Cryptosporiopsis perennans* em maçãs. **Ciência Rural**,
30 Santa Maria, v.40, n.3, p.661-665, 2010.

- 1 STEVENS, C.; WILSON, C.L.; LU, J.Y.; KHAN, V.A.; CHALUTZ, E.; DROBY, S.;
2 KABWE, M.K.; HAUNG, Z.; ADEYEYE, O.; PUSEY, L.P.; WISNIEWSKY, M.E.;
3 WEST, M. Plant hormesis induced by ultraviolet light C for controlling postharvest diseases
4 of tree fruits. **Crop Protection**, Ames, v.15, n.2, p.129-134, 1996.
- 5 STEVENS, C.; KHAN, V.A.; WILSON, C.L. The effect of fruit orientation of postharvest
6 commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to
7 decay. **Crop Protection**, Ames, v.24, n.8, p.756-759, 2005.
- 8 VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.; MAIA, L. **Utilização da luz ultravioleta (UV-C)**
9 **na proteção de maçãs 'Fuji' da podridão por *Penicillium expansum***. Bento Gonçalves:
10 Embrapa Uva e Vinho, 2001. 20p. (Embrapa Uva e Vinho. Boletim de Pesquisa e
11 Desenvolvimento, 10).
- 12 VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M. Ocorrência de *Cryptosporiopsis perennans* em
13 macieiras 'Fuji' no Sul do Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.28, n.2, p.204-
14 206, 2002.
- 15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31

Tabela 1 - Incidência (%) e controle (% em relação ao testemunha) da podridão olho-de-boi em maçãs 'Fuji', após um e oito meses de armazenamento sob AC (1,5 kPa de O₂ + 0,5 kPa de CO₂) a 0,5°C e 95% UR, inoculadas ou com infecção natural de *C. perennans*, submetidas a tratamentos com aspersão hidrotérmica e radiação UV-C em linha comercial de seleção.

Tratamento	Um mês em AC		Oito meses em AC	
	Incidência (%)	Controle (%)	Incidência (%)	Controle (%)
Frutos inoculados				
Testemunha	66,66a	-	51,42a	-
50°C-12 s	12,49b	81,26	17,14b	66,66
UV-C ⁽¹⁾	12,49b	81,26	22,85b	55,56
50°C-12 s + UV-C ⁽¹⁾	0,00c	100,00	17,14b	66,66
CV (%)	27,64	-	28,35	-
Frutos com infecção natural				
Testemunha	15,55a	-	11,66a	-
50°C-12 s	7,21b	53,63	3,33b	71,44
UV-C ⁽¹⁾	5,55b	64,30	3,33b	71,44
50°C-12 s + UV-C ⁽¹⁾	5,55b	64,30	2,49b	78,64
CV (%)	24,97	-	27,84	-

⁽¹⁾ Dose de radiação UV-C = 0,0069 kJ m⁻².

Dados seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 2 - Estimativa do número de unidades formadoras de colônias (UFC) por fruto e nível de controle (% em relação ao testemunha), e incidência (%) e controle (% em relação ao testemunha) da podridão olho-de-boi (POB) em maçãs 'Gala' armazenadas por cinco meses em AC (2,0 kPa de O₂ + 1,5 kPa de CO₂) a 0,5°C e 95% UR, inoculadas com *C. perennans* e submetidas a tratamentos com aspersão hidrotérmica e radiação UV-C em linha comercial de seleção.

Tratamento	UFC		POB	
	UFC fruto ⁻¹ ⁽¹⁾	Controle (%)	Incidência (%)	Controle (%)
Testemunha	12.775,00a	-	59,51a	-
50°C - 12 s	1.632,00b	87,22	17,50b	70,59
UV-C ⁽²⁾	0,00c	100,00	18,37b	69,13
CV (%)	34,79	-	14,67	-

⁽¹⁾ UFC fruto⁻¹ = ((N° de UFC/placa)*2000)/N° de frutos).

⁽²⁾ Dose de radiação UV-C = 0,0069 kJ m⁻².

Dados seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05%).

Tabela 3 - Incidência (%) e controle (% em relação ao testemunha) da podridão olho-de-boi (POB) em maçãs 'Gala', após cinco meses de armazenamento em AC (2,0 kPa de O₂ + 1,5 kPa de CO₂) a 0,5°C e 95% UR, com infecção natural, submetidas a tratamentos físicos em linha comercial de seleção.

Tratamento	POB	
	Incidência (%)	Controle (%)
Testemunha	2,09a	-
50°C - 12 s	0,31b	85,16
UV-C ⁽¹⁾	0,16b	92,34
CV (%)	12,58	-

⁽¹⁾ Dose de radiação UV-C = 0,0069 kJ m⁻².

Dados seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05%).

Tabela 4 - Análise econômica do uso de aspersão hidrotérmica e de radiação UV-C em pós-colheita, para o controle da podridão olho-de-boi em maçãs 'Fuji' e 'Gala', tratadas após o armazenamento.

Tratamento	Benefício (R\$ dia ⁻¹) ^X		Retorno (R\$ _{retorno} /R\$ _{investido}) ^Y	
	'Fuji' ⁽¹⁾	'Gala' ⁽²⁾	'Fuji' ⁽¹⁾	'Gala' ⁽²⁾
50°C-12 s	4.700,00	337,00	7,70	1,48
UV-C ⁽³⁾	5.845,00	954,00	64,00	11,32
50°C-12 s + UV-C ⁽³⁾	5.416,00	-	7,80	-

^X Valor determinado pela diferença nas perdas entre o testemunha e as perdas nos tratamentos físicos, levando em consideração o custo destes. ^Y Valor determinado pelo quociente entre o valor investido (custo do sistema + custo de aplicação) e o benefício. ⁽¹⁾ Média de maçãs armazenadas durante um e oito meses sob AC. ⁽²⁾ Em maçãs armazenadas por cinco meses sob AC. ⁽³⁾ Dose de radiação UV-C = 0,0069 kJ m⁻².