

Bento Gonçalves, RS
Abril, 2015

Autores

César Luis Girardi

Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador
Embrapa Uva e Vinho,
Bento Gonçalves, RS,
cesar.girardi@embrapa.br

Camila Pegoraro

Eng. Agrôn., Dra.,
Bolsista Pós-doutorado,
Embrapa Uva e Vinho/CAPES,
Bento Gonçalves, RS,
pegorarocamilanp@gmail.com

Giseli Crizel

Quím. Alim., M.Sc.,
Bolsista Doutorado CAPES/UFPel,
Embrapa Uva e Vinho,
Bento Gonçalves, RS,
giseli.crizel@gmail.com

Tatiane Timm Storch

Quím. Alim., Dra.,
Bolsista de pós-doutorado,
Embrapa Uva e Vinho,
tatistorch86@hotmail.com.

Mauro Celso Zanús

Eng. Agrôn., M.Sc., Pesquisador
Embrapa Uva e Vinho,
Bento Gonçalves, RS,
mauro.zanus@embrapa.br

Conservação da Qualidade Pós-colheita de Maçãs

Introdução

A produção brasileira de maçãs (*Malus x domestica* Borkh.) está baseada majoritariamente nas cultivares Gala e Fuji, sendo que o interesse dos produtores tem recaído sobre as mutações somáticas dessas cultivares (Fioravanzo et al., 2010). Atualmente, clones do grupo 'Gala' perfazem mais que 50% da área cultivada na região Sul do Brasil (Weber et al., 2013). Esses clones foram selecionados ao longo do tempo e propagados em larga escala em função de características de qualidade, como maior e mais intensa coloração vermelha na epiderme, excelente qualidade organoléptica e grande aceitação no mercado, o que proporciona maiores vantagens comerciais (Silveira et al., 2013).

Nas condições climáticas brasileiras a colheita de maçãs 'Gala' ocorre nos meses de janeiro a março, dessa forma, para regularizar a oferta e o preço, e atender o mercado consumidor, o armazenamento refrigerado (AR) é amplamente utilizado pelas empresas e produtores de maçãs (Mostafavi et al., 2013). No entanto, esse sistema permite curto período de conservação devido ao rápido amadurecimento e a alta incidência de podridões e distúrbios fisiológicos (Brackmann et al., 2005; Rudell et al., 2011; Bulens et al., 2012).

Em busca da ampliação do período de conservação e da manutenção da qualidade de maçãs, pesquisas são constantemente desenvolvidas. Estes estudos envolvem a utilização de diferentes tecnologias associadas, como por exemplo, baixas temperaturas associadas à aplicação de inibidores da ação do etileno (1-metilciclopropeno – 1-MCP) (Brackmann et al., 2005; Fawbush et al., 2009; Hoang et al., 2011; Weber et al., 2013; Both et al., 2014). A utilização de AR associada ao uso de 1-MCP proporciona um aumento no período de conservação de maçãs, podendo alcançar seis meses, dependendo das condições de armazenamento e do ponto de colheita. No entanto, a longevidade da maçã geralmente é limitada pela baixa firmeza, amarelecimento, ocorrência de degenerescência senescente da polpa, polpa farinácea, rachadura nos frutos e podridões (Lu et al., 2012; Watkins e Nock 2012). Nesse sentido, o armazenamento em atmosfera refrigerada vem sendo substituído pelo armazenamento em atmosfera controlada (AC), o qual é mais eficiente na redução da respiração e da produção de etileno, e conseqüentemente do amadurecimento (Echeverría et al., 2004; Gwanpua et al., 2012; Both et al., 2014).

A baixa pressão de O₂ combinada com a alta pressão de CO₂, empregadas no armazenamento em AC, reduz a produção de etileno e a taxa respiratória, conservando assim, as características físico-químicas e inibindo e/ou diminuindo a ocorrência de alguns distúrbios fisiológicos (Gwanpua et al., 2012; Weber et al., 2013; Both et al., 2014). No entanto, deve-se ressaltar que o uso de baixas concentrações de O₂ exige um controle muito rígido, visto que níveis muito baixos de O₂ podem desencadear o processo de respiração anaeróbica nos frutos, com produção de etanol. Além disso, baixos níveis de O₂ podem acentuar o desenvolvimento de alguns distúrbios como rachadura na epiderme,

degenerescência interna, escurecimento e podridões (Ho et al., 2013; Kweon et al., 2013).

Como a tolerância dos frutos a baixos níveis de O_2 pode variar entre cultivares, de um ano para outro e de acordo com o tamanho dos frutos, recentemente foi disponibilizado no mercado uma tecnologia capaz de detectar níveis adequados de O_2 de acordo com o ambiente de armazenamento, sendo esta tecnologia denominada atmosfera controlada dinâmica (ACD) (Prange et al., 2003, DeLong et al., 2004a, Zanella et al., 2005 e Prange et al., 2007, Burdon et al., 2008). A ACD mediada por sensores de fluorescência é uma tecnologia relativamente nova, e no Brasil está em fase de testes. A utilização de ACD foi testada em um pequeno grupo de cultivares de maçã, onde se verificou manutenção máxima da qualidade, retenção da firmeza de polpa e supressão superficial da escaldadura, além da ausência de produtos do processo fermentativo (DeLong et al., 2004a, Zanella et al., 2005, DeLong et al., 2007 e Watkins, 2008a). No entanto, embora a ACD se apresente como uma tecnologia bastante promissora na cadeia produtiva da maçã, ainda existe carência de informação com relação a sua utilização.

Amadurecimento de maçãs

O processo de amadurecimento de maçãs (fruto climatérico) é coordenado pelo fitohormônio etileno (C_2H_4) (Seymour et al., 1993; Li et al., 2013; Yang et al., 2013) e acompanhado por alterações físicas e bioquímicas, como degradação da parede celular, degradação de clorofilas e síntese de pigmentos, acúmulo de açúcares como sacarose, glicose e frutose, redução de ácidos orgânicos e produção de compostos voláteis responsáveis pelo flavor e aroma dos frutos (Drogoudi e Pantelidis, 2011; Bulens

et al., 2012; Shangguan et al., 2014) (Figuras 1 e 2). Essas alterações são mediadas por enzimas, as quais, em sua maioria, são reguladas pelo etileno. Entretanto, é interessante ressaltar que existem alterações que ocorrem durante o processo de amadurecimento de frutos climatéricos que não são dependentes de etileno (Guis et al., 1997; Silva et al., 2004).

A síntese do etileno ocorre a partir do aminoácido metionina pela ação das enzimas S-adenosil metionina sintetase (SAM), 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintase (ACS) e 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase (ACO) (Flores et al., 2002; Hidalgo et al., 2005; Xiong et al., 2005; Bulens et al., 2012).

O etileno se liga a receptores localizados na membrana do retículo endoplasmático, onde vai desencadear a ativação de uma cascata de transdução de sinais, até a ativação de genes codificadores de enzimas que mediam as alterações físicas e bioquímicas que acompanham o processo de amadurecimento (Fujimoto et al., 2000; Yang et al., 2013) (Figura 2).

Após a colheita a respiração continua, e para que esse processo fisiológico ocorra é necessário a utilização das reservas metabólicas do fruto (carboidratos e ácidos orgânicos) (Chitarra e Chitarra 2005; Seppä et al., 2013; Yang et al., 2013). Dessa forma, a diminuição no teor de ácidos orgânicos observada durante o amadurecimento ocorre em função da sua utilização como substrato no processo respiratório. Nesse aspecto, vale ressaltar que em maçãs, o ácido orgânico mais abundante é o málico (Ackermann et al., 1992; Shangguan et al., 2014).

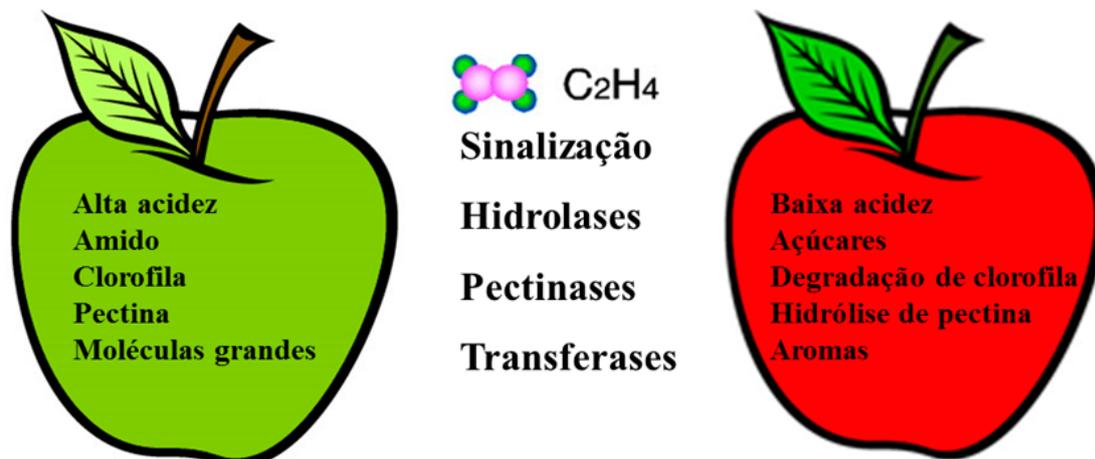


Fig 1. Esquema representativo demonstrando as mudanças que ocorrem durante o amadurecimento de maçãs. Adaptado de Koning, 1994.

Durante o desenvolvimento dos frutos os carboidratos oriundos do processo fotossintético são utilizados para síntese de amido (reserva) e para síntese de substâncias pécticas (estrutura). Com o início da maturação ocorre a hidrólise de carboidratos complexos como amido e pectinas, levando ao acúmulo de açúcares solúveis como sacarose, glicose e frutose, carboidratos responsáveis pela doçura em maçãs (Shangguan et al., 2014). Nesse período, os teores dos açúcares reductores frutose e glicose excedem a sacarose (Ackermann et al., 1992), e os frutos são caracterizados pelo elevado índice de sólidos solúveis. No entanto, com a evolução da maturação, e a respiração ocorrendo na ausência de fotossíntese, o teor de sólidos solúveis diminui devido à utilização desses compostos como substrato para a respiração. Fazem parte desse processo inúmeras enzimas, dentre as quais se podem destacar a sacarose fosfato sintase, sacarose sintase, invertase neutra, invertase ácida, frutoquinase e hexoquinase (Li et al., 2013; Zhu et al., 2013).

A perda da firmeza de polpa de maçã é um dos principais fatores que determina qualidade e o período de conservação (Gwanpua et al., 2012),

estando diretamente associada com a dissolução da parede celular (Yoshioka et al., 1992). Dentre as enzimas responsáveis pela modificação da parede celular se destacam pectina metilesterases, poligalacturonases, β -galactosidases, α -L-arabinofuranosidases, expansinas, celulases, dentre outras (Brummell et al., 1999; 2001; 2006). A maioria das enzimas que atuam na degradação da parede celular de frutos durante o amadurecimento é regulada positivamente pelo etileno. Deve-se destacar ainda que, além da parede celular, o teor de amido e a pressão osmótica também contribuem para a firmeza da polpa (Stevenson et al., 2006).

Com o avanço da maturação, em maçãs do grupo 'Gala', ocorrem mudanças na coloração do fruto em função da degradação de clorofilas e aparecimento de componentes do grupo dos carotenoides, responsáveis pela pigmentação amarelada (Iuchi, 2006). Além disso, ocorre a intensificação da coloração vermelha da epiderme, ocasionada pela presença de antocianinas (Zardo et al., 2009).

Os compostos voláteis formados durante a maturação são responsáveis pelo aroma característico de cada fruto. Em maçãs, o aroma

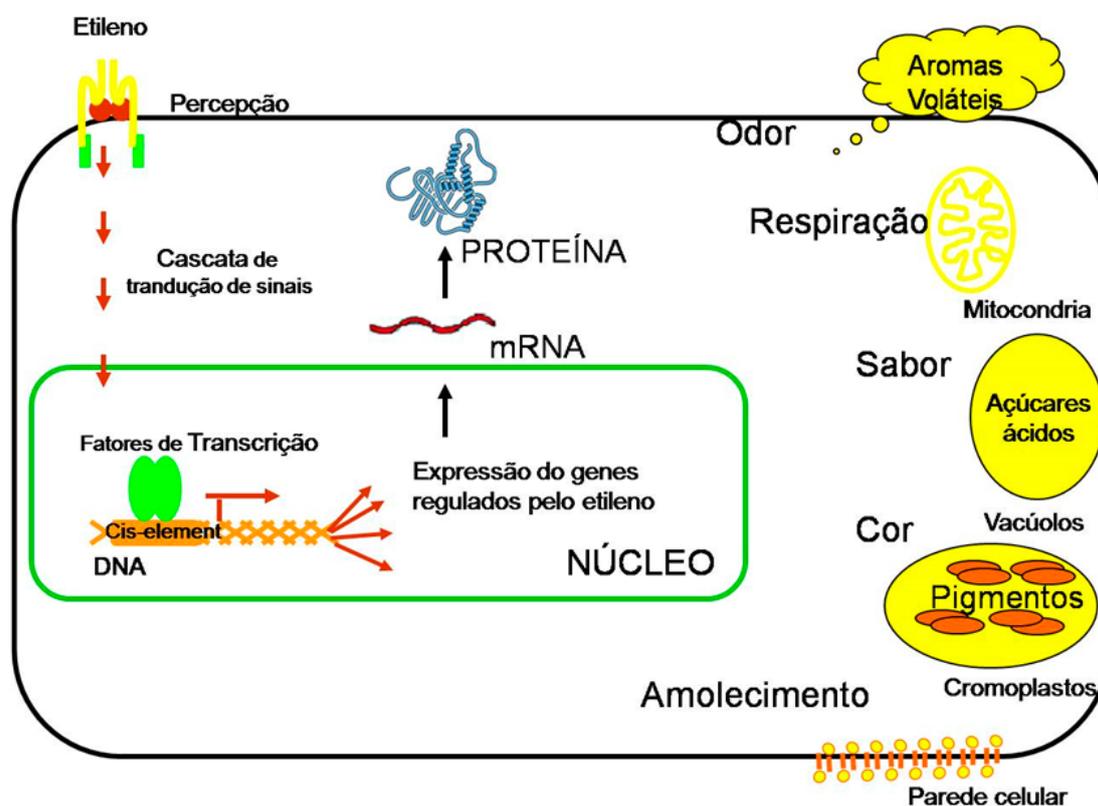


Fig 2. Representação esquemática da percepção do etileno pela célula, ativação de genes e síntese de proteínas associadas ao processo de amadurecimento, aumento da respiração, síntese de aromas, metabolismo de açúcares e ácidos orgânicos, desenvolvimento da cor e degradação da parede celular (amolecimento). Adaptado de Bouzayen et al., 2010.

típico se deve a presença de ésteres, aldeídos e álcoois que apresentam concentração máxima durante a maturação. O perfil volátil de maçãs intactas é composto principalmente por ésteres (Contreras e Beaudry, 2013), os quais são sintetizados através da ação de enzimas como álcool desidrogenase e álcool aciltransferase (Defilippi et al., 2005).

Utilização de 1-metilciclopropeno – 1-MCP

O 1-metilciclopropeno (1-MCP) é um potente inibidor da ação do etileno, bloqueando temporariamente o acesso desse fitohormônio aos receptores, inibindo a sua ação nos tecidos vegetais (Boquete et al., 2004; Lu et al., 2012; Yang et al., 2013). O modo de ação do 1-MCP se dá através da sua ligação preferencial com os receptores de etileno, impedindo assim a sinalização do processo de amadurecimento. Com o passar do tempo, novos receptores são sintetizados, fazendo com que a célula recupere a sensibilidade ao etileno, retomando o processo normal de amadurecimento (Figura 3). É interessante destacar que o 1-MCP não é fitotóxico para os frutos, não deixa resíduo, não oferece risco ambiental, além de não apresentar nenhum efeito na saúde dos consumidores (Watkins, 2006).

Dentre as modificações que ocorrem durante a maturação, o amolecimento é um fator determinante na conservação e qualidade dos frutos. Assim, para a comercialização, são desejados frutos

com textura similar a da colheita, sendo o 1-MCP utilizado juntamente com o armazenamento em baixas temperaturas para retardar o processo de amolecimento. Entretanto, para que ocorra a manutenção da firmeza de polpa é necessária a modulação da dose e do tempo de exposição dos frutos ao 1-MCP (Watkins, 2008b), uma vez que a resposta dos frutos a aplicação desse gás pode ser afetada em função da cultivar, estágio de maturação no momento da colheita, forma de armazenamento, tempo entre a colheita e a aplicação do produto e aplicações repetidas de 1-MCP (Jayanty et al., 2004; Bai et al., 2005; Toivonen e Lu, 2005; Watkins e Nock, 2005; Lu et al., 2012).

Além de retardar o processo de amadurecimento normal, o 1-MCP pode influenciar a susceptibilidade dos frutos a determinadas desordens fisiológicas (Lu et al., 2012). Enquanto distúrbios associados à senescência ou diretamente relacionados ao etileno são inibidos pelo 1-MCP, distúrbios relacionados à ausência de etileno são aumentados pelo atraso da maturação, em função da ação desse produto. Ocorrem ainda distúrbios fisiológicos associados com a interação do 1-MCP com a forma de armazenamento, indicando a complexidade do efeito desse produto (Watkins, 2008b). Esse inibidor da ação do C_2H_4 pode ainda aumentar a susceptibilidade dos frutos a determinadas doenças, uma vez que o etileno coordena genes de defesa (Watkins, 2008b). Além disso, o 1-MCP pode afetar os índices de maturação, tendo um impacto na qualidade

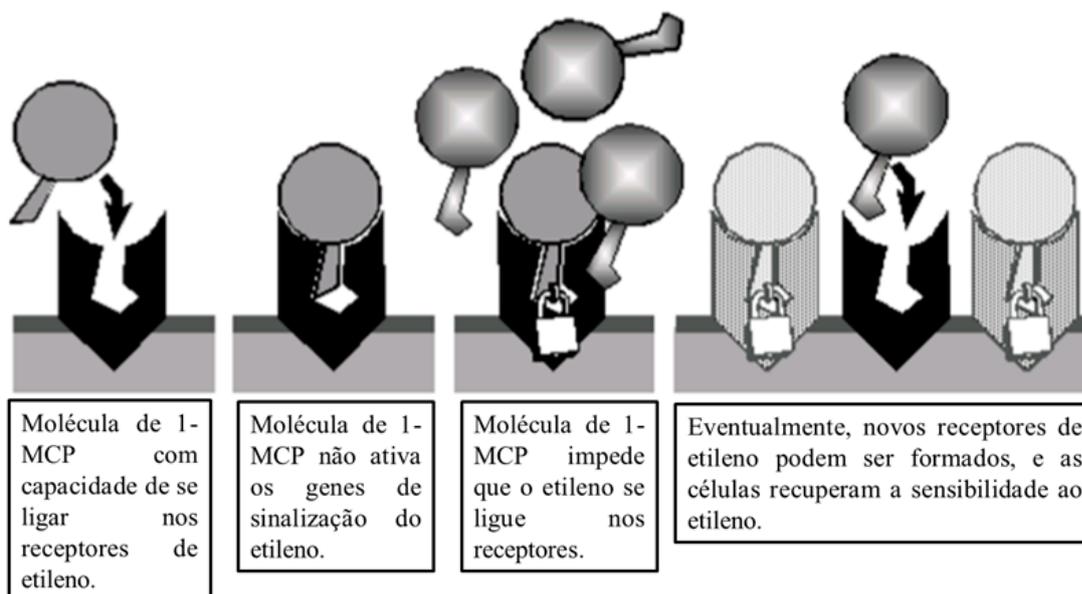


Fig. 3. Esquema representativo demonstrando o modo de ação do 1-metilciclopropeno. Adaptado de Blankenship, 2001.

sensorial dos frutos. Como exemplo tem-se o efeito negativo sobre o aroma dos frutos, o que afetar a aceitabilidade por parte dos consumidores (Silveira et al., 2012; Both et al., 2014).

Atmosfera refrigerada

A atmosfera refrigerada ou frigoconservação fundamenta-se na combinação de baixas temperaturas com alta umidade relativa do ar visando à redução da velocidade do metabolismo respiratório, com conseqüente atraso no processo de amadurecimento (Chong et al., 2013). É o método de conservação pós-colheita mais econômico, sendo a temperatura o principal fator responsável pela redução dos processos metabólicos nos frutos, onde uma diminuição da temperatura em 10°C reduz o metabolismo dos frutos em aproximadamente duas a três vezes (Chitarra e Chitarra, 2005).

O armazenamento em AR é uma prática indispensável na cadeia produtiva da maçã em função da alta perecibilidade dos frutos, do curto período de oferta e da grande quantidade produzida (safra), e em função da demanda ocorrer durante todo o ano.

Embora o armazenamento em AR visando o prolongamento da comercialização seja a forma mais utilizada pelas empresas produtoras de frutos (Mostafavi et al., 2013), a conservação em frio convencional permite que os frutos permaneçam armazenados durante curtos períodos, onde se inicia uma perda de qualidade muito acentuada em função do amadurecimento e da incidência de podridões. A rápida perda de qualidade de frutos armazenados em AR é atribuída à alta taxa respiratória e aos elevados índices de produção de etileno que ocorrem nessa condição (Brackmann et al., 2009; Rudell et al., 2011; Bulens et al., 2012).

Atmosfera controlada

A atmosfera controlada estática/padrão é obtida pela modificação da concentração de gases na atmosfera natural, onde a concentração de CO₂ é aumentada e a concentração de O₂ é diminuída, tendo como principal objetivo a redução, a um valor mínimo, das trocas gasosas relacionadas à respiração do fruto e da produção de etileno. Além disso, faz-se o controle da temperatura e da umidade relativa do ar e, em alguns casos, pode-se ainda eliminar o etileno (Brackmann et al., 2011; Ho et al., 2013).

Para a implantação de atmosfera controlada em câmaras frigoríficas é necessário isolamento térmico associado à uma barreira de gases e de vapores. É necessária ainda uma válvula equalizadora de pressão e um 'pulmão' (saco de compensação de pressão), para eventuais modificações internas de pressão, e evaporador com grande superfície de troca de calor. Com relação aos equipamentos, destacam-se como necessários sensores eletrônicos de temperatura, analisadores de gases (eletrônicos de fluxo contínuo), eliminadores de O₂ (gerador de nitrogênio), eliminadores de CO₂ (adsorvedores de carvão ativado) e eliminadores de etileno (permanganato de potássio, catalisadores). O controle das condições da câmara frigorífica pode ser feita de forma manual, semiautomática ou automática.

Quando comparado ao armazenamento em AR, o armazenamento em AC pode aumentar o período de conservação dos frutos, manter a qualidade superior devido à redução de podridões, distúrbios fisiológicos, perda de peso e murchamento e aumentar o período de comercialização (Both et al., 2014). Essas vantagens ocorrem em função da diminuição da taxa respiratória e da produção de C₂H₄, o que leva a uma drástica redução no metabolismo dos frutos (Santos et al., 2006).

Embora a utilização de AC apresente inúmeras vantagens, deve-se ressaltar que possibilita o desenvolvimento de alguns distúrbios fisiológicos como a redução da capacidade de produzir compostos voláteis (Brackmann et al., 2004; Both et al., 2014) e escurecimento interno (Ho et al., 2013). Além disso, o monitoramento dos níveis de O₂ deve ser feito constantemente, para que não ocorra mudança do metabolismo aeróbico para anaeróbico com produção de etanol e conseqüentemente desenvolvimento de desordens fisiológicas (Wright et al., 2010), o que pode levar à perda dos frutos (Ho et al., 2013).

Atmosfera controlada dinâmica

Atmosfera controlada dinâmica - ACD (Prange et al., 2003, 2007; DeLong et al., 2004a; Zanella et al., 2005; Burdon et al., 2008) é um aprimoramento da atmosfera controlada estática/padrão. É uma tecnologia capaz de identificar a sensibilidade do fruto aos baixos níveis de O₂. Níveis muito baixos de O₂ durante o armazenamento podem alterar o

metabolismo normal do fruto, iniciando a respiração anaeróbica, levando a produção de etanol e como consequência, perda de qualidade. A resposta dos frutos ao estresse por baixos níveis de O_2 e altos níveis de CO_2 pode ser detectada através da medida da produção de etanol (Wright et al., 2010), respiração do fruto e fluorescência da clorofila (Prange et al., 2003; Watkins, 2008a; Wright et al., 2010). O método mais utilizado para detecção dos níveis de O_2 é baseado no monitoramento da fluorescência da clorofila (DeLong et al., 2004a; Wright et al., 2010) através da utilização de sensores (Figura 4).

Com o decorrer do período de armazenamento os níveis de O_2 diminuem e os níveis de CO_2 aumentam, gradativamente, fazendo com que ocorra aumento da fluorescência, indicando que o fruto está em condições de estresse por baixos níveis de O_2 . Após a detecção desse aumento faz-se a injeção de O_2 , que resulta na diminuição da fluorescência da clorofila, indicando que o ambiente de armazenamento está em equilíbrio novamente. Assim, sempre que houver flutuações na fluorescência é necessário ajustar o nível de gases. Este monitoramento ocorre durante todo o período de armazenamento, impedindo a iniciação da respiração anaeróbica dos frutos, mantendo assim a qualidade físico-química e sensorial, e permitindo que os frutos sejam armazenados em níveis extremamente baixos de O_2 (Watkins, 2008a).

A atmosfera controlada dinâmica é uma tecnologia livre de produtos químicos, podendo ser utilizada no armazenamento de frutos provenientes de produção orgânica. Embora o 1-MCP não seja considerado tóxico, não é um produto que ocorre naturalmente na pós-colheita dos frutos (DeLong et al., 2007; Watkins, 2008a). Além disso, ao contrário do que ocorre com a aplicação de 1-MCP, a ACD não aumenta os riscos de injúrias externas causadas por CO_2 (Razafimbelo et al., 2006, Watkins, 2007), além de permitir que o fruto retome a maturação normal após o armazenamento.

Pesquisas recentes demonstram que a firmeza de polpa, um dos principais atributos de qualidade para a comercialização de maçãs, foi similar entre frutos tratados com 1-MCP e frutos armazenados em ACD durante o período de armazenamento. Entretanto, durante o período de comercialização verificou-se maior firmeza de polpa nos frutos tratados com 1-MCP (DeLong et al., 2004b). Ainda em maçãs, quando se comparam frutos armazenados em AC padrão (estática) com frutos armazenados em ACD verifica-se que, para as cultivares 'Cortland' e 'Delicious', há maior firmeza de polpa nos frutos que foram mantidos em ACD, tanto após armazenamento quanto durante a comercialização (DeLong et al., 2007).

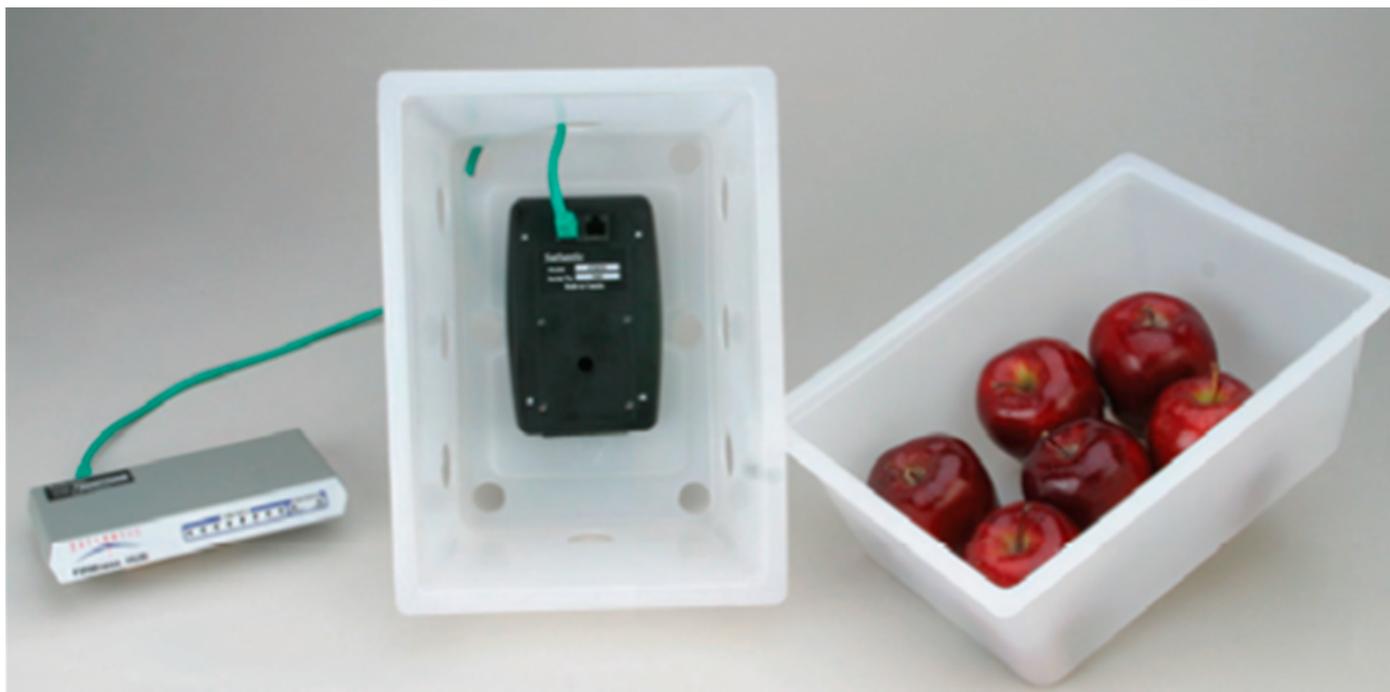


Fig. 4. Sensor para detecção de fluorescência utilizado em atmosfera controlada dinâmica.
Fonte: Watkins, 2008a.

Embora a ACD seja considerada uma tecnologia bastante promissora, apresentando vantagens sobre a utilização de AC padrão, e em alguns casos sobre a utilização de 1-MCP, deve-se ressaltar que esta tecnologia requer salas de AC de alta qualidade, controle eletrônico da atmosfera e alto custo de implantação e manutenção. Além disso, a tecnologia ACD foi testada somente em um pequeno grupo de variedades de maçãs, sendo necessário o desenvolvimento de novos estudos, visando identificar a resposta e a adaptação de variedades locais ao armazenamento em ACD.

Cuidados necessários para obtenção da eficiência máxima na utilização de atmosfera controlada

Para que a eficiência máxima do armazenamento em atmosfera controlada seja atingida, e que a firmeza de polpa esteja no limite mínimo aceitável (9 lbs), deve-se levar em consideração fatores de campo (pré-colheita) e fatores relacionados ao ambiente de armazenamento (pós-colheita). Ou seja, a condição ideal de armazenamento varia de acordo com a cultivar, condições climáticas durante a safra, estágio de maturação no momento da colheita, uniformidade dos frutos, temperatura e flutuações na concentração de gases.

Considerando que existem alterações na taxa metabólica de frutos de diferentes cultivares, entende-se que a exigência de temperatura e atmosfera durante o período de armazenamento também varie em função da cultivar. Dessa forma, as condições de AC empregadas em maçãs do grupo 'Gala' não são as mesmas recomendadas para maçãs do grupo 'Fuji', já que esses frutos apresentam perfil de respiração e de produção de etileno bastante diferenciados. Nesse sentido, é necessário estabelecer as concentrações de gases e a temperatura que serão empregadas de acordo com a cultivar e/ou clone que está sendo trabalhado. Na literatura é possível encontrar tabelas que apresentam as temperaturas e as concentrações de O_2 e CO_2 mais indicadas para cada cultivar.

Um grande número de estudos tem demonstrado que o estágio ideal para a colheita de maçãs destinadas ao armazenamento caracteriza-se pela mínima taxa respiratória e pela ausência da síntese de etileno autocatalítico. Dessa forma, para que a eficiência máxima da tecnologia seja atingida é fundamental

que todos os frutos que serão armazenados se encontrem nesse estágio. Para isso, é indispensável a realização da colheita em repasses, para evitar que os frutos sejam colhidos precocemente ou tardiamente. Assim, de acordo com o estágio de maturação no momento da colheita destina-se o fruto a determinada condição de armazenamento. Frutos colhidos em estágio de maturação avançada (firmeza de polpa abaixo de 14 lbs) podem ser mantidos em AR e destinados à comercialização imediata, já que apresentam curta vida de pós-colheita, não compensando a utilização de armazenamento em AC. Por outro lado, frutos colhidos muito precocemente (firmeza de polpa acima de 20 lbs) têm seu processo de amadurecimento comprometido, apresentando baixa qualidade.

Frutos de mesma cultivar e mesmo estágio de maturação, porém de tamanhos diferentes, também apresentam metabolismo diferenciado. Por exemplo, frutos menores perdem mais massa em função do aumento da relação área/volume e da quantidade de estômatos e lenticelas, dessa forma devem ser armazenados em condições de temperatura, umidade e atmosfera diferentes da utilizada para frutos maiores.

Por fim, ressalta-se que as flutuações na concentração de gases durante o período de armazenamento podem induzir metabolismos indesejáveis. Nesse sentido, destaca-se que condições extremamente baixas de O_2 podem levar à indução da respiração anaeróbica dos frutos, com produção de etanol. No entanto, níveis elevados de O_2 permitem o aumento da taxa respiratória e da produção de etileno, acelerando o processo de maturação, levando à perda de qualidade dos frutos. Nesse aspecto, ressalta-se a importância da perfeita vedação das câmaras de AC, a qual deve passar por constantes testes de estanqueidade, para evitar a entrada de ar durante o armazenamento.

Qualidade de maçãs cv. Gala clone Baigent armazenadas em diferentes condições e períodos de armazenamento

Para avaliar o efeito de diferentes tecnologias de conservação na qualidade de maçãs 'Gala', realizou-se um estudo com armazenamento em AR e em AC com diferentes concentrações de O_2 . Avaliou-se ainda o efeito da aplicação de 1 ppm de 1-MCP em ambas as condições de conservação. Os frutos

foram armazenados durante nove meses. Maçãs conservadas em AR ($0^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, 90% UR ± 5) foram avaliadas a cada dois meses, seguido de sete dias em temperatura ambiente. E os frutos mantidos em AC (0,5, 1,0 e 1,5% de O_2 com 2% de CO_2 ; e as mesmas condições de temperatura e umidade utilizadas em AR) foram analisados somente aos nove meses de armazenamento, seguido de sete dias em temperatura ambiente.

Ao longo do armazenamento em AR verificou-se que os frutos tratados com 1-MCP apresentaram maior firmeza de polpa (FP) que frutos não tratados. Nesse caso, os frutos foram colhidos com FP média de 18 lbs e após quatro meses de armazenamento, os frutos controle apresentam FP média de 11 lbs, enquanto que os frutos tratados com 1-MCP apresentaram FP média de 17 lbs. Aos 8 meses, a FP dos frutos não tratados caiu pela metade (9 lbs), e nos frutos tratados com 1-MCP a FP foi de 13,7 lbs (Tabela 1). Essa diminuição drástica na FP pode ser explicada pela ineficiência da condição AR no controle da produção de etileno (Lima et al., 2002). No caso dos frutos que receberam 1-MCP, a redução da FP parece estar associada a síntese de novos receptores para o etileno (Blankenship, 2001).

Nos frutos não tratados, o teor de sólidos solúveis (SS) aumentou durante os meses iniciais de armazenamento em AR, apresentando uma queda aos 8 meses (Tabela 1). Nos meses iniciais, sugere-

se que o aumento de sólidos solúveis ocorreu em função da degradação de pectinas e da hidrólise do amido. Já a queda verificada nos meses finais pode ser explicada pelo avançado estágio de maturação, onde há um consumo intenso das reservas pelo processo respiratório. Nos frutos que receberam 1-MCP o teor de SS se manteve constante ao longo do armazenamento (Tabela 1), indicando uma redução no metabolismo dos frutos, com atraso do amadurecimento.

Em ambos os tratamentos, o teor de ácidos orgânicos diminuiu significativamente ao longo do período de conservação, apresentando valores de 1,4 e 2,4 meq de ácido málico aos 8 meses, para frutos não tratados e tratados com 1-MCP, respectivamente. Assim como a redução do teor de SS, a diminuição da acidez titulável (AT) esta relacionada com alta taxa respiratória durante o armazenamento, sendo mais acentuada em frutos não tratados com 1-MCP (Tabela 1).

O índice de farinosidade foi mais elevado nos frutos não tratados do que nos frutos tratados com 1-MCP, em ambos os períodos de avaliação, sendo esse distúrbio detectado já no primeiro mês de armazenamento de frutos não tratados, e após o terceiro mês nos frutos que receberam o inibidor (*Dados não mostrados*). De forma similar à perda de FP, a alta incidência de farinosidade esta diretamente associada à elevada produção de etileno nessa condição de armazenamento (Storch et al., 2011).

Tabela 1. Qualidade físico-química de maçãs 'Gala' clone Baigent, tratadas e não tratadas com 1-MCP, armazenadas durante 8 meses em atmosfera refrigerada. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, 2012/2013.

Tratamento	Período de armazenamento (meses)				
	0	2	4	6	8
Sólidos Solúveis - SS ($^{\circ}\text{Brix}$)					
Sem 1-MCP	11,5cA	13,1bB	13,5bA	14,4aA	12,2cB
Com 1-MCP	11,6bA	13,8aA	13,9aA	13,8aB	13,4aA
Acidez Titulável - AT (meq 100 mL ⁻¹ de ácido málico)					
Sem 1-MCP	4,3aA	3,6bB	4,1abA	2,3cB	1,4dB
Com 1-MCP	4,6aA	4,4aA	3,3bB	3,2bA	2,4cA
Firmeza de Polpa - FP (lbs)					
Sem 1-MCP	19,5aA	15,1bB	11,1cdB	11,7cB	9,8dB
Com 1-MCP	18,8aA	18,2aA	17,5abA	16,3bA	13,7cA

¹⁾ Médias acompanhadas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) comparando os períodos de armazenamento dentro de cada tratamento (com e sem 1-MCP). Médias acompanhadas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$) comparando os tratamentos dentro de cada período.

²⁾ Atmosfera refrigerada: $0^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, 90% UR ± 5 .

Diferentemente do observado em frutos armazenados em AR, o armazenamento em AC foi eficaz na manutenção da qualidade de maçãs 'Gala' clone Baigent durante nove meses de armazenamento seguido de sete dias em temperatura ambiente.

Neste estudo verificou-se que as concentrações de oxigênio testadas (0,5; 1,0 e 1,5%) não influenciaram significativamente a manutenção da FP durante longos períodos de armazenamento, sendo observada uma FP média de 16 lbs. Quando se comparam frutos que receberam e não receberam o antagonista do etileno, verificou-se uma leve diminuição na FP de frutos não tratados mantidos em condições de AC com 1,0 e 1,5% de O₂, no entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Conforme esperado, a menor firmeza de polpa foi verificada em frutos mantidos em AR (Tabela 2). Esses resultados são contrastantes aos estudos desenvolvidos por Bai et al., (2005), que verificaram que em maçãs 'Gala', a utilização de 1-MCP mantém a FP independente da condição de armazenamento (AR ou AC), e que frutos não tratados apresentam elevada redução na FP, mesmo se mantidos em AC. Além disso, DeLong et al., (2004a) e Watkins et al., (2000) também encontraram resultados divergentes aos obtidos nesse estudo, onde os autores verificaram que a utilização da combinação 1-MCP + CA é

mais efetiva na manutenção da FP. A discrepância verificada entre os diferentes estudos pode estar relacionada à divergência entre clones, cultivares, estágio de maturação no momento da colheita, períodos de armazenamento, tamanho de fruto e principalmente condições ambientais durante a safra.

Com relação ao teor de SS, verificou-se que não houve diferença significativa entre as concentrações de O₂ testadas. No entanto, frutos não tratados armazenados em AC apresentaram teores mais elevados de SS que frutos tratados com o inibidor armazenados nas mesmas condições (Tabela 2). O baixo teor de SS verificado em frutos tratados com 1-MCP indica um atraso do processo de amadurecimento, que ocorreu devido à inibição da ação do etileno. Já o baixo conteúdo de sólidos solúveis observados em frutos mantidos em AR pode ser explicado pelo avançado estágio de amadurecimento dos frutos, onde os açúcares foram utilizados em processos vitais da célula.

Frutos mantidos em AC tiveram redução significativa no teor de ácidos orgânicos, porém em níveis aceitáveis. Verificou-se que frutos tratados com 1-MCP apresentaram teores significativamente maiores de ácidos orgânicos, exceto nos frutos mantidos em AC com 0,5% de O₂, que apresentaram valores de acidez similares

Tabela 2. Qualidade físico-química de maçãs 'Gala' clone Baigent, tratadas e não tratadas com 1-MCP, armazenadas em diferentes condições de armazenamento. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, 2012/2013.

Tratamento	Condições de armazenamento				
	TA	AR	AC 0,5%	AC 1,0%	AC 1,5%
Sólidos Solúveis - SS (°Brix)					
Sem 1-MCP	14,13aA	12,63bB	15,16aA	14,86aA	14,26aA
Com 1-MCP	13,73aA	14,1aA	13,6aB	14,06aA	12,90aB
Acidez Titulável – AT (meq 100 mL ⁻¹ de ácido málico)					
Sem 1-MCP	4,8aA	1,4dB	3,3bA	2,9cB	2,8cB
Com 1-MCP	4,7aA	2,1dA	3,4cA	3,8bA	3,7bcA
Firmeza de Polpa – FP (lbs)					
Sem 1-MCP	18,07aA	9,36bB	16,56aA	16,94aA	16,49aA
Com 1-MCP	18,29aA	13,50bA	16,46aA	18,10aA	17,73aA

¹⁾ Médias acompanhadas por mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) comparando as condições de armazenamento dentro de cada tratamento (com e sem 1-MCP). Médias acompanhadas por mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$) comparando os tratamentos (com e sem 1-MCP) dentro de cada condição de armazenamento.

²⁾ TA: Temperatura ambiente (~20°C) durante sete dias; AR: armazenamento refrigerado (0°C ± 0,5, 90% UR ± 5) durante nove meses mais sete dias em TA; AC: atmosfera controlada com diferentes concentrações de O₂ (0,5; 1 e 1,5%) e 2% de CO₂ durante nove meses mais sete dias em TA, com as mesmas condições de temperatura e umidade utilizadas em AR.

entre si (Tabela 2). O maior teor de ácidos orgânicos observado em frutos tratados com 1-MCP parece estar associado com o atraso no processo de amadurecimento.

Em análise sensorial, realizada com um painel de 15 participantes, foi possível observar que frutos tratados e não tratados com 1-MCP, armazenados durante 9 meses em diferentes condições de AC, tiveram aceitação similar a frutos que permaneceram em temperatura ambiente durante sete dias após a colheita (Figura 5A). A menor aceitação foi verificada para frutos que não receberam 1-MCP e foram armazenados em AR, os quais apresentaram menor crocância e suculência (Figura 5B e 5C).

Embora tenham sido considerados como mais aceitos, frutos mantidos em AC foram considerados com baixo odor, sendo esse atributo ainda menos

pronunciado quando os frutos receberam 1-MCP. Porém, é interessante destacar que frutos não tratados, mantidos em AC com 1,5% de O_2 , foram classificados como levemente mais aromáticos quando comparados aos demais frutos mantidos em AC. Frutos mantidos em AR foram considerados com maior odor (Figura 5D).

O índice de farinosidade se manteve baixo em ambas as condições de AC testadas, tanto em frutos tratados quanto não tratados com 1-MCP, onde os frutos receberam notas entre 3 e 4, valor similar ao observado em frutos que após a colheita permaneceram em temperatura ambiente durante sete dias. No entanto, frutos armazenados em AR apresentaram elevados índices de farinosidade, sendo atribuídos valores de 6 e 7, para frutos tratados e não tratados com 1-MCP, respectivamente (Figura 6).

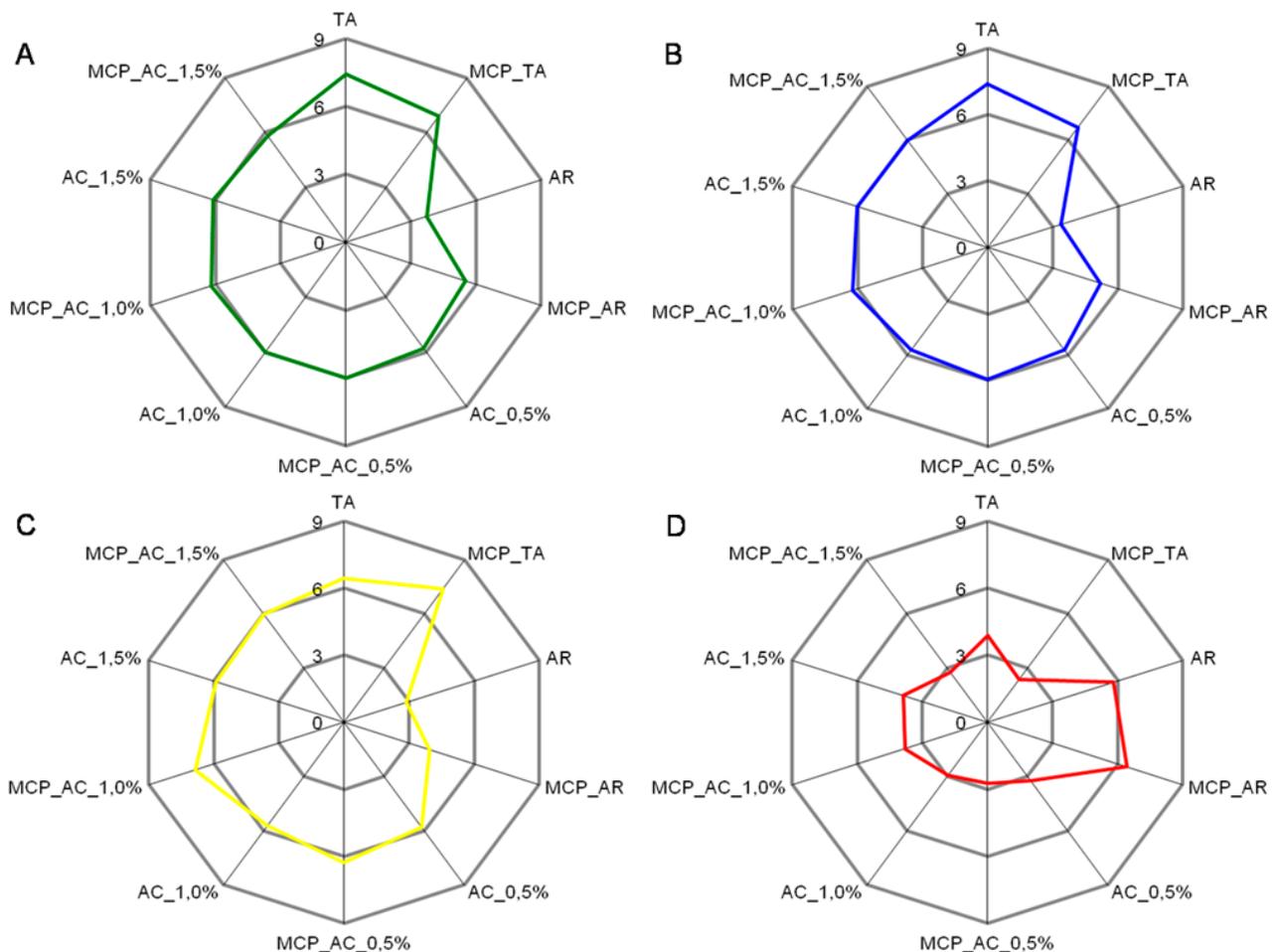


Fig. 5. Perfil sensorial de frutos de maçãs 'Gala' clone Baigent submetidas a diferentes condições de armazenamento. A) Apreciação Global; B) Suculência; C) Crocância; D) Odor. TA: Temperatura ambiente ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) durante sete dias após a colheita; AR: armazenamento refrigerado ($0^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, $90\% \text{ UR} \pm 5$) durante nove meses mais sete dias em TA; AC: atmosfera controlada, com diferentes concentrações de O_2 (0,5; 1 e 1,5%) e 2% de CO_2 , com as mesmas condições de temperatura e umidade utilizadas para AR, durante nove meses mais sete dias em TA. Quanto mais elevado o valor, maior a intensidade do atributo avaliado.

Os resultados desse estudo sugerem que o odor não tem influência significativa na aceitação dos frutos, a qual é diretamente proporcional à suculência e crocância e inversamente proporcional à farinosidade (Figuras 5 e 6). Além disso, embora o armazenamento em AC afete negativamente o odor dos frutos, o fato de manter com eficiência outros parâmetros de qualidade (Tabela 2) e a boa aceitação pelos consumidores (Figura 5), faz com que esta tecnologia seja eleita como a mais eficiente na conservação de maçãs.

Em análises moleculares verificou-se que genes relacionados à síntese, sinalização e resposta ao etileno são altamente expressos em frutos armazenados em AR já no momento da saída da câmara fria, confirmando que a perda de qualidade observada em frutos armazenados nessas condições está relacionada à síntese de etileno. Verificou-se ainda que um gene chave na síntese de ésteres, principais compostos voláteis durante o amadurecimento de maçãs, é pouco expresso em frutos tratados com 1-MCP e armazenados em AC, apresentando um leve aumento em frutos não tratados mantidos em condições de 1,5% de O₂ e em AR (*Dados não apresentados*), o que pode explicar o perfil de odor observado na análise sensorial.

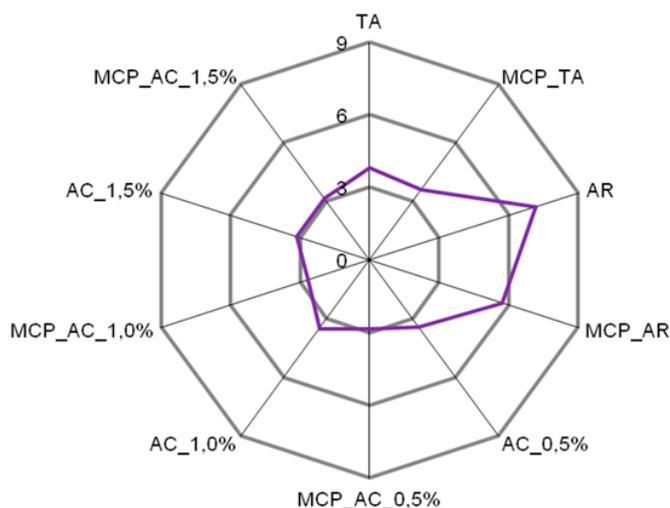


Fig. 6. Índice de farinosidade em maçãs 'Gala' clone Baigent submetidas a diferentes condições de armazenamento. TA: Temperatura ambiente (~20°C) durante sete dias após a colheita; AR: armazenamento refrigerado (0°C ± 0,5, 90% UR ± 5) durante nove meses mais sete dias em TA; AC: atmosfera controlada, com diferentes concentrações de O₂ (0,5; 1 e 1,5%) e 2% de CO₂, com as mesmas condições de temperatura e umidade utilizadas para AR, durante nove meses mais sete dias em TA. Quanto mais elevado o valor, maior a intensidade do atributo avaliado.

O perfil físico-químico, sensorial e molecular observado neste estudo demonstra claramente a superioridade do sistema AC sobre AR na conservação da qualidade de maçãs durante longos períodos de armazenamento. Acredita-se que os resultados obtidos nesse estudo podem ser utilizados para outros clones do grupo 'Gala'.

Considerações finais

O amadurecimento de frutos é um processo geneticamente programado, responsável pela evolução da maioria dos atributos de qualidade sensorial como aroma, odor, textura, coloração e compostos nutricionais. Em frutos climatéricos, como a maçã, esse processo é regulado pelo etileno. Inúmeros estudos científicos têm sido realizados acerca do processo de amadurecimento, devido à significativa importância dos frutos para dieta humana e para a economia mundial. Análises físicas, químicas, fisiológicas, genéticas e moleculares têm resultado num elevado ganho de conhecimento científico do processo de amadurecimento, e esse conhecimento vem sendo constantemente utilizado para desenvolver técnicas capazes de retardar o amadurecimento e manter a qualidade dos frutos.

Com base nos resultados e na discussão apresentados neste estudo é possível afirmar que as concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5% de O₂ associadas a 2% de CO₂, utilizadas no estabelecimento da atmosfera controlada são eficazes na conservação e na manutenção da qualidade de maçãs 'Gala' clone Baigent durante nove meses de armazenamento.

Com relação ao 1-MCP, pode-se dizer que este inibidor não teve efeito significativo na manutenção da firmeza de polpa quando os frutos foram armazenados em atmosfera controlada. No entanto, a aplicação de 1-MCP tem influência na redução do consumo de ácidos orgânicos quando se utilizam maiores concentrações de O₂. Nesse sentido, sugere-se que para armazenamento de maçãs 'Gala', clone Baigent, deve-se utilizar atmosfera controlada com 1,0 a 1,5% de O₂ e 2% de CO₂ associado a aplicação de 1 ppm de 1-MCP, ou atmosfera controlada com 0,5% de O₂ e 2% de CO₂ sem necessidade do uso de 1-MCP.

Referências

- ACKERMANN, J.; FISCHER, M.; AMADO, R. Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples (cv. Glockenapfel). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v. 40, p. 1131–1134. 1992.
- BAI, J. H.; BALDWIN, E. A.; GOODNER, K. L.; MATTHEIS, J. P.; BRECHT, J. K. Response of four apple cultivars to 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage. **HortScience**. Alexandria VA, v. 40, n. 6, p. 1534–1538, Oct. 2005.
- BLANKENSHIP, S. Ethylene Effects and the Benefits of 1-MCP. **Perishables Handling Quarterly**, Davis, Calif., n. 108, Nov. 2001.
- BOQUETE, E. J.; TRINCHERO, G. D.; FRASCHINA, A. A.; VILELLA, F.; SOZZI, G. O. Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 57-65. 2004.
- BOTH, V.; BRACKMANN, A.; THEWES, F. R.; FERREIRA, D. F.; WAGNER, R. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of 'Royal Gala' apples. **Food Chemistry**, London, v. 156, p. 50-57, Aug. 2014.
- BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A.; NATH, P.; PECH, J. C. Mechanism of fruit ripening. In: PUA, E. C., DAVEY, M. R. **Plant Developmental Biology - Biotechnological Perspectives**, Berlin, v. 1, p. 319-339, 2010.
- BRACKMANN, A.; SESTARI, I.; STEFFENS, C. A.; GIEHL, R. F. H. Qualidade da maçã cv. Gala tratada com 1-metilciclopropeno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1415-1420, 2004.
- BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; NEUWALD, D. A.; GIEHL, R. F. H.; SESTARI, I. Temperatura e otimização da atmosfera controlada para o armazenamento de maçã 'Gala'. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 505-508, 2005.
- 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, set. 2009.
- BRACKMANN, A.; CERETTA, M.; LÚCIO, A. D.; PINTO, J. A. V.; ANESE, R. O. Tolerância da maçã 'Fuji' a baixas temperaturas durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 32, n. 4, p. 1489-1496, 2011.
- BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M.; CIVELLO, P. M.; PALYS, J. M.; BENNETT, A. B. Modification of expansin protein abundance in tomato fruit alters softening and cell wall polymer metabolism during ripening. **Plant Cell**, Rockville MD, v. 11, n. 11, p. 2203-2216, Nov. 1999.
- BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M. Cell wall metabolism in fruit softening and quality members during growth and ripening of tomato fruit. **Plant Molecular Biology**, Zurich, v. 47, n. 1-2, p. 311-339, Sept. 2001.
- BRUMMELL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 33, n. 2, p. 103-119. 2006.
- BULENS, I.; VAN DE POEL, B.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; DE PROFT, M. P.; GEERAERD, A. H.; NICOLAI, B. M. Influence of harvest time and 1-MCP application on postharvest ripening and ethylene biosynthesis of 'Jonagold' apple. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 72, p. 11–19, Oct. 2012.
- BURDON, J.; LALLU, N.; HAYNES, G.; MCDERMOTT, K.; BILLING, D. The effect of delays in establishment of a static or dynamic controlled atmosphere on the quality of 'Hass' avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 2, p. 61-68. July 2008.
- CONTRERAS, C.; BEAUDRY, R. Lipoxigenase-associated apple volatiles and their relationship with aroma perception during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 82, p. 28-38. 2013.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

- CHONG, K. L.; PENG, N.; YIN, H.; LIPSCOM, G. G.; CHUNG, T-S. Food sustainability by designing and modelling a membrane controlled atmosphere storage system. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 114, n. 3, p. 361-374. Feb. 2013.
- DEFILIPPI, B. G.; KADER, A. A.; DANDEKAR, A. M. Apple aroma: alcohol acyltransferase, a rate limiting step for ester biosynthesis, is regulated by ethylene. **Plant Science**, Sofia, v. 168, n. 5, p. 1199-1210, May. 2005.
- DELONG, J. M.; PRANGE, R. K.; LEYTE, J. C.; HARRISON, P. A. A new technology that determines low-oxygen thresholds in controlled-atmosphere-stored apples. **HortTechnology**, Alexandria, v. 14, n. 2, p. 262-266, Apr./June 2004a.
- DELONG, J. M.; PRANGE, R. K.; HARRISON, P. A. The influence of 1-methylcyclopropene on 'Cortland' and 'McIntosh' apple quality following long-term storage. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 5, p. 1062-1065, Aug. 2004b.
- DELONG, J. M.; PRANGE, R. K.; HARRISON, P. A. Chlorophyll fluorescence-based low-O₂ CA storage of organic 'Cortland' and 'Delicious' apples. **Acta Horticulturae**, Bélgica v. 737, p. 31-37. 2007.
- DROGOUDI, P. D.; PANTELIDIS, G. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico-chemical and antioxidant properties in different apple cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, n. 4, p. 752-760. July 2011.
- ECHEVERRÍA, G.; FUENTES, T.; GRAELL, J.; LARA, I.; LÓPEZ, M. L. Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology: A comparison of two seasons. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 29-44, Jan. 2004.
- FAWBUSH, F.; NOCK, J. F.; WATKIN, C. B. Antioxidant contents and activity of 1-methylcyclopropene (1-MCP) - treated 'Empire' apples in air and controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 30-37. Apr. 2009.
- FIORAVANÇO, J. C.; GIRARDI, C. L.; CZERMAINSKI, A. B. C.; SILVA, G. A.; NATCHTIGALL, G. R.; OLIVEIRA, P. R. D. **Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2010. 60 p. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 71).
- FLORES, F.; EL YAHAOUI, F.; DE BILLERBECK, G.; ROMOJARO, F.; LATSHE, A.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C.; AMBID, C. Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 53, n. 367, p. 201-206, Feb. 2002.
- FUJIMOTO, S. Y.; OHTA, M.; USUI, A.; SHINSHI, H.; OHME-TAKAGI, M. Arabidopsis ethylene-responsive element binding factors act as transcriptional activators or repressors of GCC box-mediated gene expression, **Plant Cell**, Rockville MD, v. 12, n. 3, p. 393-404, Mar. 2000.
- GUIS, M.; BOTONDI, R.; BEN AMOR, M.; AYUB, R.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C.; LATSHE, A. Ripening-associated biochemical traits of cantaloupe Charentais melons expressing an antisense ACC oxidase transgene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 122, n. 6, p. 748-751. Nov. 1997.
- GWANPUA, S. G.; VERLINDEN, B. E.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; BULENS, I.; VAN DE POEL, B.; VAN IMPE, J.; NICOLAÏ, B. M.; GEERAERD, A. H. Kinetic modeling of firmness breakdown in 'Braeburn' apples stored under different controlled atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 67, p. 68-74, May 2012.
- HIDALGO, M. S.; TECSON-MENDOZA, E. M.; LAURENA, A. C.; BOTELLA, J. R. Hybrid 'Sinta' papaya exhibits unique ACC synthase 1 cDNA isoforms. **Journal of Biochemistry and Molecular Biology**. v. 38, n. 3, p. 320-327. May 2005.
- HO, Q. T.; VERBOVEN, P.; VERLINDEN, B. E.; SCHENK, A.; NICOLAÏ, B. M. Controlled atmosphere storage may lead to local ATP deficiency in apple. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 78, p. 103-112, April 2013.
- HOANG, N. T. T., GOLDING J. B.; WILKES M. A. The effect of postharvest 1-MCP treatment

and storage atmosphere on 'Cripps Pink' apple phenolics and antioxidant activity. **Food Chemistry**, London, v. 127, n. 3, p. 1249-1256, Aug. 2011.

IUCHI, V. L. **Botânica e Fisiologia**. In: EPAGRI. A cultura da macieira. Florianópolis, 2006. p. 59-104.

JAYANTY, S. S.; CANOLES, M.; BEAUDRY, R. M. Concentration dependence of 'Redchief Delicious' apple fruit softening and chlorophyll fluorescence to repeated doses of 1-methylcyclopropene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 129, n. 5, p. 760-765, Sept. 2004.

KWEON, H. J.; KANG, I. K.; KIM, M. J.; LEE, J.; MOON, Y. S.; CHOI, C.; CHOI, D. G.; WATKINS, C. B. Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 157, p. 60-64, June 2013.

KONING, R. E. Fruit Ripening. **Plant Physiology: Information Website**, 1994. Disponível em: <http://plantphys.info/plants_human/fruitgrowripe.shtml> . Acesso em: 13 de abril de 2014.

LIMA, L. C.; BRACKMANN, A.; CHITARRA, M. I. F.; BOAS, E. V. B. V.; REIS, J. M. R. Características de qualidade da maçã 'Royal Gala' armazenada sob refrigeração e atmosfera controlada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 354-361, Mar/Apr. 2002.

LI, T.; TAN, D.; YANG, X.; WANG, A. Exploring the apple genome reveals six ACC synthase genes expressed during fruit ripening. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 157, p. 119-123, June 2013.

LU, X-G.; MA, Y-P.; LIU, X-H. Effects of Maturity and 1-MCP Treatment on Postharvest Quality and Antioxidant Properties of 'Fuji' Apples during Long-term Cold Storage. **Horticulture Environment and Biotechnology**, Korea, v. 53, n. 5, p. 378-386, Oct. 2012.

MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. F.; SHAHBAZI, S.; MIRJALILI, S. M. Integrated effect of gamma radiation and biocontrol agent on quality parameters of apple fruit:

An innovative commercial preservation method. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 91, p. 193-199, Oct. 2013.

PRANGE, R. K.; DELONG, J. M.; LEYTE, J. C.; HARRISON, P. A. Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit and vegetables. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 128, n. 4, p. 603-607, July 2003.

PRANGE, R. K.; DELONG, J. M.; HARRISON, P.; MCLEAN, S.; SCRUTTON, J.; CULLEN, J. 2007. Method and apparatus for monitoring a condition in chlorophyll containing matter. **U.S. Patent**, n.WO/2002/006795.

RAZAFIMBELO, F.; NOCK, J.; WATKINS, C. Managing external carbon dioxide injury with and without SmartFresh™ (1-MCP). **New York Fruit Quarterly**, Geneva, v. 14, p. 7-10, Fall 2006.

RUDELL, D. R.; BUCHANAN, D. A.; LEISSO, R. S.; WHITAKER, B. D.; MATTHEIS, J. P.; ZHU, Y.; VARANASI, V. Ripening, storage temperature, ethylene action, and oxidative stress alter apple peel phytosterol metabolism. **Phytochemistry**, London, v. 72, n. 11-12, p. 1328-1340. Aug. 2011.

SANTOS, C. M. S.; BOAS, E.V.B.V.; BOTREL, N.; PINHEIRO, A. C. M. Influência da atmosfera controlada sobre a vida pós-colheita e qualidade de banana prata. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 317-322. Mar./Apr. 2006.

SEPPÄ, L.; PELTONIEMI, A.; TAHVONEN, R.; TUORILA, H. Flavour and texture changes in apple cultivars during storage. **LWT - Food Science and Technology**, Maryland Heights, v. 54, n. 2, p. 500-512, Dec. 2013.

SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. 454 p.

SILVA, J. A.; DA COSTA, T. S.; LUCCHETTA, L.; MARINI, L. J.; ZANUZO, M. R.; NORA, L.; NORA, A. F. R.; TWYMAN, R. M.; ROMBALDI, C. V. Characterization of ripening behavior in transgenic melons expressing an antisense 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase gene from apple.

Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 263-268. June 2004.

SILVEIRA, S. V.; ANZANELLO, R.; SIMONETTO, P. R.; GAVA, R.; GARRIDO, L. R.; SANTOS, R. S. S.; GIRARDI, C. L. **Aspectos Técnicos da Produção de Quivi**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. 82 p. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 79).

SILVEIRA, F. N.; KRETZSCHMAR, A. RUFATO, A.; BOGO, L.; FIORAVANÇO, J. C. Relação entre as características morfológicas de frutos e incidência de podridão carpelar em clones de macieira 'Gala' e 'Fuji' sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 75-85. Mar. 2013.

SHANGGUAN, L.; SONG, C.; LENG, X.; KAYESH, E.; SUN, X.; FANG, J. Mining and comparison of the genes encoding the key enzymes involved in sugar biosynthesis in apple, grape, and sweet orange. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 165, p. 311-318, Jan. 2014.

STEVENSON, D. G.; DOMOTO, P. A.; JANE, J. Structures and functional properties of apple (*Malus domestica* Borkh) fruit starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 63, n. 3, p. 432-441, Mar. 2006.

STORCH, T. T. **Ação do etileno na expressão do gene MdAF3 e na atividade enzimática alfa-L-arabinofuranosidase em maçã (*Malus domestica* Borkh.) cv. 'Gala' durante o armazenamento refrigerado**. 2011. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TOIVONEN, P. M. A.; LU, C. W. Studies on elevated temperature, short-term storage of 'Sunrise' Summer apples using 1-MCP to maintain quality. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Budapest, v. 80, n. 4, p. 439-446, July 2005.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F.; WHITAKER, B. D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions.

Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 19, n. 1, p.17-32, May 2000.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment, and temperature of treatment, on ripening of air- and controlled atmosphere stored apples. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 7, p. 2096-2101, Dec. 2005.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, New York, v. 24, n. 4, p. 389-409, July/Aug.2006.

WATKINS, C. B. The effect of 1-MCP on the development of physiological storage disorders in horticultural crops. **Stewart Postharvest Review**, Canadá, v. 3, n. 2, p. 11. Apr. 2007.

WATKINS, C. B. Dynamic controlled atmosphere storage – a new technology for the New York storage Industry? **NY Fruit Quart.** v. 16, p. 23-26. 2008a.

WATKINS, C. B. Overview of 1-Methylcyclopropene Trials and Uses for Edible Horticultural Crops. **HortScience**, Alexandria, v. 43, n. 1, p. 86-94. Feb. 2008b.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 69, p. 24-31, July 2012.

WEBER, A.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. P. Atmosfera controlada para armazenamento de maçã Maxi Gala. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 294-301, Apr./ June 2013.

WRIGHT, A. H.; DELONG, J. M.; HARRISON, P. A.; GUNAWARDENA, A. H. L. A. N.; PRANGE, R. K. The effect of temperature and other factors on chlorophyll a fluorescence and the lower oxygen limit in apples (*Malus domestica*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 21-28, Jan. 2010.

XIONG, A. S.; YAO, Q. H.; PENG, R. H.; LI, X.; HAN, P. L.; FAN, H. Q. Different effects on ACC oxidase

gene silencing triggered by RNA interference in transgenic tomato. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 23, n. 9, p. 639-646, Feb. 2005.

YANG, X.; SONG, J.; CAMPBELL-PALMER, L.; FILLMORE, S.; ZHANG, Z. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 78, p. 55-66, Apr. 2013.

YOSHIOKA, H.; AOBA, K.; KASHIMURA, Y. Molecular Weight and Degree of Methoxylation Cell Wall Polyuronide during Softening in Pear and Apple Fruit. **The Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 4, p. 600-606, July 1992.

ZANELLA, A.; CAZZANELLI, P.; PANARESE, A.; COSER, M.; CHISTÈ, C.; ZENI, F. Fruit fluorescence response to low oxygen stress: modern storage technologies compared to 1-MCP treatment of apple.

Acta Horticulturae, Holanda, v. 682, p. 1535-1542, June 2005.

ZARDO, D. M.; DANTAS, A. P.; VANZ, R.; WOSIACKI, G.; NOGUEIRA, A. Intensidade de pigmentação vermelha em maçãs e sua relação com os teores de compostos fenólicos e capacidade antioxidativa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 148-154, jan./mar. 2009.

ZHU, Z.; LIU, R.; LI, B.; TIAN, S. Characterisation of genes encoding key enzymes involved in sugar metabolism of apple fruit in controlled atmosphere storage. **Food Chemistry**, London, v. 141, n. 4, p. 3323-3328, Dec. 2013.

Agradecimentos

Ao Técnico Wanderson Araujo Ferreira responsável pela coleta de dados e pelos ensaios conduzidos na Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS.

Circular Técnica, 114

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, 515 - Caixa Postal 130
95700-000 Bento Gonçalves, RS
Fone: (0xx) 54 3455-8000
Fax: (0xx) 54 3451-2792
<https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/>

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



1ª edição

Comitê de Publicações

Presidente: *César Luís Girardi*
Secretária-Executiva: *Sandra de Souza Sebben*
Membros: *Adeliano Carginin, Alexandre Hoffmann, Ana Beatriz da Costa Czermainski, Henrique Pessoa dos Santos, João Caetano Fioravanco, João Henrique Ribeiro Figueredo, Jorge Tonietto, Luísa Veras de Sandes Guimarães e Viviane Maria Zanella Bello Fialho*

Expediente

Editoração gráfica: *Alessandra Russi*
Normalização: *Rochelle Martins Alvorcem*