

Variação da temperatura, oxigênio e CO₂ durante o armazenamento em atmosfera controlada de maçãs ‘Royal Gala’

Changes in temperature, oxygen and CO₂ during controlled atmosphere storage of ‘Royal Gala’ apples

Auri Brackmann¹; Vanderlei Both^{2*}; Anderson Weber²; Elizandra Pivotto Pavanello³; Marcio Renan Weber Schorr³; Jorge Roque Alves dos Santos⁴

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da variação da temperatura, dos níveis de O₂ e CO₂ durante o armazenamento, sobre a qualidade de maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas em atmosfera controlada por um longo período. Os tratamentos constaram do armazenamento em temperaturas de 0,0 °C, 0,5 °C, 1,0 °C e diminuição da temperatura de 0,5 °C para 0,0 °C durante o armazenamento, em AC com 1,0 kPa O₂ e 2,0 kPa CO₂, além do armazenamento em baixo O₂ (0,8 kPa), diminuição da concentração de O₂ (de 1,0 kPa para 0,8 kPa) e aumento do CO₂ (de 2,0 kPa para 8,0 kPa) durante o armazenamento, na temperatura de 0,5 °C. Os frutos permaneceram durante oito meses nessas condições, mais sete dias a 20 °C, antes das análises de qualidade. O armazenamento na temperatura de 1,0 °C, na condição de AC considerada padrão (1,0 kPa de O₂ e 2,0 kPa de CO₂), diminuiu a produção de etileno, respiração, atividade da enzima ACC oxidase e a ocorrência de degenerescência e polpa farinácea nas maçãs. O aumento da concentração de CO₂ no final do período de armazenamento não foi mais eficiente que a AC normal (1,0 kPa de O₂ e 2,0 kPa de CO₂) na manutenção da qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, entretanto, não causou dano aos frutos. A diminuição do O₂ e/ou temperatura durante o armazenamento diminuiu a ocorrência de podridão nos frutos.

Palavras-chave: Qualidade, etileno, pós-colheita, *Malus domestica* Borkh

Abstract

The aim of this research was to evaluate the effect of changes of temperature, levels of O₂ and CO₂ during storage, on the quality of ‘Royal Gala’ apples stored in controlled atmosphere (CA) for long term. The treatments consisted of storage temperatures of 0.0 °C, 0.5 °C and 1.0 °C, decreasing in temperature during storage of 0.5 °C to 0.0 °C, in CA with 1.0 kPa O₂ and 2.0 kPa CO₂, besides storage in low O₂ (0.8 kPa), decreasing in O₂ concentration (from 1.0 kPa to 0.8 kPa) and CO₂ increasing (from 2.0 kPa to 8.0 kPa) during storage period, at 0.5 °C. Fruit quality was evaluated after eight months of storage plus seven days at 20 °C. Apples stored at 1.0 °C, in standard CA (1.0 kPa O₂ and 2.0 kPa CO₂), showed less ethylene production, respiration, ACC oxidase activity and lower breakdown and mealy pulp incidence. Increasing in CO₂ concentration at the end of the storage period was not more efficient than standard CA in maintenance fruit quality during shelf life, but did not cause damage in the fruits. The decrease in O₂ and/or temperature during storage reduces the fruit decay incidence.

Key words: Quality, ethylene, postharvest, *Malus domestica* Borkh

¹ Prof. Pesquisador, Deptº de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: auribrackmann@gmail.com

² Doutorando(s) em Agronomia, Deptº de Fitotecnia, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: vanderleiboth@yahoo.com.br; anweba@yahoo.com.br

³ Mestrando(s) em Agronomia, Deptº de Fitotecnia, UFSM, Santa Maria, RS. E-mail: elizandra_pavanello@yahoo.com.br; marcioschorr@hotmail.com

⁴ Engº Agrº, Empresa Agropecuária Schio, Vacaria, RS. E-mail: jorgeroquealves@yahoo.com.br

* Autor para correspondência

Introdução

A maçã 'Royal Gala' é uma mutante espontânea da cultivar Gala, apresentando epiderme de coloração vermelha mais uniforme que a 'Gala' original (EPAGRI, 2006). Esta cultivar apresenta bom potencial de armazenamento, podendo ser armazenada por até nove meses em condições de atmosfera controlada (BRACKMANN et al., 2001), prática esta que permite regular a oferta de maçãs durante todo o ano, bem como manter a qualidade do produto. No entanto, após longo período de conservação, podem ocorrer distúrbios fisiológicos e perda da firmeza de polpa, causados pela maturação avançada na colheita, excesso de umidade na câmara frigorífica, altas concentrações de etileno e uso inadequado das concentrações de O_2 e CO_2 nas câmaras de atmosfera controlada (BRACKMANN et al., 2003; PEDRESCHI et al., 2009).

De maneira geral, a diminuição na temperatura de armazenamento reduz o metabolismo do fruto, ampliando o período de armazenamento. Para a cultivar Royal Gala a temperatura recomendada para o armazenamento em AC varia de 0,5 a 1,0 °C (BRACKMANN et al., 2009; WEBER et al., 2011). A redução da temperatura diminui o metabolismo durante o armazenamento, porém uma redução excessiva pode levar ao colapso das células, tornando os frutos suscetíveis à ocorrência de distúrbios (BRACKMANN et al., 2010). Assim, pode-se obter maior manutenção da qualidade dos frutos reduzindo-se gradativamente a temperatura de armazenamento, o que pode trazer, entre outros benefícios, uma menor ocorrência de podridões (BRACKMANN; HUNSCHE; STEFFENS, 2000). Brackmann et al. (2010) também verificaram que, na maçã 'Gala', a baixa temperatura (-0,8 °C) provoca maior dano pelo frio quando utilizada no início do período de armazenamento.

No armazenamento em AC, em que há diminuição da concentração de O_2 nas câmaras e aumento do CO_2 , ocorre redução da taxa respiratória e da produção de etileno, conservando, assim, as características

físico-químicas e inibindo a ocorrência de distúrbios fisiológicos. O armazenamento em ultra baixo oxigênio (ULO), com concentrações de O_2 abaixo de 1,0 kPa, também é eficiente na prevenção de ocorrência de distúrbios fisiológicos durante o armazenamento de maçãs (ZANELLA, 2003), porém níveis inferiores a 0,8 kPa de O_2 durante um longo período, podem causar acúmulo de produtos da fermentação, provocando distúrbios como a degenerescência interna e podridões. No entanto, as baixas pressões parciais de O_2 , causam maior dano aos frutos no período inicial de armazenamento do que no período final, uma vez que a concentração de oxigênio necessária para manter a respiração aeróbica diminui com o tempo de armazenamento (SALTVEIT, 2003). De acordo com Lévesque, DeEll e Murr (2006), o condicionamento, pela redução gradual na concentração de O_2 , provoca uma adaptação dos frutos ao baixo O_2 . Dessa forma, seria possível diminuir a concentração de O_2 durante o armazenamento abaixo dos níveis indicados pela literatura para a cultivar Royal Gala (1,0 kPa) (BRACKMANN et al., 2009; WEBER et al., 2011), o que diminuiria o metabolismo, sem causar distúrbios.

O efeito do alto CO_2 na manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento está relacionado com a redução na taxa de produção de etileno, pela inibição da enzima ACC sintase (GORNÝ; KADER, 1997) e ACC oxidase (RHOTHAN; NICOLAS, 1994). A inibição da respiração pelo CO_2 pode ser devido à redução da atividade ou síntese de várias enzimas do metabolismo respiratório (KERBEL; KADER; ROMANI, 1988). As concentrações recomendadas de CO_2 são de 2,0 a 2,5 kPa, durante o armazenamento em AC de maçãs 'Royal Gala' (BRACKMANN et al., 2009; WEBER et al., 2011). Apesar de maçãs do grupo Gala não serem suscetíveis a concentrações moderadas de CO_2 , níveis acima de 4,0 kPa podem ser prejudiciais, causando distúrbios como a degenerescência de polpa ou polpa farinácea, sendo a suscetibilidade dos frutos maior no início do que no período final de

armazenamento (WATKINS; SILSBY; GOFFINET, 1997; CERETTA et al., 2010). Dessa forma, altas concentrações de CO₂ no período final de armazenamento poderiam interferir na respiração e produção de etileno durante a vida de prateleira dos frutos, prolongando o período pós-armazenamento, sem causar distúrbios. Além disso, é importante que sejam investigadas estratégias para armazenamento em níveis mais altos de CO₂, o que poderia diminuir os custos com energia elétrica para absorção desse gás das câmaras de atmosfera controlada.

Diante do exposto, este trabalho objetiva estudar o efeito da variação da temperatura, dos níveis de oxigênio e de CO₂ durante o armazenamento, sobre a qualidade de maçãs 'Royal Gala' armazenadas em atmosfera controlada por um longo período.

Material e Métodos

O experimento foi realizado com maçãs 'Royal Gala' provenientes de um pomar comercial de Vacaria/RS, colhidos no dia 16 de fevereiro de 2008. Antes do armazenamento, os frutos foram selecionados para eliminação daqueles com algum defeito e arranjados em amostras experimentais homogêneas. No momento da colheita os frutos apresentavam firmeza de polpa de 92,8 N; sólidos solúveis totais (SST) de 11,8 °Brix; acidez titulável total de 5,1 meq 100mL⁻¹; atividade da enzima ACC oxidase de 21,8 ηL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹; produção de etileno de 1,33 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹; taxa respiratória de 6,86 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e índice de iodo-amido de 6,72.

As condições de armazenamento foram as seguintes: [1] Atmosfera Controlada (AC) com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C; [2] AC com 0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C; [3] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ durante sete meses mais um mês com 1,0 kPa O₂ + 8,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C; [4] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ durante sete meses e meio mais meio mês com 1,0 kPa O₂ + 8,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C; [5] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ durante dois meses mais seis meses com

0,8 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,5 °C; [6] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ durante seis meses na temperatura de 0,5 °C mais dois meses a 0,0 °C; [7] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 0,0 °C e [8] AC com 1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂ na temperatura de 1,0 °C.

Para o estabelecimento das condições de AC os frutos foram acondicionados dentro de minicâmaras experimentais de 0,230 m³, hermeticamente fechadas. Estas ficaram dentro de câmaras frigoríficas maiores, onde a temperatura foi regulada de acordo com aquela pré-estabelecida para cada tratamento. A diminuição da concentração de O₂, no interior das minicâmaras, se deu pela diluição com N₂ proveniente de um gerador de nitrogênio que utiliza o princípio "Pressure Swing Adsorption" (PSA) e as pressões parciais de CO₂ foram obtidas por meio da injeção deste gás no interior das minicâmaras até as condições desejadas. Em função do processo respiratório dos frutos houve consumo de O₂ e produção de CO₂ durante o armazenamento. A reposição do O₂ se deu por meio da injeção de ar atmosférico no interior das minicâmaras e o excesso de CO₂ foi absorvido pela circulação do ar das minicâmaras por um absorvedor com hidróxido de potássio. O monitoramento e correção dos gases foi realizado diariamente por um equipamento para controle automático de O₂ e CO₂ da marca Kronenberger/Climasul Systemtechnik®.

Após oito meses de armazenamento nas condições referidas acima, os frutos permaneceram por mais sete dias a 20 °C a fim de simular a vida de prateleira, antes das análises finais de qualidade. Foram analisadas as seguintes variáveis: *a) Firmeza de polpa*: determinada por meio de um penetrômetro com ponteira de 11 mm, inserido nos dois lados opostos da região equatorial do fruto, onde previamente foi retirada a epiderme, expressa em Newton (N). *b) Acidez*: 10 mL de suco dos frutos foram diluídos em 100 mL de água destilada e titulados com hidróxido de sódio a 0,1 Normal até pH 8,1 sendo expressa em meq 100mL⁻¹. *c) Sólidos solúveis totais (SST)*: determinados por meio de

refratometria e expresso em °Brix. *d) Atividade da enzima ACC oxidase:* de acordo com a metodologia descrita por Bufler (1986), sendo o resultado expresso em $\eta\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. *e) Podridões:* baseada na avaliação visual e contagem dos frutos com lesões características de ataque de fungos, maiores que 5 mm de diâmetro e expressa em porcentagem. *f) Degenerescência senescente:* foram realizados vários cortes na secção transversal dos frutos e determinada por meio da contagem de frutos com qualquer tipo de sintoma de escurecimento na polpa e expressa em porcentagem. *g) Polpa farinácea:* pela avaliação visual de frutos que possuíam pequeno conteúdo de suco associado à baixa firmeza de polpa e expresso em porcentagem de frutos com o distúrbio. *h) Produção de etileno:* aproximadamente 1200 g de frutos foram colocados em recipientes com volume de 5000 mL que permaneceram fechados hermeticamente durante aproximadamente uma hora, quando foram retiradas duas amostras de gás de 1 mL, provenientes de cada recipiente e injetadas em um cromatógrafo a gás, marca Varian, equipado com um detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. A temperatura da coluna, do injetor e do detector foi de 90, 140 e 200 °C, respectivamente. Foi calculada a síntese de etileno em $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ por meio da concentração de etileno, da massa do fruto, do volume do espaço livre no recipiente e do tempo de fechamento. *i) Respiração:* determinada pela produção de CO_2 . O ar do mesmo recipiente utilizado para a determinação do etileno foi circulado através de um analisador eletrônico de CO_2 , marca Agri-datalog. A partir da concentração de CO_2 , do espaço livre do recipiente, do peso do fruto e do tempo de fechamento foi calculada a respiração em $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições compostas por 20 frutos. As variáveis expressas em porcentagem foram transformadas pela fórmula $\text{arc. sen } (x/100)^{0,5}$, antes da realização da análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa computacional SISVAR.

Resultados e Discussão

Os frutos que permaneceram armazenados durante seis meses a 0,5 °C mais dois meses em 0,0 °C, na condição de AC padrão (1,0 kPa O_2 e 2,0 kPa CO_2), apresentaram a maior firmeza de polpa na análise aos sete dias a 20 °C, no entanto, diferiram estatisticamente apenas das condições de armazenamento com alto CO_2 no final (0,5 mês) e com redução do O_2 (seis meses finais em 0,8 kPa) (Tabela 1). Percebe-se assim, um efeito benéfico da diminuição da temperatura no final do armazenamento, concordando, em parte, com Lévesque, DeEll e Murr (2006) que encontraram menor perda de firmeza de polpa de maçãs ‘McIntosh’ armazenadas em condições com diminuição gradativa na temperatura, quando comparado com o armazenamento em AC e temperatura constante. Além disso, no presente trabalho, nos frutos em que houve redução da temperatura também a ocorrência de podridões foi menor, o que pode influenciar de forma positiva na manutenção da firmeza.

A condição de AC padrão na temperatura de 1,0 °C manteve a acidez dos frutos mais alta, no entanto não diferiu estatisticamente daqueles armazenados nas demais temperaturas para a mesma condição de AC e dos armazenados em 0,8 kPa O_2 e 2,0 kPa CO_2 . O aumento do CO_2 no final do período, bem como a redução do O_2 e da temperatura durante o armazenamento não apresentaram benefícios para a manutenção da acidez dos frutos (Tabela 1). A manutenção da acidez é uma característica desejável durante o armazenamento de maçãs, uma vez que a concentração de ácidos no fruto diminui à medida que o metabolismo respiratório é acelerado (SWEETMAN et al., 2009). No presente trabalho é possível observar esta relação, uma vez que os frutos do tratamento em AC padrão, em 1,0 °C, apresentaram baixa respiração durante todo o período de avaliação (Figura 1) e, dessa forma, mantiveram maiores teores de acidez na avaliação aos sete dias a 20 °C.

Tabela 1. Qualidades físico-químicas e ocorrência de podridões em maçãs 'Royal Gala' após oito meses de armazenamento em diferentes condições de atmosfera controlada a 1,0 °C, 0,5 °C ou 0,0 °C, mais sete dias a 20 °C.

Tratamento (kPa O ₂ + kPa CO ₂) / Temperatura	Firmeza	Acidez	SST	Podridão
	N	meq 100mL ⁻¹	°Brix	%
1,0+2,0 / 0,5°C	76,9 ab*	3,93 ab	13,5 ab	8,8 ab
0,8+2,0 / 0,5°C	79,0 ab	3,88 ab	13,3 b	12,7 ab
1,0+2,0 x 7 meses/ 1,0+8,0 x 1 mês / 0,5°C	78,5 ab	3,85 b	12,4 c	3,8 bc
1,0+2,0 x 7,5 meses/ 1,0+8,0 x 0,5 mês / 0,5°C	75,7 b	3,80 b	12,4 c	5,0 abc
1,0+2,0 x 2 meses/ 0,8+2,0 x 6 meses / 0,5°C	76,1 b	3,85 b	12,7 c	6,3 abc
1,0+2,0 / 0,5°C x 6 meses/ 0,0°C x 2 meses	80,6 a	3,83 b	12,8 c	1,3 c
1,0+2,0 / 0,0°C	78,1 ab	4,03 ab	13,7 a	14,0 a
1,0+2,0 / 1,0°C	77,8 ab	4,13 a	13,4 ab	7,5 abc
CV (%)	2,17	2,86	1,40	29,1

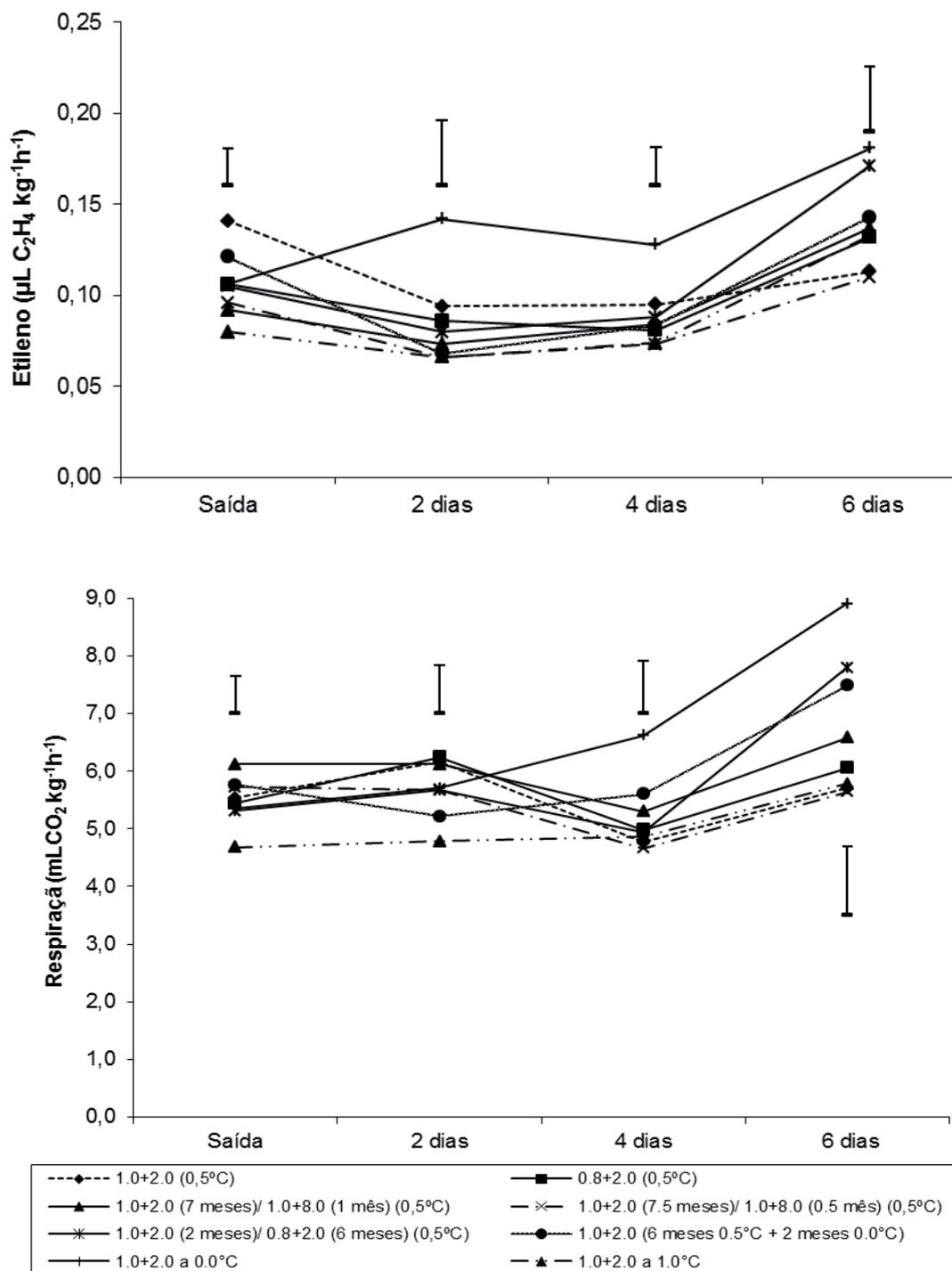
*Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaboração dos autores.

Em maçãs armazenadas nas condições de AC padrão, os teores de SST não variaram em função da temperatura e foram superiores aos observados nos demais tratamentos (Tabela 1). Em frutos climatéricos, como a maçã, o teor de SST aumenta após a colheita e início do armazenamento, em função da hidrólise do amido, sendo que em armazenamento prolongado ocorre um decréscimo dos açúcares (CHITARRA; CHITARRA, 2005), que são metabolizados pelo processo respiratório durante o amadurecimento. No entanto, o início de sua utilização ocorre somente depois de acentuado

consumo dos ácidos orgânicos (BRACKMANN; SAQUET, 1995). Como as menores concentrações de SST são observadas nos tratamentos em que a acidez foi menor, isso demonstra que além do maior consumo dos ácidos pelo metabolismo respiratório, esses frutos também já estão utilizando de suas reservas de açúcares. Dessa forma, novamente não se observou vantagens no aumento do CO₂ no período final de armazenamento, bem como na redução do O₂ e da temperatura durante o armazenamento (Tabela 1).

Figura 1. Produção de etileno e respiração de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em diferentes condições de atmosfera controlada e temperatura. Barras verticais indicam Diferença Mínima Significativa (DMS) entre tratamentos, em nível de 5% de significância.



Fonte: Elaboração dos autores.

A redução da temperatura de 0,5 °C para 0,0 °C durante o período de armazenamento proporcionou os menores índices de podridões nos frutos, enquanto que aqueles que permaneceram durante todo o período de armazenamento na temperatura de 0,0 °C apresentaram a maior incidência (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com Brackmann, Hunsche e Steffens (2000) que encontraram menor ocorrência de podridões em maçã 'Fuji' armazenadas em 2,5 °C no período inicial de armazenamento (40 dias) antes de diminuir a temperatura para 0,5 °C no período restante. Woolf et al. (2003) sugerem que uma das prováveis respostas ao condicionamento à baixa temperatura seja a indução de proteínas de proteção específicas, a exemplo daquelas relacionadas com a proteção contra o dano por congelamento em plantas. Além disso, a redução gradual na temperatura da câmara de armazenamento provoca uma adaptação dos frutos à baixa temperatura em função da manutenção de altos níveis de fosfolípidios nas membranas, aumento do grau de insaturação da cadeia de ácidos graxos, que mantém a integridade das membranas, diminuindo os danos às células (WANG, 1994), o que pode contribuir para menor ocorrência de podridões nessa condição. Os frutos que permaneceram durante um mês com 8,0 kPa de CO₂, no final do armazenamento, apresentaram baixa ocorrência de podridões quando comparados com aqueles armazenados na mesma condição, com baixo CO₂ (2,0 kPa) no período final. Isso se deve ao fato do alto CO₂ atuar como supressor de agentes patogênicos (SITTON; PATTERSON, 1992), especialmente quando associado ao baixo O₂ (1,0 kPa), a exemplo do que foi testado no presente trabalho.

A ocorrência de degenerescência senescente foi menor nos frutos armazenados em AC padrão (1,0 kPa O₂ + 2,0 kPa CO₂) na temperatura de 1,0 °C, porém não diferiu estatisticamente dos frutos que permaneceram em AC padrão a 0,5 °C e em AC com 0,8 kPa O₂ a 0,5 °C. Os frutos armazenados na temperatura de 0,0 °C apresentaram incidência

desse distúrbio estatisticamente superior àqueles armazenados em 1,0 °C, para as mesmas condições de AC (Tabela 2). Dentre as variáveis avaliadas, a temperatura teve maior efeito sobre a ocorrência desse distúrbio, indicando que temperaturas de armazenamento inferiores a 1 °C provocam maior degenerescência nos frutos. Brackmann et al. (2009) também constataram aumento da ocorrência de degenerescência em maçãs mutantes da 'Gala' armazenadas em AC em baixa temperatura (-0,5 °C comparada com 0,5 °C). Por outro lado, altas pressões parciais de CO₂ (8,0 kPa) no período final de armazenamento, comparado com baixo CO₂ (2,0 kPa), para a mesma condição de AC e temperatura, não provocaram aumento na ocorrência desse distúrbio e, portanto, não foram prejudiciais (Tabela 2). De acordo com Watkins, Silsby e Goffinet (1997), a maçã 'Empire' é mais sensível ao alto CO₂ no início do armazenamento e essa sensibilidade vai declinando durante o armazenamento. Ceretta et al. (2010) também observaram que pressões parciais de 4,0, 6,0 e 8,0 kPa de CO₂ no início do armazenamento de maçãs 'Gala' provocaram maior degenerescência que essas mesmas concentrações no final.

O armazenamento em AC padrão (1,0 + 2,0) e na temperatura de 1,0 °C proporcionou a menor porcentagem de frutos com polpa farinácea, diferindo significativamente para a mesma condição de AC em 0,5 °C e para os frutos armazenados em menor concentração de O₂ (0,8 kPa), em que a ocorrência deste distúrbio foi alta. Possivelmente o armazenamento durante todo o período nessa condição de O₂ mais baixa tenha sido prejudicial para os frutos, uma vez que quando os mesmos permaneceram nos dois meses iniciais de armazenamento com O₂ mais elevado (1,0 kPa) e o restante do período em 0,8 kPa, a ocorrência deste distúrbio caiu pela metade (Tabela 2). Da mesma forma, Lévesque, DeEll e Murr (2006) constataram menor incidência de injúrias por baixo O₂ em maçãs 'McIntosh' em que houve uma diminuição sequencial da concentração de O₂ e CO₂

durante o armazenamento, quando comparado ao armazenamento constante em condições de ultra baixo oxigênio (ULO). De acordo com Park et al. (1993), no início do armazenamento ocorre maior resistência à difusão do O₂ e menor concentração desse gás no interior do fruto devido a um menor volume vazio disponível para oxigênio e outros gases. Comparando-se os tratamentos com

altas concentrações de CO₂ no final do período de armazenamento com a mesma condição de armazenamento e baixo CO₂, não se observa diferenças significativas para a ocorrência de popa farinácea, indicando que essa alta concentração de CO₂ no final do armazenamento não é prejudicial para os frutos.

Tabela 2. Ocorrência de distúrbios fisiológicos e atividade da enzima ACC oxidase em maçãs 'Royal Gala' após oito meses de armazenamento em diferentes condições de atmosfera controlada a 1,0 °C, 0,5 °C ou 0,0 °C, mais sete dias a 20 °C.

Tratamento (kPa O ₂ + kPa CO ₂) / Temperatura	Degenerescência senescente	Polpa farinácea	ACC oxidase (η L C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)
	%		
1,0+2,0 / 0,5°C	17,7 ab*	30,3 ab	47,7 a
0,8+2,0 / 0,5°C	17,8 ab	38,0 a	31,8 bc
1,0+2,0 x 7 meses/ 1,0+8,0 x 1 mês / 0,5°C	32,5 a	26,3 abc	50,4 a
1,0+2,0 x 7,5 meses/ 1,0+8,0 x 0,5 mês / 0,5°C	26,3 a	20,0 bc	43,8 ab
1,0+2,0 x 2 meses/ 0,8+2,0 x 6 meses / 0,5°C	33,8 a	20,0 bc	44,4 ab
1,0+2,0 / 0,5°C x 6 meses/ 0,0°C x 2 meses	27,3 a	19,8 bc	45,5 ab
1,0+2,0 / 0,0°C	32,9 a	26,7 abc	45,8 ab
1,0+2,0 / 1,0°C	5,00 b	16,3 c	25,0 c
CV (%)	21,0	13,0	16,2

*Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaboração dos autores.

A atividade da enzima ACC oxidase foi menor nos frutos que permaneceram armazenados na temperatura de 1,0 °C, não diferindo estatisticamente da condição de armazenamento com baixo O₂ (Tabela 2). Essa enzima catalisa a última etapa do processo de formação de etileno, em que o ACC (Ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico) é oxidado a etileno, CO₂, cianeto (HCN) e água (YANG; HOFFMAN, 1984; KENDE, 1993). O O₂ é um substrato para a atividade da enzima ACC oxidase. Yang (1985) observou que a condição de armazenamento com 1,5 kPa de O₂ inibe a conversão de ACC a etileno, resultando no acúmulo de ACC nos tecidos, pois passos anteriores da rota continuam ocorrendo na ausência de O₂. No presente trabalho, apesar de constatar baixa atividade da ACC oxidase nos frutos armazenados com baixo O₂ (0,8 kPa),

não houve diferença significativa com a maioria dos demais tratamentos, provavelmente por todas as condições testadas estarem com O₂ abaixo do limite de 1,5 kPa, referido pelo autor supracitado. Com relação à produção de etileno, a partir do segundo dia de avaliação, os frutos armazenados na temperatura de 0,0 °C apresentaram os valores mais elevados. Por outro lado, aqueles armazenados a 1,0 °C apresentaram baixos valores durante todo o período de avaliação (Figura 1). Essa baixa produção de etileno está associada à menor atividade da enzima ACC oxidase desses frutos (Tabela 2), uma vez que essa enzima catalisa a reação do ACC a etileno (YANG; HOFFMAN, 1984; KENDE, 1993).

A exemplo da produção de etileno, os frutos armazenados a 0,0 °C produziram mais CO₂, especialmente nos dois últimos dias de avaliação

(Figura 1). Da mesma forma que para produção de etileno, frutos armazenados a 1,0 °C respiraram menos durante o período de avaliação. De acordo com Pre-Aymard, Weksler e Lurie (2003), a respiração é um processo dependente do etileno na maçã. A hipótese levantada neste trabalho de que o alto CO₂ no período final de armazenamento poderia reduzir a respiração durante o período de prateleira não se confirmou, uma vez que os frutos desses tratamentos apresentaram valores intermediários de produção de CO₂ durante todo período de avaliação. Estes resultados evidenciam que, apesar do alto CO₂ não trazer vantagens sobre a manutenção da qualidade dos frutos, como a diminuição da respiração e manutenção de altos teores de acidez e SST, esta condição também não aumentou a incidência de distúrbios nos frutos. Assim, não é necessário que haja um controle tão rigoroso do CO₂ no período final de armazenamento, além de poder permanecer em uma concentração mais elevada, o que reduz os custos de energia com absorção do mesmo das câmaras.

Conclusões

O armazenamento na temperatura de 1,0 °C, na condição de AC com 1,0 kPa de O₂ e 2,0 kPa de CO₂, diminui a produção de etileno, respiração e a ocorrência de distúrbios na maçã 'Royal Gala', mostrando ser uma condição satisfatória para o armazenamento desta cultivar durante oito meses.

O aumento da concentração de CO₂ no final do período de armazenamento não causa dano aos frutos, porém, também não é mais eficiente que a AC padrão (1,0 + 2,0) na manutenção da qualidade dos frutos durante a vida de prateleira.

A diminuição do O₂ e/ou temperatura durante o período de armazenamento mostram-se promissores, no entanto, sugere-se novos trabalhos que avaliem estas condições também em outras temperaturas.

Referências

- BRACKMANN, A.; CERETTA, M.; PINTO, J. A. V.; VENTURINI, T. L.; DAL COL LÚCIO, A. Tolerância de maçã 'Gala' a baixas temperaturas durante o armazenamento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 9, p. 1909-1915, 2010.
- BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M.; STEFFENS, C. A. Conservação da maçã 'Fuji' sob diferentes temperaturas, umidades relativas e momentos de instalação da atmosfera de armazenamento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 81-84, 2000.
- BRACKMANN, A.; MELLO, A. M.; FREITAS, S. T.; VIZZOTO, M.; STEFFENS, C. A. Armazenamento de maçãs 'Royal Gala' sob diferentes temperaturas e pressões parciais de oxigênio e gás carbônico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 532-536, 2001.
- BRACKMANN, A.; SAQUET, A. A. Efeito das condições de atmosfera controlada sobre a ocorrência de degenerescência em maçãs 'Fuji'. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 263-267, 1995.
- BRACKMANN, A.; STEFFENS, C. A.; NEUWALD, D. A.; SESTARI, I. Armazenamento de maçã 'Gala' em atmosfera controlada com remoção de etileno. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 647-650, 2003.
- BRACKMANN, A.; WEBER, A.; PAVANELLO, E. P.; BOTH, V.; SESTARI, I. Armazenamento em atmosfera controlada de maçãs mutantes da cultivar Gala. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 136-143, 2009.
- BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. *Plant Physiology*, Minneapolis, v. 80, n. 2, p. 539-543, 1986.
- CERETTA, M.; BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; DAL COL LÚCIO, A.; ANESE, R. O. Tolerância da maçã 'Gala' a pressões parciais extremas de O₂ e CO₂ durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 60-69, 2010.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- EPAGRI. *A cultura da macieira*. Epagri: Florianópolis, 2006. 743 p.
- GORNY, J. R.; KADER, A. A. Low oxygen and elevated carbon dioxide atmospheres inhibit ethylene biosynthesis in preclimacteric and climacteric apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 122, n. 4, p. 542-546, 1997.

- KENDE, H. Ethylene biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, Minneapolis, v. 44, n. 1, p. 238-307, 1993.
- KERBEL, E. L.; KADER, A. A.; ROMANI, R. J. Effects of elevated CO₂ concentration on glycolysis in intact 'Bartlett' pear fruit. *Plant Physiology*, Minneapolis, v. 86, n. 4, p. 1205-1209, 1988.
- LÉVESQUE, P. G.; DeELL, J. R.; MURR, D. P. Sequential controlled atmosphere storage for 'McIntosh' apples. *HortScience*, Alexandria, v. 45, n. 5, p. 1322-1324, 2006.
- PARK, Y. M.; BLANPIED, G. D.; JOSWIAK, Z.; LIU, F. W. Postharvest studies of resistance to gas diffusion in McIntosh apples. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 2, n. 4, p. 329-339, 1993.
- PEDRESCHI, R.; FRANCK, C.; LAMMERTYN, J.; ERBAN, A.; KOPKA, J.; HERTOOG, M.; VERLINDEN, B.; NICOLAI, B. Metabolic profiling of 'Conference' pears under low oxygen stress. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 51, n. 2, p. 123-130, 2009.
- PRE-AYMARD, C.; WEKSLER, A.; LURIE, S. Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 27, n. 2, p. 163-170, 2003.
- RHOTHAN, C.; NICOLAS, J. High CO₂ levels reduce ethylene production in kiwifruits. *Physiologia Plantarum*, Blacksburg, v. 92, n. 1, p. 1-8, 1994.
- SALTVEIT, M. E. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 27, n. 1, p. 3-13, 2003.
- SITTON, J. W.; PATTERSON, M. E. Effect of high-carbon dioxide and low-oxygen controlled atmospheres on postharvest decays of apples. *Plant Disease*, St. Paul, v. 76, n. 10, p. 992-995, 1992.
- SWEETMAN, C.; DELUC, L. G.; CRAMER, G. R.; FORD, C. M.; SOOLE, K. L. Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits. *Phytochemistry*, Oxford, v. 70, n. 11, p. 1329-1344, 2009.
- WANG, C. Y. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience*, Alexandria, v. 29, n. 9, p. 986-987, 1994.
- WATKINS, C. B.; SILSBY, K. J.; GOFFINET, M. C. Controlled atmosphere and antioxidant effects on external CO₂ injury of 'Empire' apples. *HortScience*, Alexandria, v. 32, n. 7, p. 1242-1246, 1997.
- WEBER, A.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. P. 'Royal Gala' apple quality stored under ultralow oxygen concentrations and low temperature conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1597-1602, 2011.
- WOOLF, A. B.; COX, K. A.; WHITE, A.; FERGUSON, W. B. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 28, n. 1, p. 113-122, 2003.
- YANG, S. F. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience*, Alexandria, v. 20, n. 1, p. 41-45, 1985.
- YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 35, n. 1, p. 155-189, 1984.
- ZANELLA, A. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 27, n. 1, p. 69-78, 2003.