

# Efeito do estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> combinado com 1-metilciclopropeno na conservação de maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas com ultrabaixo O<sub>2</sub>

## Effect of initial low oxygen stress combined with 1-methylcyclopropene in ‘Royal Gala’ apple quality stored under ultralow O<sub>2</sub>

Auri Brackmann<sup>1\*</sup>; Rogério Oliveira Anese<sup>2</sup>; Anderson Weber<sup>3</sup>; Vanderlei Both<sup>3</sup>; Adriano Roque de Gasperin<sup>2</sup>; Elizandra Pivotto Pavanello<sup>3</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a realização de estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e sua interação com 1-metilciclopropeno (1-MCP) durante o armazenamento com pressões parciais ultrabaixas de O<sub>2</sub> (ULO) na conservação de maçãs ‘Royal Gala’. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, organizado em bifatorial. Os frutos foram submetidos a um estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> por um período de 14 dias cada, com pressão parcial de 0,4 kPa de O<sub>2</sub>. Os tratamentos avaliados foram: [1] 1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub> (padrão); [2] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (sem estresse); [3] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (um estresse); [4] 0,8 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (um estresse), [5] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (dois estresses); [6] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (três estresses). Os frutos permaneceram na temperatura de 0,5 °C (±0,1) com 97% (±2,0) de umidade relativa. Após sete meses de armazenamento mais sete dias de exposição a 20 °C, foram analisadas as seguintes variáveis: degenerescência, polpa farinácea, rachadura, frutos sadios, firmeza de polpa, podridões, produção de etileno, atividade da ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) oxidase e respiração. O estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e o armazenamento em ULO não reduziram a incidência de degenerescência, polpa farinácea e rachadura. O estresse inicial associado ao armazenamento em níveis ultrabaixos de O<sub>2</sub>, com ou sem aplicação de 1-MCP, não é eficiente na manutenção da qualidade e redução de distúrbios fisiológicos durante o armazenamento de maçã ‘Royal Gala’ colhida com ponto de maturação avançado, além de causar maior porcentagem de podridões.

**Palavras-chave:** *Malus domestica* Borkh., atmosfera controlada, distúrbios fisiológicos, ultrabaixo oxigênio

### Abstract

The aim of this study was evaluated initial low oxygen stress (ILOS) and the interaction with 1-methylcyclopropene (1-MCP) during ultralow oxygen (ULO) storage in maintenance of ‘Royal Gala’ apple quality. The experiment was conducted in a completely randomized design, with two-factor. Each ILOS was applied for 14 days with 0.4 kPa O<sub>2</sub>. The treatments evaluated were: [1] 1.2 kPa O<sub>2</sub> + 2.0

<sup>1</sup> Prof. Dr. do Deptº de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: auribrackmann@gmail.com

<sup>2</sup> Discente(s) de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: rogerio\_anese@yahoo.com.br; adrianogasperin@gmail.com

<sup>3</sup> Discente(s) de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: anweba@gmail.com; vanderleiboth@yahoo.com.br; elizandra\_pavanello@yahoo.com.br

\* Autor para correspondência

kPa CO<sub>2</sub> (control); [2] 0.6 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> (without stress); [3] 0.6 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> (one stress); [4] 0.8 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> (one stress); [5] 0.6 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> (two stresses); [6] 0.6 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> (three stresses). The fruits were kept at 0.5 °C (±0.1) and relative humidity of 97% (±2.0). After seven months of storage plus seven days of self-life at 20 °C, the following variables were assessed: internal breakdown, mealiness, crack, healthy fruits, flesh firmness, decay, ethylene production, ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) oxidase activity and respiration. ILOS and ULO do not decrease internal breakdown, mealiness and crack. ILOS associated to ULO, with or without 1-MCP, is not efficient in maintaining quality and reduce physiological disorders during 'Royal Gala' apple storage harvested at advanced maturity stage, besides induce more decay.

**Key words:** *Malus domestica* Borkh., controlled atmosphere, physiological disorders, ultralow oxygen

## Introdução

O armazenamento em atmosfera controlada (AC) é amplamente utilizado no armazenamento de maçãs. Este sistema, além da redução da temperatura, combina redução do O<sub>2</sub> e aumento do CO<sub>2</sub>, a fim de reduzir o metabolismo e prolongar a vida pós-colheita dos frutos (CERETTA et al., 2010). Entretanto, durante o armazenamento ocorrem perdas devido à incidência de distúrbios fisiológicos e, principalmente, por podridões, as quais estão estimadas na ordem de 35% do volume total armazenado sob refrigeração e em AC (ANTONIOLLI et al., 2011). Para reduzir tais perdas, são utilizadas técnicas auxiliares a AC, como a aplicação do composto químico 1-metilciclopropeno (1-MCP) (BRACKMANN et al., 2010). Recentemente, tem-se investigado técnicas como estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e armazenamento em ultrabaixo oxigênio (ULO – *ultra low oxygen*) como forma de manter a qualidade e reduzir a aplicação de produtos químicos em pós-colheita (SABBAN-AMIN et al., 2011; WEBER et al., 2011; BRACKMANN et al., 2012).

No armazenamento em ULO, são utilizadas pressões parciais de O<sub>2</sub> menores do que 1 kPa durante o armazenamento em AC (BRACKMANN et al., 2005). Nesta técnica, de acordo com trabalho de Brackmann, Mazaro e Lunardi (1998), houve melhor manutenção das qualidades físicas e químicas de maçãs 'Golden Delicious' após longo período de armazenamento. Zanella (2003) encontrou menor incidência de degenerescência

de miolo, maior retenção da firmeza de polpa, além de total ausência de escaldadura em maçãs 'Granny Smith' armazenadas em ULO. Para maçã 'Gala', a melhor condição de armazenamento ocorreu com pressões de O<sub>2</sub> entre 0,75 e 1,0 kPa (BRACKMANN; MAZARO; LUNARDI, 2000). Entretanto, Ceretta et al. (2010) reportaram que esta cultivar, quando submetida a níveis de 0,8 kPa de O<sub>2</sub> ou inferiores, apresentou mais rachadura na epiderme, degenerescência interna e podridões comparado a frutos armazenados com 1,0 kPa de O<sub>2</sub> durante oito meses.

O 1-MCP é um composto volátil que se liga de forma irreversível aos receptores de etileno no fruto, impedindo, desta forma, a ligação do fitohormônio ao receptor e, conseqüentemente, sua ação nos processos de maturação e amadurecimento (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; WATKINS, 2006). Apesar de ser um produto de alto custo, o 1-MCP é amplamente utilizado por empresas armazenadoras de frutos. Sua eficiência foi comprovada para maçã (ARGENTA; FAN; MATTHEIS, 2007; BRACKMANN et al., 2009), ameixa (ALVES et al., 2009), abacate (KLUGE et al., 2002), pêssego (GIRARDI et al., 2003) e outros. A eficiência do 1-MCP no atraso do amadurecimento de maçãs depende de fatores como cultivar, condições edafoclimáticas e de cultivo, do ponto de colheita, das condições de armazenamento (WATKINS, 2006), entre outros. A respeito de ULO combinado com 1-MCP, DeEll et al. (2005) sugerem que sejam realizados mais estudos para comprovação desta técnica.

O estresse inicial consiste na exposição dos frutos a uma atmosfera contendo pressão de O<sub>2</sub> ≤ 0,5 kPa no início do período de armazenamento (EKMAN; GOLDING; McGLASSON, 2005). A baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> induz o metabolismo fermentativo, que produz acetaldeído e etanol (SAQUET; STREIF, 2008). Apesar de serem maléficis ao metabolismo da célula, estes compostos em pequenas concentrações reduzem a síntese de etileno (PESIS, 2005; ASODA et al., 2009). O benefício do estresse inicial no armazenamento de maçãs foi comprovado, principalmente, para o controle da escaldadura (ZANELLA, 2003; PESIS et al., 2007, 2010). Em maçãs 'Granny Smith', durante o armazenamento refrigerado (AR) a 0 °C por seis meses, além de reduzir a escaldadura, o baixo O<sub>2</sub> inicial proporcionou manutenção da firmeza da polpa e da cor verde dos frutos, com a mesma eficiência do 1-MCP (SABBAN-AMIN et al., 2011). Em outro trabalho com esta cultivar, foi observada manutenção da firmeza de polpa, da coloração e do conteúdo de açúcar, e menor incidência de *bitter pit* com aplicação desta técnica e posterior armazenamento refrigerado (PESIS et al., 2010). Apesar de Brackmann et al. (2012) reportarem que a aplicação de estresse inicial em maçãs 'Fuji' prejudicou a conservação dos frutos, para as demais cultivares produzidas no Brasil, as informações sobre a aplicação desta técnica e posterior armazenamento em AC com ULO, são escassas.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e sua interação com 1-MCP na conservação de maçãs 'Royal Gala' armazenadas com pressões parciais ultra baixas de O<sub>2</sub>.

## Material e Métodos

Os frutos foram colhidos no auge do período de colheita comercial, já com ponto de maturação mais avançado, quando os frutos atingiram coloração vermelho intenso. A colheita foi feita em um pomar

comercial localizado em Vacaria, Rio Grande do Sul, Brasil, na safra 2009/10. Antes do armazenamento, foi realizada uma seleção, sendo eliminados os frutos com lesões ou defeitos. Em seguida, as amostras experimentais foram homogeneizadas quanto ao calibre e coloração, de forma que cada amostra apresentasse frutos com mesma característica. A caracterização inicial de maturação dos frutos foi realizada antes do armazenamento utilizando-se três repetições, sendo cada uma composta por 20 frutos.

Os frutos foram armazenados em minicâmaras experimentais de AC, com volume de 0,23 m<sup>3</sup>, e acondicionadas no interior de uma câmara frigorífica, com volume de 45 m<sup>3</sup>, e mantidas na temperatura de 0,5 °C (±0,1). A temperatura da câmara foi regulada por meio de termostato eletrônico e acompanhada, diariamente, por meio de termômetros com bulbo de mercúrio inseridos na polpa de frutos. A umidade relativa permaneceu em torno de 97% (±2,0) durante o armazenamento. Depois do fechamento das minicâmaras, foi realizada a instalação das atmosferas, por meio da injeção de nitrogênio (N<sub>2</sub>) para obter os níveis experimentais de pressão parcial de O<sub>2</sub> e de CO<sub>2</sub>.

O estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> foi realizado pelo período de 14 dias, com pressão parcial de 0,4 kPa de O<sub>2</sub>, e foi combinado com os demais níveis experimentais de pressão parcial de gases da seguinte forma: [1] 1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub> (padrão); [2] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (sem estresse); [3] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (um estresse); [4] 0,8 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (um estresse), [5] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (dois estresses); [6] 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> (três estresses). Os frutos de todos os tratamentos receberam aplicação de 1-metilciclopropeno (1-MCP), na dose de 0,625 µL L<sup>-1</sup>, sendo que, um segundo lote com os mesmos tratamentos foi armazenado sem a aplicação de 1-MCP. O delineamento inteiramente casualizado foi utilizado, organizado em bifatorial (AC x 1-MCP), com quatro repetições, sendo as unidades experimentais compostas por 25 frutos.

Para a manutenção constante dos níveis de  $O_2$  e  $CO_2$ , estes foram monitorados e corrigidos diariamente. O monitoramento foi feito com um analisador de gases Schelle®. O  $O_2$  consumido pela respiração foi reposto por meio da injeção de ar nas minicâmaras. O  $CO_2$  em excesso foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio (40%). O 1-MCP (Smart Fresh®) foi aplicado nos frutos previamente acondicionados em minicâmara experimental, hermeticamente fechada, durante 24 horas, na temperatura de  $0,5\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,1$ ).

As análises laboratoriais foram realizadas aos sete meses de armazenamento mais sete dias de exposição a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , simulando o período de comercialização, exceto os parâmetros produção de etileno e respiração, que foram feitas aos seis dias a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . As variáveis analisadas foram:

a) Degenerescência: obtida pela contagem de frutos que apresentavam sinais de escurecimento interno, sendo os valores expressos em porcentagem;

b) Polpa farinácea: determinada pela quantificação dos frutos que apresentaram sintomas do distúrbio (polpa seca, sem suculência, aspecto farináceo). Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos com o distúrbio;

c) Rachadura: obtido pela contagem dos frutos que apresentavam rachadura na epiderme, expressos em porcentagem;

d) Frutos sadios: pela contagem de frutos em condições ideais para serem comercializados (ausência de podridões e/ou distúrbios internos ou externos), sendo expresso em porcentagem;

e) Firmeza de polpa: após a retirada de parte da epiderme, os frutos foram avaliados em lados opostos, na região equatorial, com um penetrômetro manual (Effegi), com ponteira de 11 mm, com resultados expressos em Newton (N);

f) Podridões: avaliada através da contagem de frutos que apresentavam podridões, sendo expressos em porcentagem;

g) Produção de etileno: aproximadamente 1200 g de frutos foram colocados em recipientes herméticos de 5000 mL e ficaram armazenados assim por aproximadamente uma hora. Depois, 1,0 mL da atmosfera interna de cada recipiente foi amostrado e, imediatamente, injetado em duplicata, em cromatógrafo a gás (Varian, Star CX 3400, Palo Alto, EUA) equipado com detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. As temperaturas da coluna, do injetor e do detector foram de 90, 140 e  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. O etileno foi expresso em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\text{ kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ ;

h) Atividade da ACC oxidase: foi determinada de acordo com Bufler (1986). Amostras de 3,0 g de epiderme da região equatorial dos frutos de cada unidade experimental foram imediatamente incubadas numa solução contendo  $0,1\text{ mMol L}^{-1}$  de ACC em  $10\text{ mMol L}^{-1}$  do tampão MES (ácido 2 (N-morfolino) etanossulfônico) em pH 6,0. Após 30 minutos, as amostras foram acondicionadas em seringas herméticas de 50 mL, nas quais foram adicionados 2% de  $CO_2$ . Depois de 30 minutos, a concentração de etileno presente nas seringas foi determinada, e os dados foram expressos em  $n\text{L C}_2\text{H}_4\text{ g}^{-1}\text{ h}^{-1}$ ;

i) Respiração: na mesma atmosfera do recipiente onde foi determinado o etileno, a taxa respiratória foi determinada pela quantificação da produção de  $CO_2$ , através de um analisador eletrônico (Agri-datalog). Os resultados foram expressos em  $\text{mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ ;

Os dados obtidos para cada variável avaliada foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a  $p < 0,05$ . As variáveis expressas em porcentagem foram transformadas em  $\text{arc.sen}\sqrt{x/100}$ , antes da análise de variância.

## Resultados e Discussão

Na caracterização da maturação inicial dos frutos, os resultados mostraram que os mesmos

apresentavam índice iodo-amido de 8,5 (escala 1 – 10), firmeza da polpa de 68,6 N, atividade da enzima ACC oxidase de 67,8 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, produção de etileno de 0,41 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, taxa respiratória de 9,78 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, acidez titulável de 4,17 meq 100mL<sup>-1</sup> e 10,7 °Brix de sólidos solúveis totais.

A produção de etileno foi menor nos frutos armazenados com estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e em ULO, tanto nos frutos com ou sem 1-MCP (Tabela 1). Este resultado está relacionado com a menor atividade da ACC oxidase nos frutos destes tratamentos, já que esta enzima catalisa

a oxidação de ACC em etileno (LIEBERMAN, 1979). Possivelmente houve efeito dos produtos da fermentação (etanol e acetaldeído) na inibição das enzimas ACC sintase e oxidase, as quais estão envolvidas na rota de biossíntese do etileno (PESIS, 2005; ASODA et al., 2009). Os frutos sem 1-MCP produziram mais etileno em todas as condições de armazenamento, o que está relacionado à maior atividade da ACC oxidase ocorrida na média dos tratamentos sem 1-MCP. Dong et al. (2001) reportaram que o 1-MCP reduziu a síntese autocatalítica de etileno pela supressão de genes da ACC oxidase.

**Tabela 1.** Produção de etileno, ACC oxidase e respiração da maçã 'Royal Gala' submetida a estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e 1-MCP, durante armazenamento em AC com ultrabaixo oxigênio por sete meses mais seis dias de exposição a 20 °C.

Tratamentos		Produção de Etileno (μL C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )		ACC oxidase (ηL C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )			Respiração (mL CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	
Nº de estresses	O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	1-MCP (μL L <sup>-1</sup> )		1-MCP (μL L <sup>-1</sup> )		Média	1-MCP (μL L <sup>-1</sup> )	
		0	0,625	0	0,625		0	0,625
0	1,2 + 2,0	1,62 aA*	0,11 aB	36,2	23,2	29,7 a	7,47 aA*	4,49 cB
0	0,6 + 1,0	0,07 cA	0,00 bB	15,7	6,7	11,2 b	4,58 cA	5,14 bcA
1	0,6 + 1,0	0,11 cA	0,00 bB	19,3	10,1	14,7 b	4,92 bcA	5,59 abA
1	0,8 + 1,0	0,26 bA	0,00 bB	17,4	13,6	15,5 b	5,55 bcB	6,52 aA
2	0,6 + 1,0	0,08 cA	0,01 abB	14,1	11,4	12,7 b	5,70 bA	5,53 abcA
3	0,6 + 1,0	0,16 bcA	0,00 bB	15,9	5,3	10,6 b	5,96 bA	6,12 abA
Média		-	-	19,8 A	11,7 B		-	-
CV (%)		24,00		24,32			8,79	

\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (condições de atmosfera controlada) e maiúscula na horizontal (zero e 0,625 μL L<sup>-1</sup> de 1-MCP) diferem pelo teste de Tukey a p < 0,05.

Fonte: Elaboração dos autores.

Entre as condições sem realização de estresse inicial por baixo O<sub>2</sub>, se observa que o armazenamento em ULO reduziu a respiração dos frutos sem 1-MCP (Tabela 1), possivelmente devido à baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> ter reduzido a atividade da citocromo oxidase na cadeia de transporte de elétrons (GUPTA; ZABALZA; VAN DONGEN, 2009). Entretanto, a realização de estresse inicial em ULO não foi eficiente em reduzir a respiração dos frutos, tanto com ou sem 1-MCP. Sendo que, nas condições com

0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> com dois ou três estresses sem 1-MCP e na condição com 0,8 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> com um estresse inicial a respiração foi maior do que a condição sem estresse inicial em ULO. Os frutos com 1-MCP apresentaram menor respiração na condição padrão (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>), todavia, não diferiu das condições com 0,6 kPa O<sub>2</sub> sem e com dois períodos de estresse. Novamente, se evidencia efeito benéfico do 1-MCP apenas em pressões parciais mais elevadas de O<sub>2</sub> (1,2kPa).

O estresse inicial por baixo  $O_2$ , bem como 1-MCP durante o armazenamento em ultrabaixo  $O_2$ , não influenciaram a incidência de degenerescência (Tabela 2). Esse é um dos principais distúrbios que ocorrem em pós-colheita de maçãs, sendo de difícil detecção, pois se manifesta na forma de escurecimento da polpa e não pode ser visualizado externamente no fruto. Da mesma forma, o estresse inicial por baixo  $O_2$  e a aplicação de 1-MCP também não foram eficientes na redução da incidência de polpa farinácea e rachadura e, conseqüentemente, não mantiveram maior porcentagem de frutos sadios (Tabelas 2 e 3). Quanto à resposta ao 1-MCP, é conhecido que varia em função de uma série de fatores (WATKINS, 2006). Desta forma, para maçã ‘Royal Gala’ colhida em ponto de maturação avançado, evidenciado pelo índice iodo-amido de 8,5 e firmeza

da polpa de 68,6 N, o 1-MCP não foi eficiente em reduzir estes distúrbios. Resultado semelhante foi reportado por Brackmann et al. (2010). Segundo Girardi e Bender (2003) a colheita com ponto de maturação comercial ideal para maçãs mutantes da ‘Gala’ deve ser realizada com índice iodo-amido em torno de 4 a 6 (escala 1 a 10) e firmeza da polpa de 75 a 85 N. Apesar dos benefícios do estresse inicial por baixo  $O_2$  no armazenamento refrigerado (PESIS et al., 2010; SABBAN-AMIN et al., 2011) e em AC (ZANELLA, 2003) de outras cultivares de maçãs, constatou-se pelo presente trabalho que na cultivar Royal Gala, colhida tardiamente, o estresse inicial antes do armazenamento em ULO não foi eficiente para reduzir degenerescência, polpa farinácea e rachaduras.

**Tabela 2.** Degenerescência e polpa farinácea da maçã ‘Royal Gala’ submetida a estresse inicial por baixo  $O_2$  e 1-MCP, durante armazenamento em AC com ultrabaixo oxigênio por sete meses mais sete dias de exposição a 20 °C.

Tratamentos		Degenerescência (%)		Polpa farinácea (%)	
Nº de estresses	$O_2 + CO_2$ (kPa)	1-MCP ( $\mu L L^{-1}$ )		1-MCP ( $\mu L L^{-1}$ )	
		0	0,625	0	0,625
0	1,2 + 2,0	22,8 <sup>ns</sup>	26,5	25,1 <sup>ns</sup>	28,2
0	0,6 + 1,0	19,3	13,5	20,6	17,7
1	0,6 + 1,0	22,4	14,2	27,4	16,4
1	0,8 + 1,0	25,5	20,3	26,3	20,3
2	0,6 + 1,0	15,6	12,4	16,8	20,7
3	0,6 + 1,0	22,2	23,0	28,3	34,0
CV (%)		25,48		25,71	

<sup>ns</sup> Não significativo a  $p < 0,05$ .

**Fonte:** Elaboração dos autores.

**Tabela 3.** Rachaduras e frutos sadios da maçã 'Royal Gala' submetida a estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e 1-MCP, durante armazenamento em AC com ultrabaixo oxigênio por sete meses mais sete dias de exposição a 20 °C.

Tratamentos		Rachaduras (%)		Frutos sadios (%)	
N° de estresses	O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	1-MCP (μL L <sup>-1</sup> )		1-MCP (μL L <sup>-1</sup> )	
		0	0,625	0	0,625
0	1,2 + 2,0	4,45 <sup>ns</sup>	1,25	59,0 <sup>ns</sup>	62,3
0	0,6 + 1,0	1,00	2,27	63,1	67,9
1	0,6 + 1,0	0,00	0,00	67,5	67,3
1	0,8 + 1,0	0,00	1,00	56,0	70,7
2	0,6 + 1,0	0,00	0,00	70,7	66,8
3	0,6 + 1,0	1,00	3,00	60,5	52,0
CV (%)		57,97		11,69	

<sup>ns</sup> Não significativo a  $p < 0,05$ .

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Comparando a aplicação ou não de 1-MCP nos tratamentos com AC padrão (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) e 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> sem estresse inicial se observa que, apesar da maturação avançada dos frutos, o 1-MCP manteve maior firmeza. Contrariamente, Brackmann et al. (2010) não observaram eficiência do 1-MCP na manutenção da firmeza em maçãs 'Royal Gala' colhida tardiamente e armazenadas com 1,2 kPa O<sub>2</sub> mais 2,5 kPa CO<sub>2</sub>. Nas condições sem estresse inicial, o armazenamento em ULO manteve a firmeza da polpa tanto nos tratamentos com e sem 1-MCP comparado à condição padrão (Tabela 4). Possivelmente, a atividade das enzimas que degradam os componentes da parede celular, como poligalacturonases e pectinametilesterase

(PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), foi reduzida pela menor produção de etileno apresentado pelos frutos destes tratamentos (Tabela 1). Já nas condições com estresse inicial, os frutos armazenados em ULO, não apresentaram diferença de firmeza de polpa da condição sem estresse inicial, tanto com ou sem 1-MCP. Provavelmente o efeito do armazenamento em ULO com 0,6 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> foi suficiente para manter a firmeza da polpa. Nas condições com estresse inicial em ULO não houve efeito do 1-MCP na manutenção da firmeza da polpa, independente do número de estresses, sendo que a firmeza destas frutas permaneceu muito semelhante à firmeza observada antes do armazenamento das maçãs.

**Tabela 4.** Firmeza da polpa e podridões da maçã ‘Royal Gala’ submetida a estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> e 1-MCP, durante armazenamento em AC com ultrabaixo oxigênio por sete meses mais sete dias de exposição a 20 °C.

Tratamentos		Firmeza de polpa (N)		Podridões (%)	
Nº de estresses	O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	1-MCP (µL L <sup>-1</sup> )		1-MCP (µL L <sup>-1</sup> )	
		0	0,625	0	0,625
0	1,2 + 2,0	60,1 bB*	65,2 bA	8,4 bA	10,8 cA
0	0,6 + 1,0	65,9 aB	71,5 aA	20,4 abA	30,2 abA
1	0,6 + 1,0	71,0 aA	70,4 aA	23,3 abA	23,7 abcA
1	0,8 + 1,0	68,4 aA	71,3 aA	30,1 aA	12,1 bcB
2	0,6 + 1,0	70,6 aA	72,3 aA	24,0 abA	25,1 abcA
3	0,6 + 1,0	66,9 aA	67,7 abA	22,3 abA	32,0 aA
CV (%)		4,51		23,59	

\* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (condições de atmosfera controlada) e maiúscula na horizontal (zero e 0,625 µL L<sup>-1</sup> de 1-MCP) diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

No que diz respeito às podridões, o 1-MCP reduziu a incidência somente na condição com 0,8 kPa de O<sub>2</sub> com aplicação de um estresse por baixo O<sub>2</sub> (Tabela 4). Independente do número de estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> antes do armazenamento em ULO, de maneira geral, houve aumento na incidência de podridões, tanto nos frutos com ou sem 1-MCP. Contudo, diferença significativa da condição padrão (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) ocorreu somente em 0,8 kPa O<sub>2</sub> com um período de estresse, para aqueles frutos que não receberam aplicação de 1-MCP. Para as condições com 1-MCP, os frutos armazenados em 0,6 kPa O<sub>2</sub> sem estresse ou com três períodos de estresse diferiram da condição de AC padrão, apresentando maior ocorrência de podridões. Geralmente, a redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> resulta em menor ocorrência de podridões pelo efeito fungistático do baixo O<sub>2</sub> (NEUWALD, 2004). Entretanto, pelo fato das condições ultrabaixas de O<sub>2</sub> associadas ao estresse inicial, provavelmente, terem induzido a respiração anaeróbica, é possível que o acúmulo de produtos da fermentação tenha proporcionado algum dano às células, facilitando o ataque de fungos (KADER, 2002). Ceretta et al. (2010) e Weber et al. (2011) também encontraram maior porcentagem de podridões quando utilizaram nível de O<sub>2</sub> abaixo de 0,8 kPa.

## Conclusão

O estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> associado ao armazenamento em níveis ultrabaixos de O<sub>2</sub>, com ou sem aplicação de 1-MCP, não é eficiente na manutenção da qualidade e redução de distúrbios fisiológicos durante o armazenamento de maçã ‘Royal Gala’ colhida com ponto de maturação avançado, além de causar maior porcentagem de podridões.

## Referências

- ALVES, E. O.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; 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*, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 30-36, 2009.
- ANTONIOLLI, L. R.; NACHTIGALL, G. R.; FIALHO, F. B.; SANTOS, H. P.; NAVA, G.; DECHEN, A. R. Qualidade de maçãs baseada nas condições nutricionais e meteorológica. In: NACHTIGALL, G. R.; GONÇALVES, B. (Ed.). *Inovações tecnológicas para o setor da maçã – Inovamaçã: relatório técnico*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. p. 275-310.
- ARGENTA, L. C.; FAN, X.; MATTHEIS, J. P. Responses of ‘Golden Delicious’ apple to 1-MCP applied in air or water. *HortScience*, Alexandria, v. 42, n. 7, p. 1651-1655, 2007.



- ASODA, T.; TERAI, H.; KATO, M.; SUZUKI, Y. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 52, n. 2, p. 216-220, 2009.
- BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 1-25, 2003.
- BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; PINTO, J. A. V.; BOTH, V.; VENTURINI, T. L.; SCHORR, M. R. W. Aplicação de 1-metilciclopropeno e absorção de etileno em maçã da cultivar 'Royal Gala' colhida tardiamente. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2074-2080, 2010.
- BRACKMANN, A.; BOTH, V.; PINTO, J. A. V.; WEBER, A.; PAVANELLO, E. P. Absorção de 1-metilciclopropeno aplicado em maçãs 'Royal Gala' armazenadas em atmosfera refrigerada juntamente com madeira. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1676-1681, 2009.
- BRACKMANN, A.; GASPERIN, A. R.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. P.; SCHORR, M. R. W.; ANESE, R. O. Aplicação de 1-metilciclopropeno, estresse inicial com baixo oxigênio e armazenamento em ultrabaixo oxigênio na qualidade de maçã 'Fuji'. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1386-1391, 2012.
- BRACKMANN, A.; GIEHL, R. F. H.; SESTARI, I.; STEFFENS, C. A. Condições de atmosfera controlada, temperatura e umidade relativa no armazenamento de maçãs 'Fuji'. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 4, p. 803-809, 2005.
- BRACKMANN, A.; MAZARO, S. M.; LUNARDI, R. Armazenamento da maçã cv. Golden Delicious em atmosfera controlada com altas concentrações de CO<sub>2</sub> e ultrabaixas de O<sub>2</sub>. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 215-219, 1998.
- BRACKMANN, A.; WACLAWOVSKY, A. J.; LUNARDI, R. Qualidade de maçãs cv. Gala armazenadas em diferentes pressões parciais de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 195-198, 2000.
- BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropene-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. *Plant Physiology*, Waterbury, v. 80, n. 2, p. 539-543, 1986.
- CERETTA, M.; BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; LÚCIO, A. D.; ANESE, R. O. Tolerância da maçã 'Gala' a pressões parciais extremas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 60-69, 2010.
- DeELL, J. R.; MURR, D. P.; WILEY, L.; MUELLER, R. Interactions of 1-MCP and low oxygen CA storage on apple quality. *Acta Horticulturae*, Verona, v. 682, n. 1, p. 941-948, 2005.
- DONG, L.; ZHOU, H.; SONEGO, L.; LERS, A.; LURIE, S. Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 23, n. 2, p. 105-115, 2001.
- EKMAN, J. H.; GOLDING, J. B.; McGLASSON, W. B. Innovation in cold storage technologies. *Stewart Postharvest Review*, London, v. 1, n. 3, p. 1-14, 2005.
- GIRARDI, C. L.; BENDER, R. J. *Produção integrada de maçãs no Brasil – colheita e pós-colheita*, Embrapa uva e vinho. 2003. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/ProducaoIntegradaMaca/colheita.htm>>. Acesso em: 15 maio 2011.
- GIRARDI, C. L.; MARTINS, C. R.; PARUSSOLO, A.; TOMASI, R. J.; CORRENT, A.; ROMBALDI, C. V. Efeito da aplicação de 1-metilciclopropeno na conservação da qualidade de pêssegos (*Prunus persica* L.), cultivar Chiripá. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 157-161, 2003.
- GUPTA, K. J.; ZABALZA, A.; VAN DONGEN, J. T. Regulation of respiration when the oxygen availability changes. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 137, n. 4, p. 381-391, 2009.
- KADER, A. A. *Postharvest technology of horticultural crops*. 3<sup>rd</sup> ed. Oakland : University of California, 2002. 580 p .
- KLUGE, R. A.; JACOMINO, A. P.; OJEDA, R. M.; BRACKMANN, A. Inibição do amadurecimento de abacate com 1-Metilciclopropeno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 7, p. 895-901, 2002.
- LIEBERMAN, M. Biosynthesis and action of ethylene. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 30, n. 1, p. 533-591, 1979.
- NEUWALD, D. A. *Armazenamento de caqui (Diospyros kaki L.) cultivar Fuyu em atmosfera controlada*. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 1-19, 2005.

- PESIS, E.; BEN-ARIE, R.; FEYGENBERG, O.; LICHTER, A.; GADIYEVA, O.; ANTILOFYEV, I.; URYUPINA, T. A simple pretreatment with low O<sub>2</sub> to alleviate superficial scald in Granny Smith apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 87, n. 10, p. 1836-1844, 2007.
- PESIS, E.; EBELER, S. E.; FREITAS, S. T.; PADDA, M.; MITCHAM, E. J. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in granny smith apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 90, n. 12, p. 2114-2123, 2010.
- PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit ripening phenomena-an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Davis, v. 47, n. 1, p. 1-19, 2007.
- SABBAN-AMIN, R.; FEYGENBERG, O.; BELAUSOV, E.; PESIS, E. Low oxygen and 1-MCP pretreatments delay superficial scald development by reducing reactive oxygen species (ROS) accumulation in stored 'Granny Smith' apples. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 62, n. 3, p. 295-304, 2011.
- SAQUET, A. A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in 'Jonagold' apples under controlled atmosphere storage. *European Journal of Horticultural Science*, Hannover, v. 73, n. 1, p. 43-46, 2008.
- WATKINS, C. B. The use of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 389-409, 2006.
- WEBER, A.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. P. 'Royal Gala' apple quality stored under ultralow oxygen concentration and low temperature conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1597-1602, 2011.
- ZANELLA, A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1- methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultralow oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 69-78, 2003.