

**MARIUCCIA SCHLICHTING DE MARTIN**

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE PERAS 'ROCHA'  
ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA E A  
RELAÇÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA COM A  
COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens

Coorientador: Prof. Dr. Auri Brackmann

**LAGES, SC  
2015**

M382q

Martin, Mariuccia Schlichting de  
Qualidade pós-colheita de peras 'Rocha'  
armazenadas em atmosfera controlada e a relação  
do escurecimento da polpa com a composição  
mineral dos frutos / Mariuccia Schlichting de  
Martin. - Lages, 2015.  
90 p.: il.; 21 cm

Orientador: Cristiano André Steffens

Coorientador: Auri Brackmann

Bibliografia: 81-90p.

Tese (doutorado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal, Lages, 2015.

1. *Pyrus communis*. 2. Armazenamento. 3. Pós-  
colheita. 4. Amadurecimento. 5. Distúrbio  
fisiológico. 6. Teores minerais. I. Martin,  
Mariuccia Schlichting de. II. Steffens,  
Cristiano André. III. Universidade do Estado de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal. IV. Título

CDD: 634.13 - 20.ed.

**MARIUCCIA SCHLICHTING DE MARTIN**

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE PERAS 'ROCHA'  
ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA E A  
RELAÇÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA COM A  
COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Banca examinadora:

Orientador:

  
Prof. Dr. Cristiano André Steffens  
Universidade do Estado de Santa Catarina

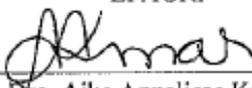
Membro:

  
Dra. Lucimara Rogéria Antonioli  
Embrapa Uva e Vinho

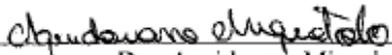
Membro:

  
Dr. Marcelo Couto  
EPAGRI

Membro:

  
Prof. Dra. Aike Anneliese Kretzschmar  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

  
Dra. Aquidauana Miqueloto  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**Lages, 09 de julho de 2015**



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Adriana  
Cechinel Schlichting De  
Martin e Alexandre De Martin,  
com todo meu amor e minha  
gratidão.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, que atendeu minhas preces todas as noites quando pedia força e sabedoria para concretizar meus objetivos. Aos meus familiares, em especial ao meu pai Alexandre De Martin e à minha mãe Adriana Cechinel Schlichting De Martin agradeço por todo o amor, carinho e apoio que me deram, mostrando o que existe de mais valioso e importante na vida de uma pessoa. Às minhas irmãs Eugenia e Nivia, agradeço por todo o companheirismo e por todas as risadas que me fizeram superar momentos difíceis. Ao meu avô José De Martin, que sempre apoiou a minha carreira científica.

Ao meu noivo Eduardo da Silva Daniel, por todo o apoio, carinho, amor e cumplicidade. Agradeço por todo o auxílio e toda a paciência que teve comigo durante esse percurso, por todos os momentos bons que passamos juntos e por todas as dificuldades que me ajudou a superar. Sou grata por me tornar, a cada dia, uma pessoa melhor.

Ao professor Dr. Cristiano André Steffens, a quem me faltam palavras para agradecer. Sou grata por acreditar em mim e depositar sua confiança, pela compreensão nos momentos de dificuldade, pelas críticas construtivas, pela paciência, dedicação e por tudo o que me ensinou e continua ensinando, sempre me apontando o melhor caminho a seguir.

Ao professor Cassandro Vidal Talamini do Amarante, agradeço pelos excelentes ensinamentos a mim repassados, sempre disposto a ensinar e contribuir em todos os trabalhos, com muita dedicação e sabedoria.

À Dra. Lucimara Rogéria Antoniulli, por todo o conhecimento adquirido na cultura da pera, que foram de grande valia durante o meu doutorado.

Ao professor Auri Brackmann e toda a equipe da UFSM, pela parceria nos trabalhos, comprometimento e colaboração.



A toda a equipe do laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do CAV, aos pós-graduandos Marcos, Clenilso, Mayara, Vinicio, Cristina, João Paulo, Aline, Angélica, Aquidauana, Milton e Francielle, e aos bolsistas Marília, Mônica, João Cláudio, Gabriel, Érica, Daniel, Taís, Bethania e Eduardo por todo o auxílio, amizade e companheirismo. Vocês partilham comigo desta conquista.

À minha amiga Marília, por todo o auxílio, comprometimento e dedicação. Agradeço por ter sido meu braço direito na realização desse projeto, por toda amizade e companheirismo.

Às amigas Cristina e Angélica, por suas contribuições valiosas no meu trabalho e companheirismo nos momentos difíceis.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que essa conquista se tornasse possível.

A todos vocês o meu carinho e a minha gratidão.



## RESUMO

MARTIN, Mariuccia Schlichting De. **Qualidade pós-colheita de peras ‘Rocha’ armazenadas em atmosfera controlada e a relação do escurecimento da polpa com a composição mineral dos frutos.** 2015. 90 p. Doutorado (Tese em Produção Vegetal – Área: Biologia e Tecnologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2015.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de condições de atmosfera controlada (AC) sobre a qualidade de peras ‘Rocha’, bem como a relação da composição mineral da polpa com a incidência de escurecimento de polpa nos frutos. Foram realizados dois experimentos, onde no primeiro experimento objetivou-se avaliar o efeito de diferentes condições de atmosfera controlada (AC) sobre a qualidade de peras ‘Rocha’ produzidas na região Sul do Brasil. Na safra 2012/2013, peras ‘Rocha’ foram colhidas durante a maturação comercial no município de Vacaria, RS, e submetidos a cinco diferentes condições de AC, sendo elas: 0,5 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+1,0 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+2,0 kPa CO<sub>2</sub>; e 1,0 kPa O<sub>2</sub>+3,0 kPa CO<sub>2</sub>. Os frutos permaneceram armazenados durante nove meses sob temperatura de -0,5±0,1°C e UR de 96±2%. Os frutos foram avaliados em relação às taxas respiratória e de produção de etileno, cor da casca (*h*°), firmeza de polpa, atributos de textura, acidez titulável (AT), teor de sólidos solúveis (SS), análises sensoriais, incidência e severidade de escurecimento de polpa, cor da polpa (L) e incidência de podridões. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes



condições de AC sobre ocorrência de escurecimento de polpa em peras 'Rocha', bem como identificar os teores minerais associados à ocorrência de escurecimento de polpa e verificar quais os atributos minerais que melhor discriminam os frutos quanto à suscetibilidade a esse distúrbio. Para esse experimento, os frutos foram colhidos e armazenados durante nove meses de acordo com as mesmas condições de AC descritas para o experimento anterior. Posteriormente, os mesmos foram avaliados com relação à incidência e severidade de escurecimento de polpa sendo, em seguida, separados em dois grupos: com e sem incidência de escurecimento de polpa. Após a separação, a polpa dos frutos foi avaliada com relação aos teores minerais de Ca, Mg, K, N e suas relações. A condição de AC de 1,0 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub> proporcionou menor perda de firmeza de polpa e coloração da casca mais amarelada em relação às demais condições avaliadas. Não houve diferenças em relação aos atributos sensoriais, ao teor de SS e à AT dos frutos. A condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>+3,0 kPa CO<sub>2</sub> apresentou maior incidência (48%) e severidade de escurecimento de polpa, em relação às demais condições de armazenamento. As condições de AC de 0,5 kPa O<sub>2</sub> + <0,03 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub>+ 1,0 kPa CO<sub>2</sub> foram as mais indicadas para o armazenamento de peras 'Rocha', uma vez que as mesmas propiciaram amadurecimento adequado dos frutos sem, contudo, proporcionar aumento na incidência ou severidade de escurecimento de polpa. Frutos sem incidência de escurecimento de polpa apresentaram teores mais elevados de Ca, bem como menores teores de K e menores relações K/Ca, Mg/Ca e N/Ca, comparativamente a frutos com incidência do distúrbio. A relação K/Ca foi o atributo mineral que melhor discriminou peras 'Rocha' com e sem incidência de escurecimento de polpa e, portanto, frutos com menor relação K/Ca apresentam menor suscetibilidade ao desenvolvimento do distúrbio.



**Palavras-chave:** *Pyrus communis*. Armazenamento. Pós-colheita. Amadurecimento. Distúrbio fisiológico. Teores minerais.



## ABSTRACT

MARTIN, Mariuccia Schlichting De. **Postharvest quality of 'Rocha' pears stored in controlled atmosphere and relationship of browning disorders with mineral composition of fruits** 2015. 90 p. Doctorate (Thesis in Vegetable Production - Area: Biology and Post-Harvest) - University of Santa Catarina State. Graduate Program in Vegetable Production, Lages, 2015.

This study aimed to evaluate the effect of controlled atmosphere (CA) conditions on 'Rocha' pears quality, as well as the relationship of the mineral composition of the flesh with browning disorders incidence in fruits. Two experiments were conducted. The first experiment aimed to evaluate the effect of different CA conditions on quality of 'Rocha' pears grown in Southern Brazil. In 2012/2013 season, 'Rocha' pears were harvested at commercial maturity in Vacaria, RS, and submitted to five different CA conditions, as follows: 0.5 kPa O<sub>2</sub>+<0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 2.0 kPa CO<sub>2</sub>; e 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 3.0 kPa CO<sub>2</sub>. The fruits were stored for nine months at  $-0.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  and  $96 \pm 2\%$  RH. The fruits were evaluated regarding to respiratory rate, ethylene production, skin color ( $h^{\circ}$ ), flesh firmness, texture attributes, titratable acidity (TA), soluble solids concentration (SSC), sensory analysis, incidence and severity of browning disorders, flesh color (L) and decay incidence. The second experiment aimed to evaluate the effect of different CA conditions on browning disorders occurrence in 'Rocha' pears, as well as identify the mineral content associated with the incidence of browning disorders and determine which minerals



attributes that best discriminate fruits for susceptibility to this physiological disorder. For this experiment, the fruit were harvested and stored for nine months according to the same CA conditions described for the previous experiment. Subsequently, they were evaluated for browning disorders incidence and severity, and then separated into two groups: with and without browning disorders incidence. After separation, the flesh of the fruits were evaluated regarding to mineral Ca, Mg, K, N content and their ratios. The fruits stored at 1.0 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub> showed a lower loss of firmness and yellower skin compared to other evaluated conditions. There were no differences in sensory attributes, SSC and TA of the fruits. The condition of 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 3.0 kPa CO<sub>2</sub> showed the highest incidence (48%) and severity of browning disorders, compared to other storage conditions. The CA conditions of 0.5 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub> and 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> were the most appropriated for 'Rocha' pears storage, since they have provided adequate ripening to fruit without, however, increased browning disorders incidence or severity. Pears without browning disorders had higher Ca content, as well as lower K levels and lower K/Ca, Mg/Ca and N/Ca ratios, compared to fruits with disorder incidence. The K/Ca ratio was the mineral attribute that best discriminate 'Rocha' pears with or without browning disorders and, therefore, fruit with lower K/Ca ratio show less susceptibility to browning disorders.

**Key-words:** *Pyrus communis*. Storage. Postharvest. Ripening. Physiological disorder. Mineral content.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Taxas de produção de etileno e respiratória e cor da casca de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e UR de  $96\pm 2\%$ ), e avaliadas após zero, três e seis dias em condição ambiente. ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $63\pm 2\%$ ).....52
- Tabela 2 - Firmeza de polpa, forças para a ruptura da casca e para penetração da polpa, acidez titulável e teor de sólidos solúveis de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e UR de  $96\pm 2\%$ ), e avaliadas após seis dias em condição ambiente ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $63\pm 2\%$ ) .....55
- Tabela 3 - Escores médios dos atributos sensoriais de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada por nove meses ( $-0,5\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e UR de  $96\pm 1\%$ ), e avaliadas após seis dias em condição ambiente ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $63\pm 2\%$ ) .....58
- Tabela 4 – Incidência e severidade de escurecimento de polpa, cor da polpa e incidência de podridões em peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e UR de  $96\pm 2\%$ ), e mantidas durante seis dias em condição ambiente ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $63\pm 2\%$ ).....60



Tabela 5 - Incidência e severidade de escurecimento de polpa em peras 'Rocha' submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e UR de $96 \pm 2\%$ ), e mantidas durante seis dias em condição ambiente ( $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e UR de $63 \pm 2\%$ ).....	71
Tabela 6 - Concentração de Ca, Mg, K e N (em mg kg <sup>-1</sup> de massa fresca) e valores das relações Mg/Ca, K/Ca, N/Ca na polpa de peras 'Rocha' sem e com escurecimento de polpa.....	73
Tabela 7 - Coeficientes da taxa de discriminação paralela (TDP) para a função canônica discriminante 1 (FCD1), referente aos atributos minerais da polpa de peras 'Rocha' sem e com escurecimento de polpa .....	74



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Coeficientes canônicos padronizados (CCP) da função canônica discriminante 1, em peras ‘Rocha’ sem e com escurecimento de polpa, considerando os atributos minerais descritos na Tabela 3. Símbolo cheio representa o valor médio de CCP para frutos sem e com escurecimento de polpa. Uma vez que a análise permite apenas uma função canônica discriminante (FCD1), uma segunda função canônica discriminante (FCD2) foi criada com observações aleatórias  $[N(0,1)]$ , apenas para fins de representação gráfica.....76



## LISTA DE ABREVIações

ACC	ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico
ACD	análise canônica discriminante
°Brix	graus Brix
°C	graus Celsius
AC	atmosfera controlada
AR	armazenamento refrigerado
AT	acidez titulável
Ca	cálcio
CaCl <sub>2</sub>	cloreto de cálcio
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CCP	coeficiente canônico padronizado
cm	centímetros
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
CV	coeficiente de variação
FCD	função canônica discriminante
g	grama
h	hora
<i>h°</i>	ângulo 'hue'
HCl	ácido clorídrico
K	potássio
kg	quilograma
kPa	quilo Pascal
L	litro
L	<i>lightness</i>
m	metro
mg	miligrama



Mg	magnésio
mL	mililitro
mm	milímetro
mMol	milimolar
min	minuto
m <sup>3</sup>	metro cúbico
N	Newton (unidade de firmeza de polpa)
N	Normal (concentração de solução química)
N	nitrogênio
N <sub>2</sub>	gás nitrogênio
nmol	nanomolar
NaOH	hidróxido de sódio
ns	não significativo
O <sub>2</sub>	oxigênio
p	probabilidade
pH	potencial hidrogeniônico
ppm	partes por milhão
PSA	<i>Pressure Swing Adsorption</i>
r	coeficiente de correlação canônica
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SC	Santa Catarina
s	segundo
SS	sólidos solúveis
T	toneladas
TDP	taxa de discriminação paralela
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UR	umidade relativa do ar
W	Oeste



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>33</b>
<b>2</b>	<b>AMADURECIMENTO E ESCURECIMENTO DE POLPA EM PERAS ‘ROCHA’ ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA.....</b>	<b>41</b>
2.1	RESUMO .....	41
2.2	ABSTRACT .....	42
2.3	INTRODUÇÃO .....	43
2.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	45
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
2.6	CONCLUSÕES .....	61
<b>3</b>	<b>ESCURECIMENTO DE POLPA EM PERAS ‘ROCHA’ E SUA RELAÇÃO COM A CONDIÇÃO DE ATMOSFERA CONTROLADA E A COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS .....</b>	<b>62</b>
3.1	RESUMO .....	62
3.2	ABSTRACT .....	63
3.3	INTRODUÇÃO .....	64
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	66
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
3.6	CONCLUSÕES.....	78
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As peras europeias (*Pyrus communis*) apresentam formato piriforme e polpa amanteigada quando bem maduras, sendo o tipo de pera mais consumida no Brasil atualmente (FAORO; ORTH, 2010). Apesar da pera ser a terceira fruta de clima temperado mais consumida no país, sendo superada somente pela maçã e pelo pêsego (TOMAZ et al., 2009), a produção interna de peras ainda é bastante reduzida, sendo capaz de suprir apenas uma pequena parte do mercado e somente entre os meses de fevereiro e abril (FAORO; ORTH, 2010).

A produção brasileira de pera, em 2013, correspondeu a 22.078 toneladas, numa área colhida de aproximadamente 1.685 hectares, com produtividade média de 13,1 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2015). Contudo, cerca de 140 mil toneladas de peras, que representam um montante de US\$ 120,6 milhões, são importadas anualmente com a finalidade de atender a alta demanda do mercado consumidor, representando a maior percentagem no total dos frutos *in natura* importados pelo Brasil: 54,8% da quantidade e 49,6% do valor (FAORO; ORTH, 2010). Além da baixa produção, a diferença significativa de qualidade entre peras nacionais e importadas proporciona aos frutos produzidos no país baixa competitividade frente ao mercado consumidor (FIORAVANÇO; OLIVEIRA, 2014).

Existem muitos problemas que ainda dificultam o desenvolvimento da cultura da pereira no Sul do Brasil. Alguns deles, como o atendimento parcial às exigências climáticas da cultura nas principais regiões produtoras do país, bem como o desenvolvimento de novas cultivares, aptas a produzirem em quantidade e qualidade satisfatórias e com regularidade, são mais difíceis de se solucionar a curto prazo. Entretanto, outros problemas, especialmente os relacionados às técnicas de manejo da cultura são, aparentemente, mais fáceis de resolver (FIORAVANÇO; OLIVEIRA, 2014). Dentre esses entraves, pode-se destacar a falta de conhecimentos e de tecnologias

relacionadas ao armazenamento e ao manejo pós-colheita dos frutos.

Ainda assim, o cultivo da pereira representa uma importante oportunidade de mercado a ser explorado nacionalmente, bem como uma alternativa para diversificação da produção de frutas de clima temperado na região Sul do Brasil (BETTIOL NETO et al., 2014; FIORAVANÇO; OLIVEIRA, 2014). Essa afirmação baseia-se, principalmente, nas condições edafoclimáticas relativamente propícias ao seu cultivo e na infraestrutura estabelecida pela cadeia produtiva da maçã, tanto em nível de produção quanto de processamento e comercialização, as quais permitiriam a exploração conjunta e complementar das duas culturas, com benefícios para os produtores, comerciantes e consumidores (FIORAVANÇO; OLIVEIRA, 2014).

Dentre as cultivares pertencentes ao grupo de peras europeias, a pera ‘Rocha’ tem se destacado por apresentar boa produtividade e boa adaptação em algumas regiões do Sul do Brasil (PETINELI et al., 2014). Os frutos dessa cultivar possuem coloração verde e a presença de “russeting” característico na região do pedúnculo (SALTA et al., 2010), apresentando alta aceitação comercial devido às suas características organolépticas, além de possuir excelente qualidade nutricional e alta capacidade de armazenamento (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2003; SALTA et al., 2010). A pera ‘Rocha’ possui grande importância econômica em Portugal, onde corresponde a 95 % da produção total de peras do país (SALTA et al., 2010). De acordo com Fioravanzo e Oliveira (2014), as importações de peras de Portugal para o Brasil aumentaram expressivamente de 2001 a 2012, sendo que, atualmente, esse país é o segundo maior fornecedor da fruta para o mercado nacional, perdendo apenas para a Argentina.

Nos tempos modernos, os consumidores têm apresentado cada vez mais preferência por frutos e vegetais que proporcionem substâncias essenciais para o organismo

(açúcares, ácidos, fibras, vitaminas, entre outros). Dessa forma, as tecnologias utilizadas na preservação dos alimentos exercem um importante papel, não apenas para a saúde pública, mas também para o armazenamento e redistribuição para o mercado consumidor (TRAN et al., 2015).

O armazenamento refrigerado (AR) é o mais utilizado para peras no Brasil, principalmente por constituir um método mais econômico para conservação dos frutos. Entretanto, após longos períodos de AR, os frutos armazenados podem apresentar grande perda de qualidade e menor aceitação comercial, além de elevadas perdas quantitativas devido à incidência de podridões (PREDIERI; GATTI, 2009). Murayama et al. (2002) verificaram padrões anormais de amadurecimento em peras europeias devido ao armazenamento prolongado, como frutos incapazes de desenvolver textura amanteigada e suculenta, considerada adequada para o consumo. Para peras ‘Rocha’, o armazenamento refrigerado por oito meses e meio ocasiona a perda da capacidade de desenvolver textura amanteigada, ocasionando ainda baixa aceitação em avaliações sensoriais (MARTIN et al., 2015). Galvis-Sánchez et al. (2003), observaram ainda que peras ‘Rocha’ em AR foram consideradas menos doces em avaliações sensoriais em relação a frutos armazenados em atmosfera controlada (AC).

O armazenamento em AC tem sido amplamente utilizado no armazenamento de frutos climatéricos, devido à sua alta eficiência em estender o período de armazenamento por meio do controle das concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$  no interior da câmara. Altas pressões parciais de  $CO_2$  e baixas pressões parciais de  $O_2$  no ambiente de armazenamento não só reduzem a atividade respiratória como também a síntese e ação de etileno, proporcionando frutos de qualidade após longos períodos de armazenamento (WEBER et al., 2013; LIU et al., 2013). Porém, o armazenamento sob condições impróprias de AC pode ocasionar uma série de desordens, como a perda de qualidade sensorial e também a incidência de distúrbios fisiológicos

(DRAKE; GIX; COUREAU, 2001; FRANCK et al., 2007). Condições como altas pressões parciais de CO<sub>2</sub> e baixas pressões parciais de O<sub>2</sub>, por períodos mais longos de armazenamento, tendem a favorecer a incidência de escurecimento de polpa em peras europeias, levando a consideráveis perdas econômicas (SAQUET; STREIF, 2006).

As melhores condições para o armazenamento de peras europeias diferem entre as cultivares, sendo utilizadas pressões parciais que variam de 1-3 kPa de O<sub>2</sub> e 0-5 kPa de CO<sub>2</sub>, com temperaturas entre -1 e 0 °C (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008). Para peras 'Conference', frutos armazenados a -0,5°C podem ser armazenados por até seis meses em condição de AC de 2 kPa de O<sub>2</sub> e 1 kPa de CO<sub>2</sub>, (CHIRIBOGA et al., 2011). Peras 'Bartlett', armazenadas sob condições de 1 a 1,5 kPa de O<sub>2</sub>, podem apresentar redução no processo de amadurecimento e na incidência de distúrbios fisiológicos, prolongando assim o período de armazenamento. Entretanto, o aumento do CO<sub>2</sub> para pressões parciais superiores a 1 kPa na atmosfera de armazenamento pode aumentar a incidência de escurecimento de polpa, em frutos mais suscetíveis à ocorrência do distúrbio (EKMAN et al., 2004).

Já para peras 'Rocha' produzidas em Portugal, condições de AC que utilizam 3,0 kPa de O<sub>2</sub> + 0,5 kPa de CO<sub>2</sub> (DEUCHANDE; FIDALGO; LARRIGAUDIÈRE, 2012) e 2,0 kPa de O<sub>2</sub> + 0,5 kPa de CO<sub>2</sub> (CAVACO et al., 2009) são consideradas condições adequadas para o armazenamento. Porém, as condições utilizadas para o armazenamento de peras produzidas em Portugal parecem diferir das condições adequadas para o armazenamento de peras 'Rocha' produzidas no Brasil (MARTIN et al., 2015).

Além da variação existente entre as cultivares, outros fatores podem interferir sobre a capacidade e condições ideais para o armazenamento dos frutos, principalmente por influenciarem a predisposição dos frutos à ocorrência de escurecimento de polpa durante o armazenamento. Dentre eles,

a localização do pomar pode afetar a suscetibilidade dos frutos ao escurecimento de polpa e, conseqüentemente, apresentar efeito sobre as condições recomendadas para o armazenamento dos frutos (FRANCK et al., 2007). Dessa forma, as condições de AC recomendadas podem, inclusive, variar com relação ao local de produção.

Considerando os atributos sensoriais que apresentam maior importância para a qualidade da pera, destaca-se a textura (MAKKUMRAI et al., 2014). De maneira geral, para peras europeias, uma textura amanteigada e succulenta é considerada pelos consumidores americanos e europeus como própria para o consumo (PREDIERI; GATTI, 2009; CHIRIBOGA et al., 2011), sendo que peras que não desenvolvem esse padrão de textura podem apresentar baixa aceitação comercial (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008). O processo de amadurecimento de peras ‘Rocha’ é influenciado pela atmosfera de armazenamento, sendo que frutos armazenados sob pressões parciais inadequadas dos gases podem perder a capacidade de adquirir textura apropriada para o consumo (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2004; CAVACO et al., 2009).

Além da textura, outras características apresentam importância na qualidade sensorial de peras europeias. A concentração de açúcares é considerada um fator chave na qualidade comercial de peras, uma vez que os consumidores tendem a apresentar preferência por frutos mais doces (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2004). Fatores relacionados à aparência dos frutos também são de grande relevância, principalmente com relação à coloração dos frutos (CHENG et al., 2012). Essas características também são diretamente influenciadas pelas pressões dos gases utilizadas no armazenamento dos frutos (CORRÊA et al., 2010; BLASZCZYK, 2012).

As desordens de escurecimento de polpa são as principais causas da ocorrência de perdas pós-colheita em peras submetidas ao armazenamento prolongado sob condições de AC

(DEUCHANDE; FIDALGO; LARRIGAUDIÈRE, 2012). Os frutos afetados por esse distúrbio fisiológico normalmente apresentam um aspecto externo normal, sendo que os sintomas são verificados apenas no momento do consumo. O escurecimento de polpa é caracterizado por manchas úmidas e escurecidas na polpa, as quais podem estar distribuídas apenas na parte central do fruto ou mesmo de forma assimétrica, podendo tanto atingir apenas pequenas porções da polpa quanto atingi-la de forma generalizada. Em determinados casos, pode-se verificar sintomas como a presença de manchas secas ou mesmo a formação de cavidades no interior dos frutos (FRANCK et al., 2007). De acordo com Streif, Saquet e Xuan (2001), em casos mais severos, é possível visualizar mesmo externamente a presença do distúrbio.

Os fatores pós-colheita devem ser manejados de forma a se evitar a ocorrência de desordens de escurecimento de polpa. Dentre aqueles que mais influenciam esse distúrbio, estão o estágio de maturação na colheita, a temperatura do ar e as pressões parciais de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  no interior da câmara, e a duração do período de armazenamento. De forma geral, frutos mais maduros, armazenados sob pressões parciais mais baixas de  $\text{O}_2$  e mais elevadas de  $\text{CO}_2$ , sob temperaturas mais altas e por períodos mais longos, são mais suscetíveis ao escurecimento de polpa (LAMMERTYN et al., 2000; FRANCK et al., 2007).

As trocas gasosas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento do escurecimento de polpa em peras armazenadas em AC, sendo que as mesmas são determinadas tanto pela atividade respiratória das células da polpa, quanto pelo transporte de gases da câmara para dentro do fruto. A utilização de pressões parciais excessivamente reduzidas de  $\text{O}_2$  na câmara do armazenamento, bem como o uso de pressões parciais muito elevadas de  $\text{CO}_2$ , podem limitar a difusão de oxigênio para as células do interior da polpa dos frutos, induzindo a respiração anaeróbica. Assim, compostos tóxicos relacionados ao metabolismo fermentativo são produzidos,

como etanol e acetaldeído, os quais, por sua vez, podem induzir o colapso das células (LARRIGAUDIÈRE et al., 2004; DEUCHANDE; FIDALGO; LARRIGAUDIÈRE, 2012). Além disso, sob condições de hipoxia, as células podem ser incapazes de produzir a energia necessária para a regeneração de membranas, bem como para a manutenção do sistema antioxidante, acumulando espécies reativas de oxigênio, as quais podem ocasionar a peroxidação lipídica e a desnaturação proteica (DEUCHANDE; FIDALGO; LARRIGAUDIÈRE, 2012). Juntos, tais mecanismos podem ocasionar danos às membranas, com subsequente descompartimentalização das estruturas celulares e consequente desenvolvimento do distúrbio fisiológico.

O escurecimento da polpa ocorre devido à oxidação enzimática de compostos fenólicos pela polifenoloxidase (PPO) em *o*-quinonas, que são compostos muito reativos e que formam polímeros de coloração marrom (YAN et al., 2013). Uma vez que a enzima e seu substrato estão localizados em diferentes compartimentos na célula (FRANCK et al., 2007), o escurecimento enzimático é uma causa direta da perda de seletividade de membranas e do processo de descompartimentalização celular.

Alguns autores já diferenciaram algumas desordens de escurecimento de polpa. De acordo com Larrigaudière et al. (2004), “core breakdown” é uma desordem de escurecimento de polpa em peras relacionada principalmente ao colapso celular ocasionado pelo acúmulo de etanol nas células da polpa, enquanto em frutos com incidência de “brown heart”, os processos oxidativos são considerados as causas mais importantes do distúrbio. Ainda de acordo com os mesmos autores, o “core breakdown” está mais associado à senescência dos frutos em relação ao “brown heart”, sendo que o armazenamento sob altas pressões parciais de CO<sub>2</sub> apenas acelera a expressão dos sintomas do distúrbio. Contudo, de acordo com Franck et al. (2007), ainda que os eventos iniciais

envolvidos na ocorrência dessas desordens de escurecimento de polpa possam ser distintos, a limitação na difusão de gases na polpa e, conseqüentemente, o desbalanço entre os processos oxidativos e redutores nas células, constituem a principal causa do escurecimento em ambos os casos.

A suscetibilidade de peras ao escurecimento de polpa depende de diversos fatores pré-colheita (YAN et al., 2013), sendo que alguns destes podem, inclusive, apresentar variação dentro de uma mesma área, tornando determinados frutos mais suscetíveis à ocorrência do distúrbio em relação a outros. Fatores como cultivar, características inerentes da planta, fertilidade do solo, práticas de manejo, condições climáticas e até mesmo a posição dos frutos na árvore apresentam forte relação com a predisposição dos frutos à ocorrência de escurecimento de polpa (FRANCK et al., 2003; FRANCK et al., 2007; YAN et al., 2013). A combinação de diversos fatores pré-colheita irá influenciar um conjunto de atributos específicos do fruto, os quais, por sua vez, poderão determinar a suscetibilidade ao distúrbio.

Um dos fatores influenciados pelas condições pré-colheita que está associado à ocorrência de distúrbios fisiológicos é a composição mineral dos frutos (NEUWALD; KITTEMANN; STREIF, 2008; CORRÊA et al., 2012). O cálcio é o elemento mais comumente associado à qualidade de frutos e à ocorrência de desordens fisiológicas, pois o mesmo exerce um importante papel na permeabilidade seletiva, na estruturação e na funcionalidade das membranas celulares (FREITAS et al., 2010; MIQUELOTO et al., 2011; AMARANTE et al., 2013). Além disso, altos teores de K e Mg também podem estar associados à incidência de escurecimento de polpa, uma vez que esses elementos competem pelos mesmos sítios de ligação do Ca na membrana plasmática, apesar de não desempenharem a mesma função na manutenção da integridade e estrutura de membranas na célula (FREITAS et al., 2010). Conteúdos elevados de nitrogênio (N) (AMARANTE; STEFFENS;

ERNANI, 2010) também estão relacionados com a presença de distúrbios fisiológicos em maçãs. Entretanto, além do efeito que cada nutriente pode exercer sobre a ocorrência do distúrbio, a relação entre as concentrações de nutrientes na polpa também pode influenciar a predisposição dos frutos ao desenvolvimento de desordens de escurecimento de polpa.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes condições de atmosfera controlada sobre a qualidade de peras ‘Rocha’, bem como avaliar a relação dos nutrientes Ca, Mg, K, N e suas relações com a suscetibilidade dos frutos ao escurecimento de polpa.

## **2 AMADURECIMENTO E ESCURECIMENTO DE POLPA EM PERAS ‘ROCHA’ ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA**

### **2.1 RESUMO**

Para peras ‘Rocha’, o armazenamento em atmosfera controlada (AC) traz inúmeros benefícios, mantendo a qualidade dos frutos por períodos prolongados. Contudo, o armazenamento sob condições inadequadas pode favorecer a perda da capacidade de amadurecimento e a ocorrência de escurecimento de polpa nos frutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o amadurecimento e a ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’ armazenadas em diferentes condições de AC. O trabalho foi realizado utilizando frutos provenientes de um pomar comercial localizado em Vacaria, RS. Os frutos foram armazenados durante nove meses sob temperatura de  $-0,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e UR de  $96 \pm 2\%$ . As condições de AC avaliadas foram:  $0,5 \text{ kPa O}_2 + <0,03 \text{ kPa CO}_2$ ;  $1,0 \text{ kPa O}_2 + <0,03 \text{ kPa CO}_2$ ;  $1,0 \text{ kPa O}_2 + 1,0 \text{ kPa CO}_2$ ;  $1,0 \text{ kPa O}_2 + 2,0 \text{ kPa CO}_2$ ; e  $1,0 \text{ kPa O}_2 + 3,0 \text{ kPa CO}_2$ . Os frutos foram avaliados em relação às taxas respiratória e de produção de etileno, cor da casca ( $h^\circ$ ), firmeza de polpa, atributos de textura, acidez titulável (AT), teor de sólidos solúveis (SS),

análises sensoriais, incidência e severidade de escurecimento de polpa, cor da polpa (L) e incidência de podridões. Os frutos armazenados em 1,0 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram menor perda de firmeza de polpa e casca mais amarelada em relação às demais condições avaliadas. Não houveram diferenças em relação aos atributos sensoriais, ao teor de SS e à AT dos frutos. A condição de 1,0 kPa O<sub>2</sub>+3,0 kPa CO<sub>2</sub> apresentou maior incidência (48%) e severidade de escurecimento de polpa, em relação às demais condições de armazenamento. As condições de AC de 0,5 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub>+1,0 kPa CO<sub>2</sub> são as mais indicadas para o armazenamento de peras ‘Rocha’.

**Termos de indexação:** *Pyrus communis*, armazenamento, distúrbio fisiológico, amadurecimento, textura.

## **RIPENING AND BROWNING DISORDERS IN ‘ROCHA’ PEARS STORED AT CONTROLLED ATMOSPHERE**

### **2.2 ABSTRACT**

Controlled atmosphere (CA) storage brings numerous benefits to ‘Rocha’ pears, maintaining fruit quality for extended periods. However, storage under unsuitable conditions may favor the loss of ability to ripen and the occurrence of browning disorders. The aim of this study was to evaluate the ripening and the occurrence of browning disorders in ‘Rocha’ pears stored at different CA conditions. The study was conducted using fruits from a commercial orchard located in Vacaria, RS. The fruits were stored for nine months at  $-0.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  and  $96 \pm 2\%$  RH. The CA conditions evaluated were: 0.5 kPa O<sub>2</sub>+<0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub>+ <0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub>+ 1.0 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub>+ 2.0 kPa CO<sub>2</sub>; and 1.0 kPa O<sub>2</sub>+ 3.0 kPa CO<sub>2</sub>. The fruits were evaluated regarding to respiratory rate, ethylene production, skin color ( $h^{\circ}$ ), flesh firmness, texture attributes, titratable acidity

(TA), soluble solids concentration (SSC), sensory analysis, incidence and severity of browning disorders, flesh color (L) and decay incidence. The fruits stored at 1.0 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub> showed a lower loss of firmness and yellower skin compared to other evaluated conditions. There were no differences in sensory attributes, SSC and TA of the fruits. The condition of 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 3.0 kPa CO<sub>2</sub> showed the highest incidence (48%) and severity of browning disorders, compared to other storage conditions. The CA conditions of 0.5 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub> and 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub> are the most appropriated for 'Rocha' pears storage.

**Index terms:** *Pyrus communis*, storage, physiological disorder, ripening, texture.

## 2.3 INTRODUÇÃO

As peras europeias (*Pyrus communis*) são o tipo de pera mais consumida no Brasil atualmente. Apesar do alto mercado consumidor interno existente, cerca de 140 mil toneladas de peras são importadas todos os anos, com a finalidade de atender a demanda do mercado consumidor, representando a maior porcentagem no total dos frutos *in natura* importados pelo Brasil (FAORO; ORTH, 2010). Dentre os inúmeros entraves para o desenvolvimento da cultura, pode-se citar a falta de estudos e de tecnologias voltadas para o armazenamento de peras produzidas no país.

A pera 'Rocha' é um exemplo de cultivar europeia adaptada às condições de crescimento de determinadas regiões do Sul do Brasil (PETINELI et al., 2014). Esta cultivar possui características organolépticas peculiares, sendo caracterizada pela presença de uma polpa branca, suave, adocicada, pouco ácida, levemente granulosa e bastante suculenta, sendo bem aceita pelo mercado consumidor (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2003). Além de apresentar uma excelente qualidade nutricional

(SALTA et al., 2010), a pera ‘Rocha’ possui também uma boa capacidade de armazenagem, tolerando até nove meses de armazenamento em atmosfera controlada (AC) (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2003; GAGO et al., 2013; MARTIN et al., 2015).

A redução das pressões parciais de O<sub>2</sub> e o aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub>, durante o armazenamento em AC, diminuem a atividade respiratória e a síntese e ação de etileno, retardando o amadurecimento e senescência dos frutos (WEBER et al., 2013). Todavia, peras armazenadas sob condições de AC inadequadas podem desenvolver uma série de características indesejadas, como a perda da capacidade de amadurecimento e a incidência de escurecimento de polpa (SAQUET; STREIF, 2006; MARTIN et al., 2015). De acordo com Galvis-Sánchez et al. (2004) e Cavaco et al. (2009), o processo de amadurecimento de peras ‘Rocha’ é influenciado pela atmosfera de armazenamento, sendo que frutos armazenados sob pressões parciais inadequadas dos gases podem perder a capacidade de adquirir textura própria para o consumo.

O escurecimento de polpa é um distúrbio fisiológico caracterizado pelo desenvolvimento de manchas escurecidas e formação de cavidades no interior da polpa, podendo ocasionar grande perda no valor comercial dos frutos (PEDRESCHI et al., 2009). Este distúrbio pode ocorrer devido à dificuldade de difusão do CO<sub>2</sub> no interior do fruto, o qual apresenta pressões parciais mais elevadas no interior da polpa e menores nas camadas mais próximas à casca do fruto (HO et al., 2006; PEDRESCHI et al., 2008). Condições de AC impróprias, com níveis de CO<sub>2</sub> muito elevados no interior da câmara, podem conduzir a um acúmulo ainda maior deste gás na polpa, levando a um aumento na extensão dos danos (PEDRESCHI et al., 2008). Por outro lado, esse dano também pode ocorrer pela redução nas pressões parciais de O<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento, causando uma condição de níveis

extremamente baixos desse gás nas células do interior da polpa (FRANCK et al., 2007).

Para peras ‘Rocha’ produzidas no Oeste de Portugal e colhidas com uma firmeza de polpa de 60 N, Cavaco et al. (2009) utilizaram uma condição de AC de 2,0 kPa de O<sub>2</sub> e 0,5 kPa de CO<sub>2</sub> (-0,5°C e UR de 94-96%) para o armazenamento dos frutos com qualidade por um período de oito meses. Todavia, essas condições diferem daquelas encontradas por Martin et al. (2015) para peras ‘Rocha’ produzidas no Sul do Brasil e colhidas com uma firmeza de polpa de 67 N, onde as condições de AC de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> (-0,5°C e UR de 96%) mantiveram a qualidade após oito meses e meio de armazenamento, permitindo o amadurecimento normal dos frutos sem ocasionar a incidência de escurecimento de polpa.

Dependendo da localização do pomar, as peras podem ser mais ou menos suscetíveis ao escurecimento de polpa, o que influencia a capacidade e as condições ideais para o armazenamento dos frutos (FRANCK et al., 2007). Assim, ainda que as condições utilizadas no armazenamento de peras ‘Rocha’ produzidas na região Oeste de Portugal já estejam bem elucidadas, é necessária a determinação das pressões parciais de gases adequadas para o armazenamento de frutos produzidos na região Sul do Brasil.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes condições de AC sobre o amadurecimento e a ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2012/2013, com peras ‘Rocha’ provenientes de um pomar comercial localizado no município de Vacaria, RS (situado 28°30'39"S de latitude, 50°55'47"W de longitude e 960m de altitude), utilizando plantas de seis anos de idade enxertadas sobre

Marmelo 'BA29' (*Cydonia oblonga*) e espaçadas em 1,5 m na linha e 4,0 m entre linhas. Após a colheita, foram eliminados os frutos que apresentavam podridões, lesões e defeitos ou baixo calibre.

As condições de AC avaliadas foram: 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub>; e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub>. Os frutos foram armazenados (-0,5±0,1°C e UR de 96±2%) durante nove meses em minicâmaras experimentais com capacidade de 233 L.

As condições de AC foram estabelecidas mediante a diluição do O<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento com injeção de N<sub>2</sub>, proveniente de um gerador deste gás, que utiliza o princípio "Pressure Swing Adsorption" (PSA), e posterior injeção de CO<sub>2</sub>, proveniente de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido, nos tratamentos com CO<sub>2</sub> > 0,03 kPa. A manutenção das pressões parciais desejáveis dos gases, que variavam em razão da respiração dos frutos, foi realizada, diariamente, com o uso de equipamento automático para controle de gases (Kronenberger/Climasul, Caxias do Sul, Brasil). Quando os níveis do CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> não estavam adequados, o equipamento procedia à correção das pressões parciais até os níveis preestabelecidos nos tratamentos. O O<sub>2</sub> consumido pela respiração foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras, e o CO<sub>2</sub> em excesso, foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio a 40%, através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento. Nos tratamento com baixo CO<sub>2</sub> (0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>), a pressão parcial de CO<sub>2</sub> foi mantida por meio da colocação de cal hidratada no interior das minicâmaras, para a contínua eliminação do CO<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento.

Após a saída da câmara, os frutos foram avaliados após zero, três e seis dias em condição ambiente (20±5°C e UR de 63±2%), com relação aos atributos cor da casca e taxas

respiratória e de produção de etileno. Após seis dias em condição ambiente, os mesmos foram avaliados também em relação à firmeza de polpa, atributos de textura, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, atributos sensoriais, incidência e severidade de escurecimento de polpa, cor da polpa e incidência de podridões.

As taxas respiratória ( $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) e de produção de etileno ( $\eta\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foram quantificadas por cromatografia gasosa. Frutos de cada repetição foram acondicionados em recipientes de 4,1 L, com fechamento hermético. As taxas respiratórias e de produção de etileno foram obtidas pela diferença da concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{C}_2\text{H}_4$ , respectivamente, no interior do recipiente, imediatamente após o seu fechamento e depois de meia hora. Após este período, utilizando uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas duas amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás, marca Varian<sup>®</sup>, modelo CP-3800 (Palo Alto, EUA), equipado com uma coluna Porapak N<sup>®</sup> de 3 m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, do detector, do metanador e do injetor foram de 70; 250; 380 e 130 °C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético utilizados foram de 70; 30; e 300 mL  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente.

A cor da casca foi avaliada em termos de valores de ângulo 'hue' ( $h^\circ$ ), com o auxílio de um colorímetro modelo CR 400 (Konica Minolta<sup>®</sup>, Tóquio, Japão). Os valores de  $h^\circ$  apresentam as seguintes correspondências quanto às cores da superfície do tecido vegetal: 0°/vermelho, 90°/amarelo, 180°/verde e 270°/azul. As leituras foram realizadas em dois pontos opostos da região equatorial dos frutos.

A firmeza de polpa (N) foi determinada na região equatorial dos frutos, em duas superfícies opostas, após a remoção de uma pequena porção da epiderme, com auxílio de um penetrômetro eletrônico (GÜSS Manufacturing Ltd, Cidade

do Cabo, África do Sul) equipado com ponteira de 7,9 mm de diâmetro.

Os atributos de textura foram analisados com texturômetro eletrônico TAXT-plus<sup>®</sup> (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, Reino Unido), em termos de forças necessárias para a penetração da casca (N) e da polpa (N), utilizando uma ponteira com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 10 mm, com velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 30, 3 e 40 mm s<sup>-1</sup>, respectivamente

Os valores de AT (% ácido málico) foram obtidos através de uma amostra de 10 mL de suco, obtido pelo processamento dos frutos em uma centrífuga. Essa amostra foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1N até pH 8,1. Para titulação das amostras foi utilizado um titulador automático TitroLine<sup>®</sup> easy da SCHOTT Instruments (Mainz, Alemanha).

Os teores de SS (°Brix) foram determinados em um refratômetro digital modelo PR201 $\alpha$  (Atago<sup>®</sup>, Tóquio, Japão), utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

Para a análise sensorial, foi utilizado um teste de aceitação por escala hedônica, onde o provador expressou o grau de gostar ou desgostar do fruto, com relação a dois atributos específicos: relação doçura/acidez e textura. A escala utilizada no teste foi a de sete pontos, onde 1= desgostei muitíssimo, 2= desgostei muito, 3= desgostei, 4= não gostei, nem desgostei, 5= gostei, 6= gostei muito, 7= gostei muitíssimo (FERREIRA et al., 2000; ZUCOLOTO, 2012). Para avaliação foram convidadas 30 pessoas, não sendo necessário que tivessem treinamento. A cada julgador foram fornecidas uma ficha de avaliação e amostras de frutos de todas as condições de armazenamento testadas. Para tanto, as amostras, que foram casualizadas, foram compostas de uma fatia da fruta (correspondendo ¼ do fruto sem casca e sem semente; 20±5°C), sendo oferecidas em recipientes plásticos codificados com algarismos de três dígitos. Os julgadores foram

questionados também com relação à presença de sabor estranho nos frutos e, caso julgassem necessário, puderam fazer observações e comentários em relação às características dos frutos avaliados. Frutos com incidência de podridão, ou mesmo com escurecimento de polpa, não foram utilizados nas avaliações sensoriais.

A análise de incidência e severidade de escurecimento de polpa foi avaliada por meio de um corte na secção transversal dos frutos, onde foi efetuada a contagem das peras que apresentaram regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, sendo determinada a proporção de frutos afetados (%). Frutos que apresentaram a formação de cavidades no interior da polpa também foram contabilizados. Após a separação dos frutos com e sem a incidência do distúrbio, os mesmos foram agrupados de acordo com a seguinte escala de severidade: 1 = sem incidência de escurecimento de polpa; 2 = incidência de escurecimento de polpa leve, com até 10% da polpa afetada; 3 = incidência de escurecimento de polpa moderada, com 11 a 30% da polpa afetada; e 4 = incidência de escurecimento severa, com mais de 30% da polpa afetada.

A cor da polpa foi avaliada em termos de valores de 'L' (*Lightness*) com um colorímetro modelo CR 400 da Konica Minolta®. Assim, quanto menor o valor de 'L', mais escurecida estaria a polpa. Foram realizadas duas leituras por fruto, após um corte na região mediana dos mesmos.

A incidência de podridões foi avaliada pela contagem dos frutos afetados que apresentaram lesões externas maiores do que 5 mm de diâmetro com características de infecção por patógenos. Os resultados foram expressos em percentagem (%).

Antes da aplicação dos tratamentos, quatro amostras de 15 frutos foram avaliadas para determinação da qualidade inicial das peras, que apresentaram firmeza de polpa média de 56,5 N, teor de sólidos solúveis de 12,9 °Brix e acidez titulável de 0,28% de ácido málico.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e unidade experimental constituída por 30 frutos. Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo que dados em porcentagem foram transformados pela fórmula arco seno  $[(x+1)/100]^{1/2}$  antes de serem submetidos à ANOVA. Para comparação das médias, adotou-se o teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Para estes procedimentos foi utilizado o programa estatístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na saída da câmara, a taxa de produção de etileno foi mais elevada nos frutos mantidos nas condições de 1,0 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$  e 1,0 kPa de  $O_2$  + 1,0 kPa de  $CO_2$  em relação às demais condições avaliadas (Tabela 1). Após três dias em condição ambiente, a condição de 1,0 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$  apresentou, dentre todas, a maior taxa de produção de etileno. O aumento das pressões parciais de  $CO_2$ , para as condições de 1,0 kPa de  $O_2$  + 1,0 kPa de  $CO_2$ , 1,0 kPa de  $O_2$  + 2,0 kPa de  $CO_2$  e 1,0 kPa de  $O_2$  + 3,0 kPa de  $CO_2$ , pode ter limitado a produção autocatalítica de etileno, uma vez que o  $CO_2$  apresenta efeito inibitório sobre a ação desse hormônio (WANG; SUGAR, 2013). Tanto aos três quanto aos seis dias em condição ambiente, os frutos armazenados sob 0,5 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$  apresentaram menor produção de etileno comparativamente àqueles armazenados sob 1,0 kPa de  $O_2$  + 1,0 kPa de  $CO_2$ . Possivelmente, o armazenamento dos frutos sob 0,5 kPa de  $O_2$  possa ter limitado a rota de produção de etileno, pois a conversão do ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) em etileno exige, além da enzima ACC oxidase, a presença de  $O_2$  (BOTH et al., 2014). Alguns autores afirmam ainda que baixas pressões parciais de oxigênio podem também reduzir a expressão gênica da enzima ACC oxidase (LARA et

al., 2011; BOTH et al., 2014), o que também acabaria por limitar a produção de etileno.

Na saída da câmara, os frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram maiores taxas respiratórias em relação àqueles armazenados sob 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 1). Após três dias em condição ambiente, a taxa respiratória foi mais elevada nos frutos do tratamento 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub>, comparativamente aos que foram armazenados em 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>. A redução na atividade respiratória pelo baixo O<sub>2</sub> pode ser decorrente do decréscimo na atividade de várias enzimas com atividade oxidase, como a citocromo *c* oxidase, polifenoloxidase, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase (STEFFENS et al., 2007). Além disso, o O<sub>2</sub> é o aceptor final na cadeia transportadora de elétrons e, desta forma, baixas concentrações de O<sub>2</sub> podem restringir essa etapa da respiração. Já após seis dias, a condição de AC de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> apresentou, dentre todas, a menor taxa respiratória, seguida pelas condições de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>, as quais não diferiram entre si. O tratamento 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub> proporcionou maior taxa respiratória em relação às condições de 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>, 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> sendo, contudo, menor em comparação aos frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>. A menor taxa respiratória nos frutos armazenados sob altas pressões parciais de CO<sub>2</sub> possivelmente está relacionada ao efeito inibitório que esse gás exerce sobre a enzima fosfofrutoquinase na rota glicolítica, bem como sobre as enzimas succinato desidrogenase e isocitrato desidrogenase no ciclo dos ácidos tricarbóxicos (STEFFENS et al., 2007; WANG; SUGAR, 2013).

Tabela 1 – Taxas de produção de etileno e respiratória e cor da casca de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e UR de  $96\pm 2\%$ ), e avaliadas após zero, três e seis dias em condição ambiente. ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $63\pm 2\%$ ).

$\text{O}_2 + \text{CO}_2$ (kPa)	Dia 0	Dia 3	Dia 6
Taxa de produção de etileno ( $\eta\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )			
0,5 + <0,03	0,074 b	0,063 c	0,074 b
1,0 + <0,03	0,156 a	0,202 a	0,117 ab
1,0 + 1,0	0,132 a	0,116 b	0,134 a
1,0 + 2,0	0,075 b	0,113 bc	0,099 ab
1,0 + 3,0	0,076 b	0,101 bc	0,96 ab
CV (%)	20,4	17,6	21,6
Taxa respiratória ( $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )			
0,5 + <0,03	103,63 b	491,12 b	756,96 c
1,0 + <0,03	143,95 a	623,58 ab	1134,11 a
1,0 + 1,0	122,71 ab	716,16 a	904,51 b
1,0 + 2,0	127,77 ab	651,22 ab	742,64 c
1,0 + 3,0	137,45 a	580,01 ab	568,49 d
CV (%)	10,2	13,5	4,6
Cor da casca ( $h^{\circ}$ )			
0,5 + <0,03	96,02 ab	93,67 a	86 <sup>ns</sup>
1,0 + <0,03	88,18 c	87,97 b	84,86
1,0 + 1,0	93,92 b	93,26 a	85,14
1,0 + 2,0	97,59 ab	93,75 a	85,86
1,0 + 3,0	98,54 a	92,51 a	84,71
CV (%)	2,2	1,4	1,9

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Fonte: Produção do próprio autor.

Para as avaliações realizadas na saída da câmara e após três dias em condição ambiente, os frutos armazenados na condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram cor da casca mais amarela (menor *h<sup>o</sup>*) em relação aos frutos armazenados nas demais condições de AC (Tabela 1). Na saída da câmara, a condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub> propiciou aos frutos uma cor da casca menos verde em comparação aos frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub>, não diferindo, contudo, daqueles armazenados sob 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub>. De acordo com Blaszczyk (2012), para peras armazenadas em AC, pressões parciais de CO<sub>2</sub> mais elevadas proporcionam maiores teores de clorofilas *a* e *b* na casca, propiciando frutos mais verdes após o armazenamento. Outros autores têm ainda atribuído a maior retenção da cor verde em peras armazenadas em AC a menores pressões parciais de O<sub>2</sub> (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2003; MA; CHEN, 2003). Após seis dias em condição ambiente, não houve diferença na cor da casca dos frutos entre os tratamentos. Após o armazenamento, peras europeias tendem a apresentar um amarelecimento característico durante o período de prateleira, sendo que esse comportamento ocorre devido à ação das clorofilases, que são enzimas induzidas pela ação do etileno, acompanhada pela síntese de carotenoides nos frutos (PREDIERI; GATTI, 2009; DHILLON; MAHAJAN, 2011; GAGO et al., 2013). Todavia, não é vantajoso que peras apresentem uma coloração muito amarela ao final do período de armazenamento, uma vez que este seria um indicativo de que os frutos encontram-se mais próximos ao estágio de senescência. Além disso, de acordo com Cheng et al. (2012), o amarelecimento excessivo da casca pode ocasionar desvalorização comercial para algumas cultivares de pera.

O armazenamento sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> proporcionou aos frutos maior firmeza de polpa, comparativamente àqueles armazenados sob as demais condições de AC (Tabela 2). Após serem armazenadas, as peras

européias devem apresentar alta taxa de perda de firmeza de polpa durante o período de prateleira, o que ocorre devido a síntese e à ação de várias enzimas que estão associadas às modificações da textura dos frutos, como as poligalacturonases, as  $\beta$ -galactosidases, as  $\alpha$ -arabinofuranosidase, as  $\beta$ -xilosidases (NASHIMA et al., 2013) e a pectinametilesterase (GALVIS-SÁNCHEZ; MORAIS, 2001). Dessa forma, o amadurecimento normal dos frutos é necessário para que os mesmos adquiram uma textura amanteigada e succulenta, a qual é exigida pelos mercados consumidores da maior parte do mundo (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008; MAKKUMRAI et al., 2014). Entretanto, após o armazenamento prolongado sob condições inadequadas, alguns autores têm reportado padrões anormais de amadurecimento em peras europeias, com os frutos permanecendo firmes e secos, sendo incapazes de desenvolver uma textura própria para o consumo (MURAYAMA et al., 2002; MARTIN et al., 2015) Assim, para o presente trabalho, apesar de a firmeza de polpa dos frutos armazenados sob 1,0 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$  ser próxima àquela indicada para o consumo de peras ‘Rocha’ (~20 N) (CAVACO et al., 2009), essa condição proporcionou uma menor taxa de perda de firmeza de polpa (60,3 %) em relação aos frutos armazenados nas demais condições (perda de firmeza entre 70,2 e 74,5 %).

Tabela 2 – Firmeza de polpa, forças para a ruptura da casca e para penetração da polpa, acidez titulável e teor de sólidos solúveis de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5\pm 0,1$  °C e UR de  $96\pm 2\%$ ), e avaliadas após seis dias em condição ambiente ( $20\pm 5$  °C e UR de  $63\pm 2\%$ ).

O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Firmeza de polpa (N)	Força para ruptura da casca (N)	Força para penetração da polpa (N)	Acidez Titulável (%)	Sólidos Solúveis (°Brix)
0,5+<0,03	16,00 b	4,62 ab	1,29 bc	0,149 <sup>ns</sup>	12,77 <sup>ns</sup>
1,0+<0,03	22,41 a	5,33 a	1,70 a	0,124	13,12
1,0+1,0	16,83 b	4,52 b	1,40 b	0,139	12,70
1,0+2,0	15,12 b	4,87 ab	1,15 c	0,131	13,12
1,0+3,0	14,41 b	4,20 b	1,12 c	0,098	13,4
CV (%)	7,8	7,9	7,4	18,3	7,4

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Fonte: Produção do próprio autor.

A força para ruptura da casca foi maior para os frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> em relação àqueles armazenados em 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 2). Com relação à força para penetração da polpa, os frutos armazenados em 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram os maiores valores em comparação às demais condições de AC. Por outro lado, as condições de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> propiciaram aos frutos os menores valores de força para penetração da polpa, não diferindo, contudo, daqueles armazenados sob 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub>. A condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + <0,03 kPa de CO<sub>2</sub> foi, dentre todas as avaliadas, a que utilizou maiores pressões parciais de O<sub>2</sub>, bem

como menores pressões parciais de CO<sub>2</sub>, sendo, em consequência disso, aquela que ocasionou menor limitação sobre a atividade metabólica dos frutos durante o armazenamento (Tabela 1). Assim, possivelmente os frutos armazenados sob tais condições estivessem mais próximos ao estágio de senescência em relação às demais condições avaliadas, tendo comprometida a síntese de enzimas que atuam na parede celular, como a pectinametilesterase (PME) (GALVIS-SÁNCHEZ; MORAIS, 2001). Alguns autores sugerem ainda que a perda da capacidade de amadurecimento em peras europeias, após o armazenamento prolongado, esteja associada a um menor conteúdo de poliuronídeos solúveis (MURAYAMA et al., 2002), bem como a um baixo grau de despolimerização de pectinas e de polissacarídeos hemicelulósicos na polpa dos frutos (MURAYAMA et al., 2006).

Não houve efeito das condições de AC sobre a AT dos frutos (Tabela 2). Trabalhando com maçãs ‘Royal Gala’, Both et al. (2014) também não observaram diferenças para a AT de frutos armazenados sob 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> ou 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub>. Todavia, Corrêa et al. (2010) verificaram que o aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub> de <0,5 kPa para 2,0 kPa ocasionou aumento da AT em maçãs ‘Fuji’. Além das pressões parciais dos gases, outros fatores podem influenciar o efeito da AC sobre esse atributo, tais como a cultivar, o estágio de maturação na colheita, a duração e a temperatura utilizadas no armazenamento e até mesmo o ano de produção (ELGAR et al., 1997; CORRÊA et al., 2010; XIE et al., 2014).

Com relação aos teores de SS, não foram observadas diferenças entre as condições de AC (Tabela 2). Brackmann et al. (2005) também não verificaram diferenças nos teores de SS de maçãs ‘Pink Lady’ em resposta a diferentes condições de AC. De acordo com esses autores, normalmente não são percebidas grandes alterações nos teores de SS durante o armazenamento

em AC, uma vez que os açúcares são substratos da respiração, cujo início de utilização ocorre somente depois de acentuado consumo de ácidos orgânicos.

As diferentes condições de AC avaliadas também não proporcionaram efeito sobre os atributos sensoriais avaliados (Tabela 3). Como os teores de SS dos frutos, bem como a AT, não diferiram entre os tratamentos (Tabela 2), é possível que esse resultado também tenha sido percebido pelos consumidores durante o teste de aceitação, proporcionando notas similares para o atributo doçura/acidez. As variações nos valores de firmeza de polpa e de força para penetração da polpa, entre as condições de armazenamento (Tabela 2), não foram percebidas ou não afetaram a aceitação dos provadores para o atributo textura. Trabalhando com peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de AC por nove meses, Galvis-Sánchez et al. (2004) verificaram que peras com diferentes valores de firmeza de polpa apresentaram notas similares em avaliações sensoriais para o atributo “firmeza”, de forma semelhante aos resultados obtidos no presente trabalho. Para nenhuma das condições de armazenamento avaliadas houve a ocorrência de sabor estranho nos frutos.

Tabela 3 – Escores médios dos atributos sensoriais de peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada por nove meses ( $-0,5 \pm 0,1$  °C e UR de  $96 \pm 1\%$ ), e avaliadas após seis dias em condição ambiente ( $20 \pm 5$  °C e UR de  $63 \pm 2\%$ ).

O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Atributo	
	Doçura/Acidez	Textura
0,5 + <0,03	4,36 <sup>ns</sup>	4,00 <sup>ns</sup>
1,0 + <0,03	4,64	4,68
1,0 + 1,0	4,73	4,68
1,0 + 2,0	5,27	4,86
1,0 + 3,0	5,05	4,95
CV (%)	24,8	29,5

ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Fonte: Produção do próprio autor.

A incidência de escurecimento de polpa foi mais elevada nos frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> em relação aos frutos armazenados sob baixo CO<sub>2</sub> (<0,03 kPa), não diferindo, contudo, daqueles armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> combinado com 1,0 kPa ou 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 4). Assim, é possível perceber que o aumento nos níveis de CO<sub>2</sub> está mais relacionado à incidência do distúrbio que a redução do O<sub>2</sub>, uma vez que as peras armazenadas sob baixo O<sub>2</sub> (0,5 kPa) apresentaram uma baixa incidência de escurecimento de polpa (6,2%). Esses resultados indicam que a condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> não é indicada para o armazenamento de peras ‘Rocha’, por proporcionar uma alta incidência desse distúrbio fisiológico (48%). De forma geral, pressões parciais de CO<sub>2</sub> mais elevadas aumentam a ocorrência de escurecimento de polpa em peras europeias (FRANCK et al., 2007). Em trabalhos realizados com maçãs ‘Fuji’, Corrêa et al. (2010) verificaram que o aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub> de <0,5 para 2,0

kPa, durante o armazenamento, ocasionou um acréscimo na incidência de degenerescência de polpa nos frutos.

A severidade de escurecimento de polpa foi mais elevada nos frutos armazenados sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> em relação àqueles armazenados nas demais condições de AC (Tabela 4). Este aumento na severidade do distúrbio possivelmente foi ocasionado pelas maiores pressões parciais de CO<sub>2</sub> no interior da câmara, as quais, por sua vez, aumentaram as concentrações de CO<sub>2</sub> no interior da polpa e favoreceram a maior ocorrência do distúrbio (GALVIS-SÁNCHEZ et al., 2006). Todavia, é possível observar que as condições que proporcionaram os menores valores de severidade do distúrbio no presente trabalho, como 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + < 0,03 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 1,0 kPa de CO<sub>2</sub>, não são recomendadas para o armazenamento de peras 'Rocha' produzidas em Portugal (CAVACO et al., 2009; GAGO et al., 2013), principalmente por induzirem a ocorrência de escurecimento de polpa nos frutos. De acordo com Franck et al. (2007), a suscetibilidade ao escurecimento de polpa está relacionada a diversos fatores pré-colheita, especialmente às condições climáticas inerentes de cada local de produção. Alguns autores verificaram ainda que frutos que crescem sob temperaturas mais amenas no pomar são menos suscetíveis a distúrbios fisiológicos, como a degenerescência de polpa em maçãs (CORRÊA et al., 2010) e o escurecimento de polpa em peras (ZERBINI, 2002), em relação a frutos que crescem sob temperaturas mais frias. Possivelmente, esses seriam fatores que proporcionariam às peras produzidas no Brasil menor suscetibilidade ao escurecimento de polpa em relação àqueles produzidas em Portugal e, portanto, uma tolerância maior a condições mais limitantes de AC, com pressões parciais mais baixas de O<sub>2</sub> e mais elevadas de CO<sub>2</sub>.

Tabela 4 – Incidência e severidade de escurecimento de polpa, cor da polpa e incidência de podridões em peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses ( $-0,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e UR de  $96 \pm 2\%$ ), e mantidas durante seis dias em condição ambiente ( $20 \pm 5^\circ\text{C}$  e UR de  $63 \pm 2\%$ ).

O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Incidência (%)	Severidade (1 - 4)	Cor da polpa (L)	Podridões (%)
0,5 + <0,03	6,20 b	1,09 b	80,48 a	35,83 <sup>ns</sup>
1,0 + <0,03	8,88 b	1,12 b	79,27 ab	56,67
1,0 + 1,0	18,21 ab	1,32 b	78,64 ab	43,33
1,0 + 2,0	26,52 ab	1,39 b	77,52 b	35,83
1,0 + 3,0	48,02 a	1,79 a	77,45 b	39,17
CV (%)	35,3	10,8	1,2	25,21

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Fonte: Produção do próprio autor.

A cor da polpa (L) dos frutos armazenados sob 0,5 kPa de O<sub>2</sub> + < 0,03 kPa de CO<sub>2</sub> se manteve mais clara em relação àqueles armazenados sob alto CO<sub>2</sub> (1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub>) (Tabela 4). Estes resultados confirmam aqueles observados para incidência e severidade de escurecimento de polpa, onde a ocorrência do distúrbio foi favorecida pelo aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub>. O aumento dos níveis desse gás na câmara de armazenamento reduz a respiração dos frutos, por meio da inibição do ciclo dos ácidos tricarboxílicos e da rota glicolítica (WANG; SUGAR, 2013). Dessa forma, concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub>, durante o armazenamento, podem favorecer a mudança da respiração aeróbica para a respiração anaeróbica dos frutos, ocasionando a síntese de produtos tóxicos à célula e danificando as membranas celulares (PEDRESCHI et al., 2009).

Com a perda de seletividade de membranas e o processo de descompartimentalização celular, compostos fenólicos que estão localizados no vacúolo podem entrar em contato com a enzima polifenoloxidase (PPO), sendo oxidados pela mesma em compostos muito reativos que formam polímeros de coloração marrom, ocasionando os sintomas do escurecimento de polpa (YAN et al., 2013).

Quanto à incidência de podridões, não houve diferenças significativas entre as condições de armazenamento (Tabela 4). Corrêa et al. (2010), trabalhando com maçãs ‘Fuji’, também não observaram efeito das diferentes pressões de gases na câmara de armazenamento sob a incidência de podridões em maçãs ‘Fuji’ armazenadas por oito meses. Todavia, este resultado não está em concordância com aquele obtido por Weber et al. (2013), onde o aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub> de 2,0 para 2,5 kPa ocasionou redução na incidência de podridões em maçãs ‘Maxi Gala’.

## 2.6 CONCLUSÕES

1. A condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> não é indicada para o armazenamento de peras ‘Rocha’, pois proporciona alta incidência e severidade de escurecimento de polpa.
2. As condições de AC de 0,5 kPa O<sub>2</sub> + <0,03 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 1,0 kPa CO<sub>2</sub> são as mais indicadas para o armazenamento de peras ‘Rocha’, proporcionando amadurecimento adequado dos frutos sem, contudo, proporcionar aumento na incidência ou severidade de escurecimento de polpa.

### **3 ESCURECIMENTO DE POLPA EM PERAS ‘ROCHA’ E SUA RELAÇÃO COM A CONDIÇÃO DE ATMOSFERA CONTROLADA E A COMPOSIÇÃO MINERAL DOS FRUTOS**

#### **3.1 RESUMO**

O escurecimento de polpa em peras europeias armazenadas em atmosfera controlada (AC) pode estar associado à composição mineral dos frutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes condições de AC sobre ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’, bem como verificar a relação dos teores minerais com a incidência de escurecimento de polpa, identificando quais os atributos minerais que melhor discriminam quanto à presença do distúrbio. Os frutos foram colhidos em um pomar localizado no município de Vacaria – RS e, em seguida, armazenados sob diferentes condições de AC: 0,5 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+1,0 kPa CO<sub>2</sub>; 1,0 kPa O<sub>2</sub>+2,0 kPa CO<sub>2</sub>; e 1,0 kPa O<sub>2</sub>+3,0 kPa CO<sub>2</sub>. Após nove meses de armazenamento (-0,5±0,1°C e UR de 96±2%), os frutos foram avaliados com relação à incidência e severidade de escurecimento de polpa. Posteriormente, frutos com e sem a presença do distúrbio foram comparados quanto aos teores minerais de Ca, Mg, K, N e às relações K/Ca, Mg/Ca e N/Ca. O armazenamento sob 1,0 kPa O<sub>2</sub>+3,0 kPa CO<sub>2</sub> proporcionou aos frutos maior incidência de escurecimento de polpa em relação àqueles armazenados sob 0,5 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub>+<0,03 kPa CO<sub>2</sub>, ocasionando ainda maior severidade do distúrbio em comparação às demais condições de armazenamento. Peras com escurecimento de polpa apresentaram menores teores de Ca, bem como teores mais elevados de K e maiores relações K/Ca, Mg/Ca e N/Ca, comparativamente a frutos sem incidência do distúrbio. Peras ‘Rocha’ que apresentam menores concentrações de Ca, bem como maiores teores de K e maior relação K/Ca na polpa, têm

maior predisposição ao escurecimento de polpa. O atributo mineral mais indicado para discriminar frutos sem e com escurecimento de polpa é a relação K/Ca.

**Termos de indexação:** *Pyrus communis*, distúrbio fisiológico, estado nutricional, armazenamento, análise canônica discriminante.

## **BROWNING DISORDERS IN ‘ROCHA’ PEARS AND ITS RELATIONSHIP WITH CONTROLLED ATMOSPHERE CONDITIONS AND MINERAL COMPOSITION OF FRUITS**

### 3.2 ABSTRACT

The browning disorders in European pears stored in controlled atmosphere (CA) may be associated with the mineral composition of fruits. The aim of this study was to evaluate the effect of different CA conditions on browning disorders in ‘Rocha’ pears, as well as investigate the relationship between mineral contents with the incidence of browning disorders, identifying the minerals attributes that best discriminate fruit with or without physiological disorder. The fruits were harvested in an orchard located in Vacaria, RS, and stored at different CA conditions: 0.5 kPa O<sub>2</sub>+<0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 1.0 kPa CO<sub>2</sub>; 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 2.0 kPa CO<sub>2</sub> and 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 3.0 kPa CO<sub>2</sub>. After nine months of storage (-0,5±0,1°C and 96±2% RH), the fruits were evaluated regarding incidence and severity of browning disorders. Afterwards, fruits with and without the presence of disorder were compared for mineral contents of Ca, Mg, K, N and K/Ca, Mg/Ca and N/Ca ratios. Storage at 1.0 kPa O<sub>2</sub> + 3.0 kPa CO<sub>2</sub> provided to fruits higher incidence of browning disorders compared to those stored at 0.5 kPa O<sub>2</sub>+<0.03 kPa CO<sub>2</sub> and 1.0 kPa O<sub>2</sub> + <0.03 kPa CO<sub>2</sub>, leading to even higher severity of

browning disorders compared to other storage conditions. Pears with browning disorders had lower Ca content, as well as higher K levels and higher K/Ca, Mg/Ca and N/Ca ratios, compared to fruits without disorder incidence. 'Rocha' pears that have lower Ca concentration, as well as higher K contents and K/Ca ratio in the flesh, are more predisposed to browning disorders. The best mineral attribute to discriminate fruit with or without browning disorders is the K/Ca ratio.

**Index terms:** *Pyrus communis*, physiological disorder, nutritional status, storage, canonical discriminant analysis.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A atmosfera controlada (AC) traz inúmeros benefícios para a conservação da pera 'Rocha', uma vez que a redução das pressões parciais de O<sub>2</sub> e aumento das pressões parciais de CO<sub>2</sub> retardam a senescência e mantém a qualidade dos frutos por períodos mais prolongados (MARTIN et al., 2015). Contudo, o armazenamento sob tais condições pode favorecer a ocorrência de escurecimento de polpa nos frutos (GALVIS-SANCHES et al., 2004), levando a consideráveis perdas econômicas.

O escurecimento de polpa é caracterizado pela presença de manchas escurecidas de coloração marrom, as quais podem tanto atingir pequenas porções da polpa quanto afetá-la de forma generalizada (FRANCK et al., 2007). Outro sintoma característico é a formação de cavidades no interior da polpa, as quais podem ocorrer isoladamente ou mesmo simultaneamente às manchas escurecidas (LAMMERTYN et al., 2003). Normalmente, os sintomas são notados apenas no momento do consumo, mas, em casos mais severos, é possível visualizar externamente a ocorrência do distúrbio (YAN et al., 2013).

Acredita-se que o estresse, induzido por condições inadequadas, como níveis muito reduzidos de O<sub>2</sub> e muito elevados de CO<sub>2</sub> durante o armazenamento em AC, provoque a

respiração anaeróbica nos tecidos da polpa, aumentando o conteúdo de etanol, acetaldeído e outros produtos tóxicos à célula, levando à formação de radicais livres, afetando o metabolismo energético e, conseqüentemente, danificando as membranas das células da polpa (SAQUET; STREIF, 2006; FRANCK et al., 2007; NEUWALD; KITTEMANN; STREIF, 2008).

Com a perda da seletividade de membranas, compostos fenólicos, que geralmente estão compartimentalizados no vacúolo, podem entrar em contato com a enzima polifenoloxidase (PPO), sendo oxidados pela mesma em *o*-quinonas, compostos muito reativos que formam polímeros de coloração marrom (YAN et al., 2013). Dessa forma, as causas do escurecimento de polpa possivelmente estão associadas aos processos que afetam a integridade de membranas.

Diversos autores associam nutrientes como o cálcio (Ca) com a ocorrência de distúrbios fisiológicos em peras (RAESE; DRAKE, 2006; WÓJCIK, 2012) e em maçãs (CORRÊA et al., 2012; AMARANTE et al., 2013), pois o mesmo exerce um importante papel na permeabilidade seletiva, na estruturação e na funcionalidade das membranas celulares, por meio da ligação de fosfolipídeos e de monogalactosídeos na superfície da membrana (FREITAS et al., 2010; MIQUELOTO et al., 2011). Os teores de magnésio (Mg) podem ter relação com o escurecimento de polpa, uma vez que esse elemento compete diretamente com o Ca nos sítios de ligação na membrana plasmática, apesar de não apresentar o mesmo papel fisiológico na manutenção da funcionalidade e estrutura das membranas (FREITAS et al., 2010; AMARANTE et al., 2013). Conteúdos elevados de potássio (K) (NEUWALD; KITTEMANN; STREIF, 2008; JAMES; JOBLING, 2009) e de nitrogênio (N) (AMARANTE; STEFFENS; ERNANI, 2010) também têm sido correlacionados com a presença de distúrbios fisiológicos em maçãs.

As relações entre as concentrações de nutrientes na polpa também podem influenciar a predisposição dos frutos ao desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (AMARANTE; CHAVES; ERNANI, 2006). Corrêa et al. (2012) observaram que maçãs ‘Fuji’ com maior relação K/Ca apresentam maior predisposição à degenerescência de polpa. Para maçãs ‘Fuji’ e ‘Catarina’, maiores valores das relações K/Ca e N/Ca foram observados na polpa de frutos que apresentaram incidência de “bitter pit”, em relação àqueles que não apresentaram o distúrbio (MIQUELOTO et al., 2011).

Apesar de existirem estudos que demonstrem a relação entre as concentrações de minerais na polpa e a presença de distúrbios fisiológicos em maçãs, ainda existem poucos trabalhos que elucidam seu efeito sobre a qualidade e a incidência de distúrbios fisiológicos em peras. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo verificar o efeito de diferentes condições de AC sobre ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’. Também foi objetivo desse trabalho avaliar a relação dos teores minerais com a ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’, bem como identificar os atributos minerais que melhor discriminam quanto à incidência desse distúrbio.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos foram colhidos em um pomar comercial localizado no município de Vacaria, RS (situado 28°30'39"S de latitude, 50°55'47"W de longitude e 960m de altitude), na safra 2012/2013. Foram utilizadas pereiras da cultivar Rocha, com seis anos de idade, sobre porta-enxerto Marmelo ‘BA29’ (*Cydonia oblonga*) e espaçadas em 1,5 m na linha e 4,0 m entre linhas. Após a colheita, foram eliminados os frutos que apresentavam podridões, lesões, defeitos ou de baixo calibre.

No momento da colheita, que foi realizada dentro do recomendado para a cultivar Rocha, com firmeza de polpa

variando entre 55 e 65 N (CAVACO et al., 2009), efetuou-se uma análise inicial de três amostras de 15 frutos, para determinação do estágio de maturação das peras, as quais apresentavam  $h^\circ$  da casca de 99,3, firmeza de polpa de 56,5 N, sólidos solúveis (SS) de 12,9 °Brix e e acidez titulável (AT) de 0,14% de ácido málico.

A cor da casca foi avaliada em termos de valores de ângulo 'hue' ( $h^\circ$ ), com o auxílio de um colorímetro modelo CR 400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão). A firmeza de polpa foi determinada em duas superfícies opostas da região equatorial dos frutos, após a remoção de uma pequena porção da casca, com o auxílio de um penetrômetro eletrônico munido de ponteira de 7,9 mm de diâmetro (GÜSS Manufacturing Ltd., Cidade do Cabo, África do Sul). Os valores de AT foram determinados através de uma amostra de 10 mL de suco dos frutos, a qual foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Os teores de SS (°Brix) foram determinados em um refratômetro digital, utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

Após as análises iniciais, os frutos foram submetidos ao armazenamento em AC durante nove meses. Foram utilizadas cinco diferentes condições de armazenamento para indução do escurecimento de polpa sendo elas: 0,5 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$ ; 1,0 kPa de  $O_2$  + <0,03 kPa de  $CO_2$ ; 1,0 kPa de  $O_2$  + 1,0 kPa de  $CO_2$ ; 1,0 kPa de  $O_2$  + 2,0 kPa de  $CO_2$ ; e 1,0 kPa de  $O_2$  + 3,0 kPa de  $CO_2$ .

Os frutos foram armazenados ( $-0,5 \pm 0,1^\circ C$  e UR de  $96 \pm 2\%$ ) durante nove meses em minicâmaras experimentais com capacidade de 233 L. As condições de AC foram estabelecidas mediante a diluição do  $O_2$  no ambiente de armazenamento com injeção de  $N_2$ , proveniente de um gerador deste gás, que utiliza o princípio "Pressure Swing Adsorption" (PSA), e posterior injeção de  $CO_2$ , proveniente de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido, nos tratamentos com  $CO_2 > 0,03$  kPa. A manutenção das pressões parciais

desejáveis dos gases, que variavam em razão da respiração dos frutos, foi realizada, diariamente, com o uso de equipamento automático para controle de gases (Kronenberger/Climasul, Caxias do Sul, Brasil). Quando os níveis do  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  não estavam adequados, o equipamento procedia à correção das pressões parciais até os níveis preestabelecidos nos tratamentos. O  $\text{O}_2$  consumido pela respiração foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras, e o  $\text{CO}_2$  em excesso, foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio a 40%, através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento. Nos tratamentos com baixo  $\text{CO}_2$  (0,5 kPa de  $\text{O}_2$  + <0,03 kPa de  $\text{CO}_2$  e 1,0 kPa de  $\text{O}_2$  + <0,03 kPa de  $\text{CO}_2$ ), a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  foi mantida por meio da colocação de cal hidratada no interior das minicâmaras, para a contínua eliminação do  $\text{CO}_2$  no ambiente de armazenamento.

Após a saída da câmara, os frutos permaneceram durante seis dias em condição ambiente ( $20 \pm 5^\circ\text{C}$  e UR de  $63 \pm 2\%$ ), sendo, em seguida, avaliados em relação à incidência e severidade de escurecimento de polpa. Para tanto, realizou-se um corte na secção transversal dos mesmos, onde se considerou frutos com incidência aqueles que apresentassem regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento ou mesmo com a formação de cavidades características da presença do distúrbio (FRANCK et al, 2007). As peras foram ainda avaliadas de acordo com a seguinte escala de severidade: 1 = sem incidência de escurecimento de polpa; 2 = incidência de escurecimento de polpa leve, com até 10% da polpa afetada; 3 = incidência de escurecimento de polpa moderada, com 11 a 30% da polpa afetada; e 4 = incidência de escurecimento severa, com mais de 30% da polpa afetada.

Após as avaliações, os frutos de todas as unidades experimentais foram separados em dois grupos: sem e com incidência de escurecimento de polpa. Dentre as 20 unidades experimentais que foram armazenadas em AC, apenas 16 foram utilizadas para comparação entre os teores minerais, por terem

apresentado, simultaneamente, frutos com e sem escurecimento de polpa. Uma vez que poucas repetições apresentaram simultaneamente frutos com todos os níveis da escala de severidade do distúrbio, constituindo um baixo número de repetições, não foram realizadas comparações entre os teores minerais da polpa nos diferentes graus de severidade.

Para a análise mineral foi utilizada apenas a região distal (cavidade calicinar) da polpa dos frutos, removendo-se a casca e o tecido da região carpelar central. Optou-se pela utilização apenas da região distal dos frutos, uma vez que ela é a mais recomendada para a avaliação de atributos minerais em maçãs que apresentam “bitter pit” (MIQUELITO et al., 2011). O processamento foi realizado com o auxílio de um mixer Braun Multiquick MR40. Os teores de todos os elementos minerais foram quantificados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) segundo adaptação da metodologia descrita por Amarante, Chaves e Ernani (2006) e expressos com base no peso fresco. Após as determinações, foram ainda calculadas as seguintes relações entre os nutrientes: K/Ca, Mg/Ca e N/Ca.

Para determinação dos teores de Ca, Mg e K, foram pesados 5,0 gramas de polpa fresca em uma balança analítica, os quais foram depositados em cadinhos de porcelana, sendo então conduzidos a um forno tipo mufla durante cinco horas, sob uma temperatura de 630 °C. Após retirar as amostras da mufla, adicionou-se às mesmas 15 mL de HCl a 1,8 N, formando o extrato original.

Para a determinação de Ca, retirou-se uma alíquota de 5 mL do extrato original e adicionou-se 5 mL de lantânio no interior de um tubo falcon de 15 mL. Para a quantificação de Mg, retirou-se 2 mL do extrato original e adicionou-se 10 mL de água destilada. Desta solução diluída, pipetou-se 5 mL e adicionou-se 5 mL de lantânio. Já os teores de K foram determinados por meio de uma alíquota de 1,0 mL do extrato original, a qual foi diluída em 20 mL de água destilada. Após as diluições, para os três minerais, as amostras foram lidas em

espectrofotômetro de absorção atômica, modelo Analyst 100, marca PerkinElmer® (Waltham, EUA).

Para determinação de N, dois gramas de polpa fresca dos frutos foram digeridos a 350 °C, utilizando-se uma mistura de ácido sulfúrico concentrada e água oxigenada 30 volumes. Os teores do mineral foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

Para comparação entre as condições de AC com relação à incidência e severidade de escurecimento de polpa, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e unidade experimental constituída por trinta frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e dados em porcentagem foram transformados pela fórmula arco seno  $[(x+1)/100]^{1/2}$  antes de serem submetidos à ANOVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para comparação entre os frutos com e sem escurecimento de polpa, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, constituído por 16 repetições. Os dados dos teores minerais, bem como das relações K/Ca, Mg/Ca e N/Ca, foram submetidos à ANOVA ( $p < 0,05$ ). Para identificação dos principais atributos minerais capazes de discriminar frutos com e sem o distúrbio, os dados foram submetidos à análise canônica discriminante (ACD). Para estes procedimentos foi utilizado o programa estatístico SAS (SAS Institute, Cary, EUA).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O armazenamento sob 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> proporcionou maior incidência de escurecimento de polpa em relação às condições de 0,5 kPa O<sub>2</sub> + <0,03 kPa CO<sub>2</sub> e 1,0 kPa O<sub>2</sub> + <0,03 kPa CO<sub>2</sub>, não diferindo, contudo, das demais condições avaliadas (Tabela 5). Com relação à severidade do distúrbio, os frutos armazenados na condição de 1,0 kPa de O<sub>2</sub> + 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram maiores valores

comparativamente aos frutos armazenados nas demais condições. As trocas gasosas desempenham um papel chave no desenvolvimento das desordens de escurecimento de polpa em peras armazenadas em AC (FRANCK et al., 2007). Sob condições de alto CO<sub>2</sub> na câmara, as pressões parciais desse gás podem atingir níveis ainda mais elevados nas células do interior da polpa, limitando a difusão do O<sub>2</sub> para o interior do fruto (PEDRESCHI et al., 2008). Sob tais condições, a respiração anaeróbica pode ser induzida, levando à formação de compostos tóxicos relacionados ao metabolismo fermentativo e, conseqüentemente, à ocorrência do escurecimento de polpa (FRANCK et al., 2007). Baixas pressões parciais de O<sub>2</sub> nas células da polpa podem ainda ocasionar o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, as quais, por sua vez, podem proporcionar a peroxidação lipídica e a desnaturação proteica (DEUCHANDE; FIDALGO; LARRIGAUDIÈRE, 2012), promovendo danos às membranas e, por conseguinte, induzindo a incidência do distúrbio.

Tabela 5 - Incidência e severidade de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’ submetidas a diferentes condições de armazenamento em atmosfera controlada, por nove meses (-0,5±0,1°C e UR de 96±2%), e mantidas durante seis dias em condição ambiente (20±5 °C e UR de 63±2%).

O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Incidência (%)	Severidade (1 - 4)
0,5 + <0,03	6,20 b	1,09 b
1,0 + <0,03	8,88 b	1,12 b
1,0 + 1,0	18,21 ab	1,32 b
1,0 + 2,0	26,52 ab	1,39 b
1,0 + 3,0	48,02 a	1,79 a
CV (%)	35,3	10,8

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). ns: não significativo (p>0,05). Fonte: Produção do próprio autor.

Menores teores de Ca foram observados nos frutos que apresentaram escurecimento de polpa em relação àqueles que não apresentaram incidência do distúrbio (Tabela 6). Muitos distúrbios fisiológicos estão associados a baixos teores de Ca no fruto, tanto para a cultura da pereira (RAESE; DRAKE, 2006; WÓJCIK, 2012) quanto para a cultura da macieira (JAMES; JOBLING, 2009; MIQUELOTO et al., 2011). O Ca apresenta um papel fundamental para a manutenção da integridade celular, uma vez que o mesmo estabelece ligações iônicas com o ânion fosfato de fosfolípidos da membrana plasmática, contribuindo para estrutura e funcionalidade das membranas (FREITAS et al., 2010; AMARANTE et al., 2013). Dessa forma, o Ca pode apresentar grande relação com a ocorrência do escurecimento de polpa em peras europeias, já que a manifestação desse distúrbio é caracterizada pela redução da integridade de membranas e pelo processo de descompartimentalização celular (SAQUET; STREIF, 2006; FRANCK et al., 2007).

Apesar de existirem poucos estudos que relacionem os teores minerais da polpa de peras com a incidência de distúrbios fisiológicos, alguns autores verificaram o efeito benéfico da aplicação pré-colheita de cloreto de cálcio na prevenção de distúrbios fisiológicos em peras (MAHAJAN; DHATT, 2004; RAESE; DRAKE, 2006). Em um trabalho realizado com peras ‘Conference’, Wójcik (2012) observou que seis aplicações pré-colheita de cloreto de cálcio proporcionaram frutos menos maduros e menos sensíveis ao escurecimento de polpa em relação àqueles que não foram submetidos ao tratamento. De acordo com o mesmo autor, o aumento dos teores de Ca na polpa retardou o processo de amadurecimento dos frutos, o que pode ter contribuído para uma redução na incidência do distúrbio, pois, de maneira geral, peras mais maduras são mais suscetíveis ao escurecimento de polpa (FRANCK et al., 2007).

Tabela 6 - Concentração de Ca, Mg, K e N (em mg kg<sup>-1</sup> de massa fresca) e valores das relações Mg/Ca, K/Ca, N/Ca na polpa de peras 'Rocha' sem e com escurecimento de polpa.

Atributo	Sem	Com	Probabilidade	CV
Ca	96,20	84,27	0,030	16,4
K	1026,05	1105,74	0,029	9,2
Mg	78,93	77,00	ns	12,1
N	83,20	92,53	ns	26,2
K/Ca	10,82	13,51	<0,001	17,0
Mg/Ca	0,83	0,93	0,010	11,3
N/Ca	0,88	1,12	0,026	29,0

ns: não significativo ( $p > 0,05$ ). Fonte: Produção do próprio autor.

Frutos com escurecimento de polpa apresentaram teores mais elevados de K, bem como uma maior relação K/Ca, em comparação aos frutos sem escurecimento de polpa (Tabela 6). Alguns autores também observaram que altos teores de K, bem como uma alta relação K/Ca na polpa podem estar relacionados com a ocorrência de degenerescência de polpa em maçãs 'Fuji' (CORRÊA et al., 2012) e 'Braeburn' (NEUWALD; KITTEMANN; STREIF, 2008), após o armazenamento em AC. O K é um nutriente antagonista ao Ca, cujo efeito ocorre devido a uma competição por sítios de ligação na membrana plasmática sem, contudo, desempenhar a mesma função de manutenção da integridade de membranas que o Ca, o que pode provocar o colapso de membranas e, conseqüentemente, a morte da célula (JAMES; JOBLING, 2009; FREITAS et al., 2010).

Para frutos com escurecimento de polpa, foram verificadas maiores relações Mg/Ca e N/Ca em relação aos frutos que não tiveram incidência do distúrbio (Tabela 6). Possivelmente, para os resultados encontrados no presente trabalho, essas maiores relações se devem ao Ca propriamente

dito, uma vez que os teores de Mg e de N, quando analisados individualmente, não diferiram nos tecidos de frutos com e sem escurecimento de polpa (Tabela 6).

Como houve diferenças nos teores de Ca, K e as relações K/Ca, Mg/Ca e N/Ca para a análise univariada de frutos sem e com escurecimento de polpa, os mesmos foram submetidos à ACD. O parâmetro utilizado para discriminar frutos sem e com o distúrbio fisiológico foi o coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP). O coeficiente da TDP foi obtido por meio do produto entre os coeficientes canônicos padronizados (CCP) e os coeficientes de correlação canônica ( $r$ ) (AMARANTE; CHAVES; ERNANI, 2006).

O teste estatístico multivariado de Wilk's Lambda mostrou diferenças significativas entre frutos sem e com escurecimento de polpa na  $FCD_1$  (Tabela 7). O valor da correlação canônica (0,5927) indicou que existe associação entre os atributos minerais avaliados e a ocorrência desse distúrbio fisiológico em peras 'Rocha'.

Tabela 7 - Coeficientes da taxa de discriminação paralela (TDP) para a função canônica discriminante 1 ( $FCD_1$ ), referente aos atributos minerais da polpa de peras 'Rocha' sem e com escurecimento de polpa.

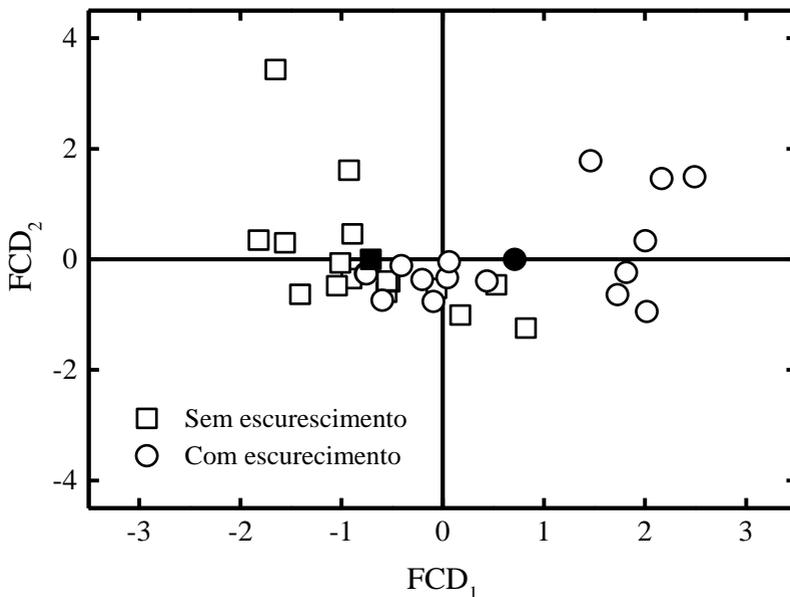
Atributo mineral	TDP
Ca	-0,4420
K	-0,0329
<b>K/Ca</b>	<b>1,4073</b>
Mg/Ca	-0,0773
N/Ca	0,1449
$\Sigma$	1,0000
Correlação canônica	0,5927
Probabilidade	0,0004

Fonte: Produção do próprio autor.

A relação K/Ca apresentou o maior valor de coeficiente da TDP (Tabela 6), indicando que, dentre todos os atributos nutricionais avaliados, este é o que melhor discrimina peras ‘Rocha’ com e sem escurecimento de polpa. Por outro lado, o teor isolado dos minerais Ca e K não se mostrou relevante na separação entre lotes de frutos com e sem a ocorrência do distúrbio, uma vez que valores negativos de coeficiente da TDP expressam efeito de supressão do atributo nutricional na separação entre frutos com e sem escurecimento de polpa (AMARANTE; CHAVES; ERNANI, 2006). Resultados semelhantes foram reportados por Miqueloto et al. (2011) em maçãs ‘Fuji’, os quais observaram que, apesar de os minerais Ca e K apresentarem diferenças entre lotes com e sem a presença de “bitter pit” para a análise univariada, estes não seriam, isoladamente, os melhores parâmetros para promover uma distinção entre frutos com e sem o distúrbio, mas sim a relação K/Ca na polpa.

A representação gráfica entre os CCP da função canônica discriminante 1 ( $FCD_1$ ) mostra uma nítida separação entre frutos sem e com escurecimento de polpa (Figura 1). Frutos com escurecimento apresentaram valores médios maiores de CCP em relação a frutos sem escurecimento de polpa (Figura 1), principalmente como resultado dos maiores valores da relação K/Ca na polpa.

Figura 1 - Coeficientes canônicos padronizados (CCP) da função canônica discriminante 1, em peras 'Rocha' sem e com escurecimento de polpa, considerando os atributos minerais descritos na Tabela 3. Símbolo cheio representa o valor médio de CCP para frutos sem e com escurecimento de polpa. Uma vez que a análise permite apenas uma função canônica discriminante ( $FCD_1$ ), uma segunda função canônica discriminante ( $FCD_2$ ) foi criada com observações aleatórias  $[N(0,1)]$ , apenas para fins de representação gráfica.



Fonte: Produção do próprio autor.

Ao contrário do que acontece para outros elementos, como o Mg, K e N, o Ca não é móvel no floema, sendo translocado na planta através do xilema (MIQUELOTO et al., 2014). Alguns autores relatam que, para algumas cultivares de maçã, ocorre drástica redução no teor de Ca dos frutos em

função da perda da funcionalidade do xilema (DRAŽETA et al., 2004; MIQUELOTO et al., 2014). Por outro lado, a funcionalidade do floema mantém-se inalterada, de forma que esse tecido continua a se diferenciar e transportar K, Mg e N durante todo o processo de desenvolvimento do fruto, garantindo elevados níveis desses nutrientes na polpa. Assim, nutrientes como Mg e K podem competir por sítios de ligação do Ca na membrana. Porém, tanto o Mg quanto o K não desempenham a mesma função na manutenção da integridade de membranas que o Ca (FREITAS et al., 2010; MIQUELOTO et al., 2011), vindo a predispor o fruto à ocorrência de escurecimento de polpa. Esse mecanismo, que explica como ocorre a competição entre minerais em maçãs com “bitter pit”, pode ser semelhante àquele que ocorre em peras europeias com escurecimento de polpa, tendo em vista que ambos os distúrbios estão relacionados a menores teores de Ca na polpa dos frutos.

Os baixos níveis de Ca nos frutos, mesmo para solos devidamente adubados, também podem ser atribuídos à baixa capacidade de transporte desse nutriente para determinadas regiões da planta, uma vez que outros tecidos da pereira, que crescem com maior vigor, podem competir diretamente com os frutos pelo nutriente (SAURE, 2005). Dentro de uma mesma planta, a posição do fruto na árvore pode influenciar a suscetibilidade do mesmo ao escurecimento de polpa (FRANCK et al., 2007). Frutos em condição de menor incidência de luz (interior do dossel), podem ter seu fluxo transpiratório reduzido e, conseqüentemente, menor aporte de Ca em relação a frutos que estão sob maior incidência luminosa (MIQUELOTO et al., 2011). De acordo com Franck et al. (2003), peras ‘Conference’, localizadas no topo da árvore, também são mais suscetíveis ao escurecimento de polpa em relação a frutos localizados nas porções mais baixas do dossel.

A combinação de diversos fatores pré-colheita irá influenciar um conjunto de atributos específicos do fruto, os quais, por sua vez, determinarão a suscetibilidade ao

escurecimento de polpa (FRANCK et al., 2007). Dessa forma, diferenças nos teores minerais, bem como na composição química do fruto como um todo, podem explicar as variações encontradas quanto à suscetibilidade ao distúrbio dentro de um mesmo pomar, como foi verificado para o presente estudo. Assim, técnicas de manejo do pomar, que visem melhorar o estado nutricional dos frutos, devem ser adotadas com a finalidade de prevenir o escurecimento de polpa em peras que serão destinadas ao armazenamento em AC.

Uma vez que se torna difícil prever a ocorrência de desordens de escurecimento de polpa, o conhecimento de que o aumento da relação K/Ca pode favorecer a incidência do distúrbio pode contribuir para predizer frutos que apresentam maior risco de desenvolverem o escurecimento de polpa em pós-colheita, bem como auxiliar no planejamento das condições e do período de armazenamento mais adequado ao armazenamento, de forma a obter frutos de maior qualidade com uma menor incidência de distúrbios fisiológicos.

### 3.6 CONCLUSÕES

1. O armazenamento sob 1,0 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> favorece a ocorrência de escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’, aumentando não apenas a incidência mas também a severidade do distúrbio.
2. O escurecimento de polpa em peras ‘Rocha’ está associado a menores concentrações de Ca, bem como a teores mais elevados de K e a maiores relações Mg/Ca, K/Ca, N/Ca na polpa dos frutos.
3. A relação K/Ca na polpa é o atributo mineral que melhor discrimina peras ‘Rocha’ com e sem escurecimento de polpa.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de existirem estudos em outros países, o Brasil apresenta um número bastante restrito de trabalhos relacionados à cultura da pereira. Uma vez que o país possui condições edafoclimáticas distintas, bem como limitações e preferências de mercado diferenciadas em relação aos países europeus e norte-americanos, são necessários estudos relacionados à pós-colheita que levem esses fatores em consideração.

O planejamento ideal de condições de armazenamento de peras ‘Rocha’ envolve inúmeros fatores. O estágio de maturação na colheita desempenha um papel chave na capacidade de armazenamento dos frutos e na determinação das condições adequadas de AC. A suscetibilidade dos frutos a distúrbios fisiológicos e a perda da capacidade de amadurecimento também estão diretamente relacionados a este fator. Dessa forma, para experimentos futuros, sugere-se avaliar a relação entre o estágio de maturação na colheita e o potencial de armazenamento dos frutos.

Outros fatores pós-colheita podem ainda influenciar a capacidade de armazenamento e a incidência de distúrbios fisiológicos em peras armazenadas em AC, como o momento da instalação das condições de AC e até mesmo a duração e a temperatura utilizadas no armazenamento. Além disso, a aplicação de determinados produtos em pós-colheita, como o 1-MCP, também pode contribuir para a manutenção da qualidade dos frutos. Apesar disso, os fatores envolvidos na tecnologia de aplicação desse produto na cultura da pera precisam ser melhor compreendidos.

Ademais, fatores pré-colheita estão diretamente associados ao potencial de armazenamento e à incidência de escurecimento de polpa, uma vez que os mesmos podem apresentar alta relação com os teores minerais, propriedades funcionais e até mesmo propriedades de difusão dos gases dentro dos frutos. Dessa forma, o modo como a ocorrência de escurecimento de polpa é afetada por fatores como cultivar,

porta-enxerto, fertilidade do solo, práticas de manejo, condições climáticas e até mesmo a posição dos frutos na árvore precisa ser melhor compreendida.

Com relação à composição mineral de peras, se faz ainda necessário um estudo que elucide as diferenças existentes com relação aos teores minerais entre as cultivares e até mesmo dentro do próprio fruto. Para trabalhos futuros, sugere-se ainda verificar a relação entre os teores minerais na polpa de peras e os diferentes níveis de severidade de escurecimento de polpa.

Além disso, é importante ressaltar que novos trabalhos precisam ser desenvolvidos na área de pós-colheita com outras cultivares de peras que apresentam potencial produtivo na região Sul do Brasil. Não apenas peras europeias, mas também peras asiáticas e peras rústicas apresentam um mercado consumidor promissor no país, devendo ser melhor estudadas. É importante ressaltar que o conhecimento do comportamento fisiológico de um fruto permite uma manipulação mais adequada, proporcionando redução de perdas após a colheita e, por conseguinte, maximizando sua conservação, disponibilizando ao consumidor maior quantidade de frutos, bem como frutos de melhor qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, C.V.T.; CHAVES, D.V.; ERNANI, P.R.  
Análise multivariada de atributos nutricionais associados ao  
“bitter pit” em maçãs ‘Gala’. **Pesquisa Agropecuária  
Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.841-846, 2006.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; ERNANI, P.R.  
Identificação pré-colheita do risco de ocorrência de “bitter pit”  
em maçãs ‘Gala’ por meio de infiltração com magnésio e  
análise dos teores de cálcio e nitrogênio nos frutos. **Revista  
Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n.1, p.27-34,  
2010.

AMARANTE, C.V.T. et al. Fruit sampling methods to quantify  
calcium and magnesium contents to predict bitter pit  
development in ‘Fuji’ apple: A multivariate approach. **Scientia  
Horticulturae**, Amsterdam, v.157, p.19-23, 2013.

BETTIOL NETO, J.E. et al. Produção e qualidade pós-colheita  
de cultivares de pereira nas condições subtropicais da região  
leste paulista. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1740-  
1746, 2014.

BLASZCZYK, J. Influence of harvest date and storage  
conditions on the content of chlorophyll pigments in pear peels.  
**Folia Horticulturae**, Cracóvia, v.24, n.1, p.91-95, 2012.

BOTH, V. et al. Estresse inicial por baixo oxigênio seguido do  
armazenamento em atmosfera controlada de maçãs ‘Royal  
Gala’. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.45, n.4,  
p.708-717, 2014.

BRACKMANN, A. et al. Condições de atmosfera controlada para a maçã ‘Pink Lady’. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.504-509, 2005.

CAVACO, A.M. et al. ‘Rocha’ pear firmness predicted by a Vis/NIR segmented model. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.51, n.1, p.311-319, 2009.

CHENG, Y. et al. Effects of 1-MCP on chlorophyll degradation pathway-associated genes expression and chloroplast ultrastructure during the peel yellowing of Chinese pear fruits in storage. **Food Chemistry**, Washington, v.135, p.415-422, 2012.

CHIRIBOGA, M. et al. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated ‘Conference’ pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.91, n.1, p.1781-1788, 2011.

CORRÊA, T.R. et al. Qualidade de maçãs ‘Fuji’ armazenadas em atmosfera controlada e influência do clima na degenerescência da polpa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.531-538, 2010.

CORRÊA, T.R. et al. Composição mineral, qualidade e degenerescência de polpa de maçãs ‘Fuji’ em diferentes porta-enxertos durante armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n.1, p.33-40, 2012.

DEUCHANDE, T.; FIDALGO, F.; LARRIGAUDIÈRE, C.; Almeida, D.P.F. Internal browning disorders during storage of ‘Rocha’ pear: effects of harvest maturity and CO<sub>2</sub> partial pressure. In: X Simposio Nacional y VII Ibérico sobre Maduración y Postcosecha, 2012, Lleida. **Avances en**

**Poscosecha de frutas y hortalizas**, Universitat de Lleida, 2012, p. 583-587.

DHILLON, W.S.; MAHAJAN, B.V.C. Ethylene and ethephon induced fruit ripening in pear. **Journal of Stores Products and Postharvest Research**, Nairobi, v.2, n.3, p.45-51, 2011.

DRAKE, S.R.; GIX, R.D.; COUREAU, C. Quality of ‘Anjou’ pears after different types of controlled atmosphere storage. **Journal of Food Quality**, Oxford, v.24, n.1, p.27-36, 2001.

ELGAR, H.J. et al. Quality of ‘Buerre Bosc’ and ‘Doyenne du Comice’ pears in relation to harvest date and storage period. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.10, p.29-37, 1997.

EKMAN, J.H. et al. Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for ‘Bartlett’ pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, n.1, p.127-136, 2004.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Pear**. 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

FAORO, I.D.; ORTH, A.I. A cultura da pereira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.1-2, 2010.

FERREIRA, V.L.P. et al. **Análise sensorial testes discriminativos e afetivos**. 1 ed. Campinas, SP: SBCTA, 2000, 127p.

FIORAVANÇO, J.C.; OLIVEIRA, P.R.D. Produção e importação brasileira de pera no período de 2001 a 2012.

**Informações Econômicas**, São Paulo, v.44, n.6, p.16-22, 2014.

FRANCK, C. et al. Ascorbic acid mapping to study core breakdown. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.30, p.133–142, 2003.

FRANCK, C. et al. Browning disorders in pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.43, p.1-13, 2007.

FREITAS, S.T. et al. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.57, p.6-13, 2010.

GAGO, C.M.L. et al. Combined effect of temperature and controlled atmosphere on storage and shelf-life of ‘Rocha’ pear treated with 1-methylcyclopropene. **Food Science and Technology International**, Nova Iorque, v.21, n.2, p.94-103, 2013.

GALVIS-SÁNCHEZ, A.C.; MORAIS, A.M.M.B. Effects of controlled atmosphere (CA) storage on pectinmethylesterase (PME) activity and texture of ‘Rocha’ pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.82, n.1, p.143-145, 2001.

GALVIS-SÁNCHEZ, A.C. et al. Physicochemical and sensory evaluation of ‘Rocha’ pear following controlled atmosphere storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v.68, n.1, p.318-327, 2003.

GALVIS-SÁNCHEZ, A.C. et al. Sensorial and physiocochemical quality responses of pears (cv Rocha) to long-term storage under controlled atmospheres. **Journal of**

**the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.84, n.1, p.1646-1656, 2004.

GALVIS-SÁNCHEZ, A.C. et al. Effect of different levels of CO<sub>2</sub> on the antioxidant content and the polyphenol oxidase activity of ‘Rocha’ pears during cold storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.86, n.1, p.509-517, 2006.

HO, Q. et al. Gas diffusion at different positions in the pear. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.41, p.113-120, 2006.

JAMES, H.J.; JOBLING, J.J. Contrasting the structure and morphology of the radial and diffuse flesh browning disorders and CO<sub>2</sub> injury of ‘Cripps Pink’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.53, p.36-42, 2009.

LAMMERTYN, J. et al. Logistic regression analysis of factors influencing core breakdown in Conference pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, p.25–37, 2000.

LAMMERTYN, J. et al. A respiration–diffusion model for Conference pears I: model development and validation. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.30, p.29-42, 2003.

LARA, M.V. et al. Peach (*Prunus persica*) fruit response to anoxia: reversible ripening delay and biochemical changes. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v.52, n.2, p.392-403, 2011.

LARRIGAUDIÈRE, C. et al. Biochemical characterization of core browning and brown heart disorders in pear by multivariate analysis. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, p.29-39, 2004.

LIU, R. et al. Changes in physiology and quality of Laiyang pear in long time storage. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.150, p.31-36, 2013.

MA, S.S.; CHEN, P.M. Storage disorder and ripening behavior of ‘Doyenne du Comice’ pears in relation to storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.1, p.281-294, 2003.

MAHAJAN, B.V.C.; DHATT, A.S. Studies on postharvest calcium chloride application on storage behaviour and quality of Asian pear during cold storage. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v.2, n.1, p. 157–159, 2004.

MAKKUMRAI, W. et al. Effect of ethylene and temperature conditioning on sensory attributes and chemical composition of ‘Bartlett’ pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.97, p.44-61, 2014.

MARTIN, M.S. et al. Qualidade de peras ‘Rocha’ armazenadas em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.73-82, 2015.

MIQUELOTO, A. et al. Atributos fisiológicos, físico-químicos e minerais associados à ocorrência de “bitter pit” em maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.7, p.689-696, 2011.

MIQUELOTO, A. et al. Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.165, p.319-323, 2014.

MURAYAMA, H. et al. Relationship between fruit softening and cell wall polysaccharides in pears after different storage periods. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.26, n.1, p.15-21, 2002.

MURAYAMA, H. et al. Effect of storage period on the molecular-mass distribution profile of pectic and hemicellulosic polysaccharides in pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.40, n.1, p.141-148, 2006.

NASHIMA, K. et al. Microarray analysis of gene expression patterns during fruit development in European pear (*Pyrus communis*). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.164, p.466-473, 2013.

NEUWALD, D.A.; KITTEMANN, D.; STREIF, J. Possible prediction of physiological storage disorders in 'Braeburn' apples comparing fruit of different orchards. **Acta Horticulturae**, Wellington, n.796, p.211-216, 2008.

PEDRESCHI, R. et al. Physiological implications of controlled atmosphere storage of 'Conference' pears (*Pyrus communis* L.): A proteomic approach. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.50, p.110-116, 2008.

PEDRESCHI, R. et al. Metabolic profiling of 'Conference' pears under low oxygen stress. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.51, p.123-130, 2009.

PETINELI, R. et al. Produção de pereiras europeias enxertadas sobre marmeleiro Adams nas condições climáticas da serra catarinense. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n.2, p.62-69, 2014.

- PREDIERI, S.; GATTI, E. Effects of cold storage and shelf-life on sensory quality and consumer acceptance of ‘Abate Fetel’ pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.51, n.1, p.342-348, 2009.
- RAESE, J.T.; DRAKE, S.R. Calcium foliar sprays for control of alfalfa greening, cork spot, and hard end in ‘Anjou’ pears. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.29, p.543-552, 2006.
- SALTA, J. et al. Phenolic composition and antioxidant activity of Rocha pear and other pear cultivars – A comparative study. **Journal of Functional Foods**, Richardson, v.2, p.153-157, 2010.
- SAQUET, A.A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in ‘Conference’ pears under various storage conditions. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.81, n.5, p.910-914, 2006.
- SAURE, M. C., Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Science Horticultural**, Amsterdam, n.105, p.65-89, 2005.
- STEFFENS, C.A. et al. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.313-321, 2007.
- STREIF, J.; SAQUET, A.A.; XUAN, H. Ca-related disorders of apples and pears. **Acta Horticulturae**, Wellington, v. 600, p. 223 - 230, 2001.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise do solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TOMAZ, Z.F.P. et al. Compatibilidade de enxertia de cultivares de marmeleiros com pereiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n.4, p.1211-1217, 2009.

TRAN, D.T. et al. Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of ‘Greenstar’ apples using chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.184, p.18-22, 2015.

VILLALOBOS-ACUÑA, M.; MITCHAM, E.J. Ripening of European pears: the chilling dilemma. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.49, n.1, p.187-200, 2008.

WANG, Y.; SUGAR, D. Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged ‘Bartlett’ pears during storage and transit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.83, p.72-82, 2013.

WEBER, A. et al. Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã ‘Maxi Gala’. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.44, n.2, p.294-301, 2013.

WÓJCIK, P. Quality and ‘Conference’ pear storability as influenced by preharvest sprays of calcium chloride. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.35, p.1970-1983, 2012.

XIE, X. et al. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated ‘d’Anjou’ pears are affected by storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.97, p.1-10, 2014.

YAN, S. et al. Maturity and cooling rate affects browning, polyphenol oxidase activity and gene expression of ‘Yali’ pears during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.85, p.39-44, 2013.

ZERBINI, P.E. The quality of pear fruit. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.596, p.805-810, 2002.

ZUCOLOTO, M. **Amadurecimento e conservação pós-colheita de peras Europeias produzidas no Brasil**. 2012. 129p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2012.