

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MANEJO DA UMIDADE RELATIVA DO AR  
DURANTE O ARMAZENAMENTO E SUA  
RELAÇÃO COM O AMADURECIMENTO E  
DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM FRUTAS**

---

**TESE DE DOUTORADO**

**Josuel Alfredo Vilela Pinto**

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**MANEJO DA UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE O  
ARMAZENAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O  
AMADURECIMENTO E DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM  
FRUTAS**

---

**Por**

**Josuel Alfredo Vilela Pinto**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade  
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção  
do grau de

**Doutor em Agronomia**

**Orientador: Prof. Dr. Auri Brackmann**

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de doutorado

**MANEJO DA UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE O  
ARMAZENAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O AMADURECIMENTO  
E DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM FRUTAS**

elaborada por

**Josuel Alfredo Vilela Pinto**

como requisito para a obtenção do grau de  
**Doutor em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Auri Brackmann, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Adriano Arriel Saquet, Dr.** (IF Farroupilha)

---

**Arno Bernardo Heldwein, Dr.** (UFSM)

---

**Cristiano André Steffens, Dr.** (UDESC)

---

**Jerônimo Luiz Andriolo, Dr.** (UFSM)

Santa Maria, 16 de março de 2012

Dedico, com muita estima e apreço, a todas as  
pessoas e instituições que colaboraram na execução do  
projeto... meus sinceros agradecimentos!

**DEDICO**

*O homem chega à sua maturidade quando encara a vida com a mesma seriedade que uma criança encara uma brincadeira (Friedrich Nietzsche).*

## **RESUMO**

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **MANEJO DA UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE O ARMAZENAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O AMADURECIMENTO E DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM FRUTAS**

AUTOR: Josuel Alfredo Vilela Pinto  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Auri Brackmann  
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 16 de março de 2012

Muitos fatores influenciam a ocorrência de distúrbios fisiológicos em frutas armazenadas, entre estes a umidade relativa (UR) é um dos principais. A UR baixa desidrata os frutos e alta pode causar distúrbios fisiológicos. Diante disso, para melhorar a determinação e o controle da umidade durante o armazenamento, foram conduzidos experimentos com maçãs, pêssegos, uva, goiaba e tangor 'Murcott' com os objetivos de: quantificar o nível adequado de perda de massa para obter a melhor qualidade pós-armazenamento destes frutos; quantificar a perda de massa de maçãs, pêssegos e outras frutas em função da umidade relativa em que ficaram expostos. Segundo os resultados, em maçãs 'Royal Gala' a indução da perda de massa de 4% nos primeiros 30 dias (inicial) ou durante todo o período (linear) de armazenamento evita a ocorrência de distúrbios fisiológicos. Em maçãs 'Fuji', o desenvolvimento da degenerescência e rachadura de polpa, ocorre com maior frequência, quando os frutos são acondicionados em umidade relativa alta, maior que 95%. Em pêssegos 'Eragil', armazenados durante 21 dias na temperatura  $-0,5^{\circ}\text{C}$  e perda de massa de 4, 5, 6 e 7%, foi constatado que o aumento na perda de massa promove aumento na firmeza de polpa, lanosidade e redução na suculência. Além disso, nas condições de armazenamento utilizadas na execução do experimento, a intensidade de perda de massa diária das espécies é crescente na seguinte ordem: maçã, uva, tangor 'Murcott', goiaba e pêssego.

**Palavras-chave:** Pós-colheita; conservação; perda de massa e manejo de câmaras.

**ABSTRACT**  
Doctoral Thesis  
Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria

**MANAGEMENT OF RELATIVE HUMIDITY OF THE AIR DURING STORAGE  
AND ITS RELATION TO RIPENING AND PHYSIOLOGICAL DISORDERS IN  
FRUITS**

AUTHOR: Josuel Alfredo Vilela Pinto  
ADVISER: Prof. Dr. Auri Brackmann  
Santa Maria, March 16<sup>th</sup>, 2012

Many factors influence the occurrence of physiological disorders in stored fruits, the relative humidity (RH) is one of the main. The low RH dehydrates the fruits and the high one can cause physiological disorders. Thus to improve the determination and the control of humidity during storage, experiments were conducted on apples, peaches, grapes, guava and Murcott aiming at: quantifying the appropriate level of mass loss for the best quality post storage of these fruits; quantifying the mass loss of apples, peaches and other fruits due to the relative humidity in which they were exposed. According to the results, in 'Royal Gala' apples, the induction of 4% of mass loss in 30 days (initial) or throughout the storage period (linear) prevents the occurrence of physiological disorders. In 'Fuji' apples, the development of breakdown and pulp crack occurs most frequently when the fruits are stored in high relative humidity, higher than 95%. In 'Eragil' peaches, stored for 21 days at 0.5 °C, having 4, 5, 6 and 7% of mass loss, it was verified that the increase in mass loss leads to an increase in pulp firmness, woolliness and reduction in juiciness. Furthermore, in the storage conditions used when executing the experiment, the intensity of daily mass loss of species is increasing in the following order: apple, grape, Murcott, guava and peach.

**Key words:** Postharvest, conservation, mass loss and chambers management.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Porcentagem de podridão e índice de murchamento em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C, na saída da câmara e aos sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012. .... 46
- Figura 2.** Porcentagem de rachadura, degenerescência e polpa farinácea em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012. .... 47
- Figura 3.** Firmeza de polpa, atividade da ACC oxidase, perda de massa e suculência em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012. .... 48
- Figura 4.** Taxa respiratória e produção de etileno em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C na saída da câmara e aos sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012. .... 49
- Figura 5.** Parâmetros físico-químicos de pêssegos ‘Eragil’ durante sete dias após a colheita e mantidos na temperatura de 20°C. Santa Maria, RS, 2012. .... 57



<b>Figura 6.</b> Lanosidade, succulência e firmeza de polpa de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C, em função dos níveis de perda de massa. Santa Maria, RS, 2012.....	58
<b>Figura 7.</b> Acidez titulável, SST e cor de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C em função da perda de massa dos frutos. Santa Maria, RS, 2012.....	61
<b>Figura 8.</b> Etileno, respiração e atividade da ACC oxidase de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C, em função da perda de massa. Santa Maria, RS, 2012.....	63
<b>Figura 9.</b> Qualidades físico-químicas de pêssegos ‘Eragil’ após 60 dias de armazenamento em atmosfera controlada com 2,0 kPa de O <sub>2</sub> + 5,0 kPa de CO <sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais seis dias de exposição a 20°C em resposta a diferentes níveis de UR. Santa Maria, RS, 2012.....	72
<b>Figura 10.</b> Qualidades físico-químicas de pêssegos ‘Eragil’ após 60 dias de armazenamento em atmosfera controlada com 2,0 kPa de O <sub>2</sub> + 5,0 kPa de CO <sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais seis dias de exposição a 20°C em resposta a diferentes níveis de UR. Santa Maria, RS, 2012.....	74
<b>Figura 11.</b> Perda de massa total e diária em diferentes espécies de frutos em função da umidade relativa do ar. Santa Maria, RS, 2012.....	82

**Figura 12.** Taxa respiratória e de produção de etileno em diferentes espécies de frutos em função da umidade relativa do ar durante o armazenamento. Santa Maria, RS, 2012. .... 83

**Figura 13.** Acidez titulável, suculência e firmeza de polpa em diferentes espécies de frutos em função da umidade relativa do ar durante o armazenamento. Santa Maria, RS, 2012..... 84

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Relação dos tratamentos e definição dos contrastes pelo método de Scheffé com os seus respectivos coeficientes, para maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas em atmosfera controlada (AC) a 0,5°C durante oito meses, sob diferentes pressões parciais de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> com dois níveis de perda de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012. .... 33
- Tabela 2:** Qualidade de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012. .... 34
- Tabela 3:** Produção de etileno e taxa respiratória de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012. .... 36
- Tabela 4:** Sólidos solúveis, acidez titulável e frutos sadios de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos de armazenamento. Santa Maria, RS, 2012. .... 38

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 UMIDADE RELATIVA DO AR (UR) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 ARMAZENAMENTO DE FRUTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 PERDA DE MASSA DE FRUTOS EM PÓS-COLHEITA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 TRANSPIRAÇÃO E AS CARACTERÍSTICAS DOS FRUTOS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 PERDA DE MASSA FRESCA E A OCORRÊNCIA DE DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. PERDA DE MASSA E SUA RELAÇÃO COM OCORRÊNCIA DE DISTÚRBIOS FISIOLÓGICOS EM MAÇÃS ‘ROYAL GALA’ DURANTE O ARMAZENAMENTO EM CONDIÇÕES EXTREMAS DE O<sub>2</sub> E CO<sub>2</sub> (MASS LOSS AND ITS RELATION TO OCCURRENCE OF PHYSIOLOGICAL DISORDERS IN ‘ROYAL GALA’ APPLES DURING STORAGE IN EXTREME CONDITIONS OF O<sub>2</sub> AND CO<sub>2</sub>).....</b>	<b>26</b>
<i>3.1.1. Resumo.....</i>	<i>26</i>
<i>3.1.2. Abstract.....</i>	<i>27</i>
<i>3.1.3. Introdução.....</i>	<i>27</i>
<i>3.1.4. Material e métodos.....</i>	<i>29</i>
<i>3.1.5. Resultados e discussão .....</i>	<i>33</i>
<i>3.1.6. Conclusão .....</i>	<i>39</i>
<b>4. CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. PERDA DE MASSA EM MAÇÃS ‘FUJI’ ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA COM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE RELATIVA (MASS LOSS IN ‘FUJI’ APPLES STORED IN CONTROLLED ATMOSPHERE WITH DIFFERENT LEVELS OF RELATIVE HUMIDITY).....</b>	<b>40</b>
<i>4.1.1. Resumo.....</i>	<i>40</i>
<i>4.1.2. Abstract.....</i>	<i>41</i>
<i>4.1.3. Introdução.....</i>	<i>41</i>
<i>4.1.4. Material e métodos.....</i>	<i>42</i>
<i>4.1.5. Resultados e discussão .....</i>	<i>45</i>
<i>4.1.6. Conclusões.....</i>	<i>49</i>
<b>5. CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>50</b>

<b>5.1. INDUÇÃO DE PERDA DE MASSA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE PÊSSEGOS ‘ERAGIL’ EM ARMAZENAMENTO REFRIGERADO (INDUCTION OF MASS LOSS IN POST-HARVEST QUALITY OF ‘ERAGIL’ PEACHES IN COLD STORAGE) .....</b>	<b>50</b>
5.1.1. <i>Resumo</i> .....	50
5.1.2. <i>Abstract</i> .....	51
5.1.3. <i>Introdução</i> .....	51
5.1.4. <i>Material e métodos</i> .....	54
5.1.5. <i>Resultados e discussão</i> .....	56
5.1.6. <i>Conclusões</i> .....	63
<b>6. CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>64</b>
<b>6.1. PERDA DE MASSA NA QUALIDADE DE PÊSSEGOS ‘ERAGIL’ SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE RELATIVA DURANTE O ARMAZENAMENTO (MASS LOSS IN QUALITY OF PEACHES 'ERAGIL' UNDER DIFFERENT LEVELS OF RELATIVE HUMIDITY DURING STORAGE)64</b>	
6.1.1. <i>Resumo</i> .....	64
6.1.2. <i>Abstract</i> .....	65
6.1.3. <i>Introdução</i> .....	65
6.1.4. <i>Material e métodos</i> .....	67
6.1.5. <i>Resultados e discussão</i> .....	69
6.1.6. <i>Conclusão</i> .....	75
<b>7. CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>75</b>
<b>7.1. PERDA DE MASSA E CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS EM DIVERSAS ESPÉCIES DE FRUTOS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE RELATIVA DURANTE ARMAZENAMENTO(MASS LOSS AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS IN SEVERAL SPECIES OF FRUIT FOR DIFFERENT LEVELS OF RELATIVE HUMIDITY DURING STORAGE).....</b>	<b>75</b>
7.1.1. <i>Resumo</i> .....	75
7.1.2. <i>Abstract</i> .....	76
7.1.3. <i>Introdução</i> .....	77
7.1.4. <i>Material e métodos</i> .....	78
7.1.5. <i>Resultados e discussão</i> .....	81
7.1.6. <i>Conclusões</i> .....	85
<b>8. CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil tornou-se, na última década, um grande produtor de maçãs e de outras frutas de clima temperado. No caso da maçã, além de abastecer o mercado interno esta é exportada para o mercado europeu e asiático. Estes frutos por serem climatéricos apresentam um processo de maturação e senescência após a colheita. Para prolongar o período de armazenamento estes processos precisam ser retardados através da refrigeração, atmosfera controlada (AC) e o manejo de etileno na câmara frigorífica.

No entanto, durante o período de armazenamento ou logo após a saída dos frutos das câmaras ocorrem grandes perdas em virtude de distúrbios fisiológicos, amadurecimento excessivo e podridões. Estas perdas estão relacionadas principalmente com as condições de armazenamento, especialmente umidade relativa (UR) da câmara, temperatura e composição da atmosfera. A umidade relativa adequada para frutas e hortaliças varia de 80 e 95% e, quando muito baixa, causa o murchamento e amarelecimento do produto, além da perda de massa, que repercute em perda de valor comercial. Já umidade muito elevada pode ser tão prejudicial quanto a baixa umidade, pois poderá haver aumento da podridão e de distúrbios fisiológicos.

A umidade relativa das câmaras de armazenamento tem correlação direta com a perda de massa dos frutos, pois quanto maior a umidade relativa da câmara, menor será a perda de massa (água) pelos frutos, principalmente pela perda de água por transpiração. Em função disso, a deficiente perda de água por transpiração causa dificuldades na troca de gases do tecido da polpa, havendo dificuldade na entrada do  $O_2$  e saída de  $CO_2$ , etanol, aldeído acético e outros compostos voláteis que causam danos ao tecido. A alta umidade também causa condensação de água sobre os frutos em função de pequenas variações de temperaturas da câmara, favorecendo a germinação de esporos, infecção e, conseqüentemente, a ocorrência de podridões durante o armazenamento e no período de comercialização do produto.

As condições de armazenamento para maçãs já foram amplamente pesquisadas por diversos grupos de pesquisa, no entanto, o efeito da umidade relativa, perda de massa e a sua interação com a temperatura, níveis de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e etileno em câmaras de atmosfera controlada (AC) tem sido pouco estudada. A falta de estrutura e a dificuldade de medição da umidade relativa em câmaras frigoríficas são os motivos da carência de estudos no assunto. A dificuldade de uma medição precisa da umidade em ambientes com temperatura próxima ao ponto de congelamento (0°C) deve-se ao fato que esta varia constantemente em função da temperatura interna da câmara decorrente do acionamento e desligamento intermitente da refrigeração, quando também ocorre condensação de água sobre evaporador, reduzindo a umidade relativa. Também a abertura da câmara para proceder a leitura do psicrômetro permite a entrada de ar úmido e quente provocando erros na medição. Os psicrômetros eletrônicos, utilizados em algumas câmaras comerciais, também não fornecem resultados confiáveis sobre a umidade, pois ocorre condensação de água sobre o sensor seco e, desta forma, levando o psicrômetro a acusar 100% de UR e, automaticamente entrando em estado de alarme.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi realizar o manejo da umidade relativa do ar dentro câmaras frigoríficas para quantificar o nível adequado de perda de massa para obter uma menor ocorrência de distúrbios fisiológicos e uma melhor qualidade pós-armazenamento de maçãs e pêssegos; bem como quantificar a perda de massa de maçãs, pêssegos, uvas, tangor 'Murcott' e goiaba em função da umidade relativa em que ficaram armazenadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Umidade relativa do ar (UR)**

A Umidade Relativa (UR) do ar é uma relação entre a quantidade de vapor de água presente no ar numa temperatura específica e a quantidade máxima de vapor de água que o ar

pode conter a essa temperatura, e é expressa em porcentagem. A UR depende da temperatura do ar, pois quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor de água que o ar pode reter. A umidade relativa de 100% indica que o ar está retendo a quantidade máxima de água, à temperatura atual e, qualquer umidade adicional nesse momento resultará em condensação. Sendo que, a temperatura, na qual o vapor de água contido na atmosfera condensa, denomina-se ponto de orvalho. A umidade relativa de 50% significa que o ar está retendo metade da quantidade de vapor de água que poderia. Quando a temperatura diminui, a quantidade de vapor de água no ar não muda, mas a umidade relativa do ar aumenta.

O ar atmosférico é composto de uma mistura de gases e vapores. De acordo com a Lei de Dalton das pressões parciais, cada constituinte atmosférico exerce pressão sobre a superfície independente da presença dos outros, de tal modo que a pressão total (atmosférica) é igual à soma das pressões de cada gás ou vapor. Como no presente caso o objetivo é estudar a pressão exercida pelo vapor de água, pode-se considerar a pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) como sendo composta pela pressão exercida por todos os constituintes atmosféricos, exceto o vapor de água ( $P_{ar\ seco}$ ) mais a pressão exercida pelo vapor de água ( $e_a$ ), ou seja,  $P_{atm} = P_{ar\ seco} + e_a$  (PEREIRA et al., 2001).

O símbolo  $e_a$  foi convencionado para representar a pressão exercida pela massa atual de vapor de água existente na atmosfera. A pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) varia desde zero, para o ar totalmente seco, até um valor máximo denominado de pressão de saturação de vapor de água ( $e_s$ ). A pressão exercida pelo teor saturante de vapor de água é representada por  $e_s$ , e sua dependência da temperatura pode ser descrita pela equação de Tetens, isto é  $e_s = 0,6108 \cdot 10^{(7,5 \cdot T_{ar}/237,3 + T_{ar})}$  em que  $T_{ar}$  é a temperatura do ar, em °C, e  $e_s$  expressa em kPa. Além disso, o déficit de saturação de vapor do ar ( $\Delta e$ ) é obtido pela diferença entre  $e_s$  e  $e_a$ , ou seja,  $\Delta e = e_s - e_a$ . A pressão atual de vapor  $e_a$  é determinada pela equação psicrométrica, isto é  $e_a = e_{su} - 0,074 \cdot (T_s - T_u)$ , sendo que  $e_{su}$  é a pressão de saturação na temperatura do bulbo úmido,  $T_s$



é a temperatura do bulbo seco e  $T_u$  temperatura do bulbo úmido. Assim, a umidade relativa do ar (UR%) é definida pela razão entre pressão atual de vapor de água ( $e_a$ ) e a pressão de saturação de vapor de água ( $e_s$ ), conforme  $UR(\%) = e_a/e_s \cdot 100$  (PEREIRA et al., 2001).

Para a determinação da umidade relativa do ar utilizam-se equipamentos que têm alguma propriedade associada ao teor de vapor de água. Alguns são extremamente simples, não necessitando mais que um par de termômetros. O principal instrumento é o psicrômetro, sendo constituído de dois termômetros, sendo um com bulbo seco, que mede a temperatura real do ar, e o outro de bulbo envolto em uma gaze sempre umedecida, que perde água a uma taxa dependente da concentração de vapor no ar. Quanto maior a diferença entre essas temperaturas, menor a UR. Quando as temperaturas desses termômetros se aproximam significa que o teor de vapor de água está próximo do valor da saturação, ou seja, que UR é alta (PEREIRA et al., 2001).

## **2.2 Armazenamento de frutos e umidade relativa do ar**

Diversas tecnologias de armazenamento estão disponíveis para conservar frutas. Geralmente, a escolha do método de armazenamento é realizada em função da disponibilidade de recursos financeiros (LUENGO; CALBO, 2001). Dentre as tecnologias disponíveis, as amplamente pesquisadas e com maior capacidade de conservação e utilização comercial são o armazenamento em atmosfera refrigerada (AR) e controlada (AC). Por meio da utilização destas tecnologias busca-se evitar a rápida perda de qualidade dos frutos, sendo a baixa temperatura, baixo nível de etileno, atmosfera controlada e aplicação de 1-metilciclopropeno (1-MCP) técnicas muito eficientes.

Além destas técnicas, a umidade relativa do ar (UR) na câmara frigorífica é outro fator muito importante para a conservação da qualidade de frutos, pois em níveis ideais diminui a desidratação, modifica processos fisiológicos e bioquímicos associados ao amadurecimento,

afeta as interações entre patógenos e os frutos e diminui o dano pelo frio e por batidas. Quanto mais seco o ar da câmara, maior será a perda de água dos frutos devido à diferença entre a pressão de vapor interna e externa (HARDENBURG et. al., 1988). A baixa UR desidrata os tecidos, aumentando a rigidez da polpa, mascarando os resultados da firmeza de polpa, além de diminuir o conteúdo de suco extraível. Por outro lado, a UR elevada pode causar degenerescência da polpa em maçãs armazenadas, ocorrência de podridões e degenerescência do miolo (LUNARDI, 2003). Quando a UR é mantida muito baixa, ocorre engelhamento, que prejudica a aparência externa dos frutos, os quais se tornam murchos e enrugados, além de terem o seu metabolismo respiratório e enzimático acelerado (HARDENBURG et al., 1988).

Segundo Kader (1986), a umidade relativa do ar não deve permanecer muito baixa, pois, além da perda de peso, prejudica a aparência pelo murchamento e causa perdas nutricionais. A UR da câmara nunca deve ser inferior a 85%, por outro lado, um índice superior a 95% favorece o desenvolvimento de microorganismos patogênicos (SCHWARZ, 1994), e a UR próxima da saturação (98 – 100%) causa rachadura na superfície dos frutos e predispõe à ocorrência de degenerescência senescente (LITTLE; BARRAND, 1989). De acordo com Lidster (1990), a incidência de degenerescência da polpa da cultivar McIntosh é maior com a umidade relativa entre 96% e 100%, assim como o surgimento de rachaduras da epiderme (EBERT, 1986). Bortoluzzi (1997) observou, no armazenamento da maçã 'Fuji', maior incidência de degenerescência senescente com 97% de umidade relativa em relação a 92%. Por outro lado, há necessidade de perda de massa em algumas espécies de frutos para melhorar a troca de gases entre o interior da polpa e o ambiente externo. Segundo Brackmann et al. (2007), a maçã cv. Royal Gala necessita perder massa para evitar ou reduzir a ocorrência do aspecto farináceo e a degenerescência da polpa.

### 2.3 Perda de massa de frutos em pós-colheita

O processo de transferência de massa, através da perda de água, influencia profundamente no período pós-colheita de frutos e hortaliças. A perda de água em produtos vegetais altera as concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etileno e substâncias voláteis no suco celular (BURG, 2004). A perda de peso ocorre basicamente devido à utilização de substâncias na respiração e pela perda de água na transpiração. O processo fisiológico de transpiração é o principal responsável pela perda de massa no fruto (BEN-YEHOSHUA, 1987). Assim, a intensidade da transpiração dos frutos em pós-colheita, praticamente determina a totalidade da perda de peso.

A transpiração é a perda de água pelos frutos na forma de vapor, sendo que, a perda de água por transpiração durante o armazenamento é uma função direta da diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto (VAN DER BERG; LENTZ, 1978). Quanto menor for a diferença da pressão de vapor (DPV) menor é a perda de água (SCHEER, 1994).

Em maçãs, as células são constituídas por 85-95% de água, sendo que esse volume pode ser liberado pela transpiração (SCHEER, 1994). A perda de água pela transpiração ocorre pelas aberturas naturais dos frutos, estômatos e lenticelas, que diminuem em número após a colheita e o armazenamento (RUESS; STÖSSER, 1993). Estes mesmos autores, afirmam que as cultivares de maçã com maior potencial de armazenamento são aquelas capazes de fechar estas aberturas mais rapidamente, com deposição de cutina e suberina, deixando apenas algumas abertas.

A perda de massa dos frutos depende fundamentalmente do ambiente de armazenamento, pois a perda de água pela transpiração é inversamente relacionada à umidade relativa do ar (VAN DER BERG; LENTZ, 1978). De acordo com Ulrich (1958), a perda de água é uma função linear da diferença de pressão de vapor (DPV) do ambiente e o fruto, e é proporcional a área do fruto e a velocidade ou movimento do ar que o circunda. Assim,

quanto menor o fruto e maior a velocidade do ar sobre o fruto maior a perda de água por transpiração.

Em maçãs o espaço intercelular tem uma UR próximo à saturação (99,7 a 100%). Assim, se a UR no ambiente de armazenamento de maçãs é 100% e se a temperatura do ar é igual à temperatura do fruto não existe diferença de pressão de vapor e perda de água. Scheer (1994) afirma que o déficit de pressão somente ocorre quando a UR do ar circundante é menor que 100% e a temperatura do produto e do ar são iguais.

De acordo com Kader (1986), a perda de água causa murchamento dos frutos, quando esta atinge 5%. Perda de água entre 0,5 e 5% induz o aumento da atividade da enzima poligalacturonase (PG), estimula a produção de CO<sub>2</sub> e etileno, acelera o amadurecimento, agravando os sintomas de injúria de frio, além de ocasionar perda de peso dos frutos decorrente da transpiração através da evaporação da água dos tecidos por meio de suas estruturas anatômicas, como os estômatos, lenticelas, cutícula, pedúnculo e regiões de inserção do pedúnculo ao fruto (BENDER, 1986). O teor de água presente em frutos oscila normalmente entre 80 e 95%, dependendo da espécie, da cultivar e da umidade relativa do ar durante o resfriamento e armazenamento, sendo de substancial importância na comercialização, quando aparece o dano por murchamento. A perda de massa não deve ser muito alta, porque também há perda de peso dos frutos armazenados, diminuindo a receita final da estocagem. Além disso, a perda excessiva de água por transpiração leva ao amarelecimento do fruto, baixando o valor comercial.

## **2.4 Transpiração e as características dos frutos**

Os principais fatores que determinam a taxa transpiratória são: o gradiente de potencial hídrico entre os tecidos e o ar em torno dos frutos; e as resistências dos tecidos ao fluxo de vapor de água.

As principais resistências ao fluxo de vapor de água (transpiração) são determinadas pelas características fisiológicas, anatômicas e morfológicas dos tecidos dos frutos. O coeficiente de transpiração é uma medida destas resistências e é expresso em quantidade de vapor de água por unidade de peso ou superfície dos frutos, por unidade de tempo e por unidade de déficit de pressão de vapor (VAN DEN BERG, 1987). Assim, o número de estômatos e lenticelas, a estrutura e espessura da cutícula e o tamanho dos frutos são algumas das características relacionadas ao coeficiente de transpiração.

Em maçãs, após a queda das pétalas, os frutos exibem epiderme já coberta por uma fina cutícula, os estômatos já são funcionais e sua frequência por unidade de superfície é máxima. Com o crescimento dos frutos há contínua deposição de ceras com maior proporção de ácidos graxos insaturados, tornando a cutícula mais espessa e menos permeável às trocas de gases e ao vapor de água. O número de estômatos não aumenta durante o crescimento dos frutos e, por isso, sua frequência por unidade de superfície reduz drasticamente. Com a expansão da epiderme podem-se formar finas rachaduras na cutícula. As lenticelas podem formar-se a partir destas rachaduras ou dos estômatos que perdem sua funcionalidade devido à deposição de ceras. Ao contrário do número de estômatos, que é definido geneticamente, a frequência de lenticelas é uma característica varietal e depende das condições climáticas de crescimento dos frutos. Em maçãs plenamente desenvolvidas, a transpiração estomatal e lenticelar pode variar de 8 a 25% do total (BEN-YEHOSHUA, 1987). Ou seja, a transpiração cuticular é predominante.

Embora a resistência à transpiração aumente com o crescimento, frutos colhidos em estádios avançados de maturação e senescência podem apresentar maior perda de peso durante longos períodos de armazenagem, comparado a frutos colhidos em estádios iniciais de maturação (ARGENTA; MONDARDO, 1994). Frutos pequenos apresentam maior relação superfície/volume do que frutos grandes, por isso, podem perder mais água. Essa diferença de

temperatura favorece o movimento de água dos frutos para o ambiente. Devido a essa diferença de temperatura, sempre existe um pequeno gradiente de pressão de vapor entre o fruto e o ar ao seu redor, mesmo que a UR da atmosfera de armazenagem seja 100%. Além disso, o ar precisa ser circulado para manter o recinto de armazenamento na temperatura adequada. A temperatura do produto armazenado pode variar, porque a temperatura do ar sobe à medida que absorve calor do produto. A movimentação do ar não terá efeito sobre a perda de peso do produto, se a UR for mantida elevada. Entretanto, produtos mantidos em recintos com baixa UR, sem circulação de ar, apresentam engelhamento menor do que se houvesse circulação. Esse fato se deve à transpiração dos produtos no ambiente, o que causa um aumento na umidade do ar adjacente ao produto quando não movimentamos o ar. Portanto, o principal mecanismo de controle da transpiração durante o armazenamento é o aumento da pressão de vapor da atmosfera (aumentando a umidade relativa para mais de 90%). Adicionalmente, a taxa respiratória dos frutos, que é determinada pelas características intrínsecas da cultivar e pelas condições de armazenagem, interage com a transpiração na ocorrência de distúrbios fisiológicos.

O processo respiratório é uma ótima referência sobre a velocidade do metabolismo do fruto. A redução da taxa respiratória pode ser obtida pela diminuição da atividade das enzimas envolvidas no processo. De acordo com Mahajan e Goswami (2001), baixa temperatura, baixo  $O_2$  e alto  $CO_2$  reduzem atividades de enzimas envolvidas na respiração, fazendo com que a velocidade de consumo dos substratos de reserva seja menor, o que aumenta a vida pós-colheita dos frutos.

No entanto, mesmo em temperaturas baixas os frutos necessitam de certa quantidade de energia (ATP) para manutenção do metabolismo básico, ou seja, a condição de armazenamento tem que propiciar a formação de ATP pela respiração aeróbica na mesma quantidade da demanda energética do fruto. Caso a demanda energética for maior que o

fornecimento de ATP pela respiração, há grandes chances de ocorrerem problemas na conservabilidade do produto armazenado. Segundo Saquet et al. (2003), a manutenção da integridade celular e a respiração aeróbica são fundamentais no funcionamento celular. De acordo com Siriphanich e Kader (1986), o alto CO<sub>2</sub> pode limitar o suprimento de energia necessário para a sobrevivência dos tecidos.

Em condições de deficiência de oxigênio pode ocorrer o acúmulo de etanol, acetaldeído e lactato (MATHOOKO, 1996; TAIZ; ZEIGER, 2009), os quais podem favorecer o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e a formação de sabor e aroma alcoólico (WATKINS et al., 1997). Kader (1986) afirma que o baixo O<sub>2</sub> diminui a taxa respiratória devido à redução da atividade das enzimas citocromo oxidase, polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase. Já a resposta dos frutos ao alto CO<sub>2</sub> pode incluir a indução da rota glicolítica e da rota fermentativa, além do acúmulo de succinato e/ou alanina e decréscimo no pH e nos níveis de ATP (SAQUET et al., 2003), afetando a ocorrência de distúrbios.

As quantidades de O<sub>2</sub> utilizados e CO<sub>2</sub> produzidos na respiração são determinadas pela concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> no espaço intercelular, o que não depende apenas da concentração do O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> no ar atmosférico fora do fruto, mas também da resistência à troca gasosa e difusão dos gases no tecido do produto armazenado (SOLOMOS, 1985). Dessa forma, a atmosfera interna contida nos espaços intercelulares e cavidades dos órgãos vegetais devem ser consideradas. Nobel (1999) afirma que os espaços intercelulares têm uma conformação irregular e operam como uma camada de ar não agitada e pela qual oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água devem se difundir. A atmosfera interna forma um volume gasoso que pode variar de 0,5 a 1,0% em batata (*Solanum tuberosum*) e 14 a 36% em maçãs (*Malus domestica*), por exemplo (CALBO et al., 1995).

A baixa quantidade de volumes gasosos pode indicar alta suscetibilidade a ocorrências de distúrbios fisiológicos em produtos armazenados em condições de atmosfera controlada. As trocas gasosas desempenham um papel fundamental no armazenamento de frutos e hortaliças, sendo que, o transporte de gás, consumo e a produção é que determina a diferença na composição entre a atmosfera externa e interna do fruto. Mas, durante o processo de amadurecimento do fruto ocorrem diversas mudanças na atmosfera interna. As mudanças nas concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e etileno na atmosfera interna do fruto são um reflexo do amadurecimento. Lyons e Pratt (1964) constataram que em tomates armazenados a  $30^\circ C$ , por exemplo, durante o período de amadurecimento há uma grande alteração nas concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e etileno. No amadurecimento, o etileno aumenta de 10 a 400 vezes. Já, a concentração de  $CO_2$  aumenta 2% para 7%, por outro lado o  $O_2$  diminui de valores em torno de 19% para 14%.

No entanto, em frutos carnosos a relação área superficial/volume é desfavorável, devido ao tamanho do órgão, o que impõe a existência de um sistema de “ventilação” interna. Estes espaços intercelulares são formados durante a divisão celular e podem ser divididos em dois grupos, de acordo com o método de formação. O primeiro grupo denomina-se “lysigenous”, sendo resultado da quebra ou dissolução de células inteiras. Já, o segundo grupo é chamado de “schizogenous”, e surge da divisão de células da lamela média. Mas, a regulação da perda de firmeza da parede celular é regulada pelo equilíbrio entre síntese e secreção de polímeros que formam a parede. Entretanto, em maçãs em processo de amadurecimento a degradação excede a síntese, o que leva a separação das células e formação de espaços intercelulares e perda de firmeza do tecido. Mas, com o avanço do amadurecimento, os espaços gasosos podem ser ocupados com água e dificultar a difusão dos gases acarretando distúrbios fisiológicos.



## 2.5 Perda de massa fresca e a ocorrência de distúrbios fisiológicos

Atualmente, existem diversas definições para distúrbios fisiológicos em frutos. Porém, de acordo com Wills et al. (1981), distúrbio fisiológico é o colapso do tecido que não é causado por patógenos. Além disso, os distúrbios fisiológicos são decorrentes do metabolismo anormal e da modificação estrutural dos tecidos. Durante o armazenamento, os frutos estão sujeitos a desordens fisiológicas as quais são consequência da exposição à baixa temperatura, altos níveis de CO<sub>2</sub> e/ou O<sub>2</sub> excessivamente baixo. Diversas desordens fisiológicas desenvolvem-se em função de condições de armazenamento inadequadas ou são agravadas por estas, pois, além dos fatores pós-colheita, as causas também podem estar relacionadas às condições de crescimento/desenvolvimento do fruto na planta.

Com isso, para prevenir e evitar os diversos distúrbios fisiológicos deve-se compreender de forma sistemática os eventos metabólicos que conduzem ao desenvolvimento das desordens, para em seguida controlar as condições que as induzem. Dentro dessa perspectiva, Saquet et al. (2000 e 2003) afirmam que em condições de armazenamento (baixo O<sub>2</sub>, alto CO<sub>2</sub> e baixa temperatura) que induzem ao escurecimento da polpa de maçãs e pêras, a ocorrência destes distúrbios fisiológicos pode ser decorrente da redução no metabolismo energético e no conteúdo de fosfolipídios, com consequente descompartmentalização das estruturas intracelulares. Além do escurecimento da polpa, é possível que outros distúrbios fisiológicos (polpa farinácea, degenerescência, entre outros) estejam associados com o baixo metabolismo energético. Mas, para prolongar o armazenamento deve-se reduzir o metabolismo dos frutos e isso significa diminuir o metabolismo energético através da redução da temperatura, redução O<sub>2</sub> e aumento de CO<sub>2</sub>.

Assim, para redução do metabolismo energético através da diminuição da temperatura e O<sub>2</sub> e aumento CO<sub>2</sub> deve-se considerar a difusão dos gases. A entrada de O<sub>2</sub> e saída de CO<sub>2</sub>

dos frutos tem alta interferência no balanço energético com isso o fruto tem várias barreiras para a difusão dos gases, sendo a água uma das principais.

A fase aquosa do fruto é uma enorme barreira para os gases, especialmente para  $O_2$ , já que a solubilidade de  $O_2$  em água é considerada muito menor que a solubilidade do  $CO_2$ . Schouten et al. (2004) afirmam que a baixa solubilidade do  $O_2$  em relação ao  $CO_2$  pode criar um gradiente de concentração adicional, podendo resultar em distúrbios fisiológicos em frutos armazenados por longos períodos (PEREIRA et al., 2009). Assim, a indução da perda de massa através da redução da umidade relativa do ar pode retardar ou diminuir a ocorrência de alguns distúrbios fisiológicos (BRACKMANN et al., 2007).

A perda de água por transpiração, através da baixa umidade relativa do ar, pode abrir espaço intercelular, o qual estava ocupado por água. Uma vez liberado o espaço intercelular, a difusão dos gases aumentaria, pois a taxa de difusão de gases em água é menor que no ar. Schotsmans et al. (2004) estudaram as células do córtex de maçãs 'Braeburn' e constataram que o aumento da difusividade é coincidente com o aumento na quantidade de espaço intercelular e conseqüentemente uma mudança na forma das células. Além disso, Rajapakse et al. (1990) verificaram que o extravazamento do conteúdo celular, durante a maturação de frutos, preenche os espaços intercelulares, o que dificulta a difusão de gases. Considerando que o fruto armazenado tem várias etapas de modificação celular, incluindo o extravasamento celular e preenchimento dos espaços intercelular, a utilização de UR mais baixa na câmara de armazenamento poderia aumentar a perda de água pela transpiração, aumentando o espaço intercelular livre. Caso o espaço livre obtido, com a indução da perda de massa, for suficiente para aumentar a taxa de difusão do  $O_2$ ,  $CO_2$ , etanol, entre outros compostos, poderá ocorrer uma redução na ocorrência de distúrbios fisiológicos, como degenerescência senescente. Franck et al. (2007) afirmam que em pêras a degenerescência senescente é provocada pela deficiência de  $O_2$  e acúmulo de  $CO_2$  e de produtos da fermentação.

### 3. CAPÍTULO 1

#### 3.1. Perda de massa e sua relação com ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs ‘Royal Gala’ durante o armazenamento em condições extremas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>

*Mass loss and its relation to occurrence of physiological disorders in ‘Royal Gala’ apples during storage in extreme conditions of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>*

##### 3.1.1. Resumo

O objetivo do trabalho foi controlar a umidade relativa do ar para induzir a perda de massa (PM) de maçãs com o intuito de avaliar a influência da PM no armazenamento em atmosfera controlada com concentrações extremas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, sobre a qualidade pós-colheita, especialmente sobre incidência de distúrbios fisiológicos em maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas por oito meses a 0,5 °C em atmosfera controlada. Os tratamentos avaliados foram: [1] 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 4,0 kPa de CO<sub>2</sub> (alto CO<sub>2</sub>) com 1% de PM linear durante todo período de armazenamento; [2] alto CO<sub>2</sub> com 4% de PM linear; [3] alto CO<sub>2</sub> com 1% de PM durante o período inicial de armazenamento (inicial); [4] alto CO<sub>2</sub> com 4% de PM inicial; [5] (controle) 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 2,5 kPa de CO<sub>2</sub> com 1% de PM linear; [6] 0,7 kPa de O<sub>2</sub> + 2,5 kPa de CO<sub>2</sub> (baixo O<sub>2</sub>) com 1% de PM linear; [7] baixo O<sub>2</sub> com 4% de PM linear; [8] baixo O<sub>2</sub> com 1% de PM inicial; [9] baixo O<sub>2</sub> com 4% de PM inicial. Segundo os resultados, na presença de alto CO<sub>2</sub> (4 kPa) há necessidade de perda de massa de 4% (inicial ou linear) para evitar a ocorrência de degenerescência de polpa, manter a firmeza de polpa e não prejudicar a suculência e as características sensoriais dos frutos. Numa condição de baixo O<sub>2</sub> (0,7 kPa de O<sub>2</sub> e 2,5 kPa de CO<sub>2</sub>), a PM de 1% é suficiente, desde que ocorra nos primeiros dois meses de armazenamento, para reduzir a degenerescência e manter alta firmeza da polpa.

Palavras-chave: *Malus domestica*, umidade relativa, atmosfera controlada.

### 3.1.2. Abstract

The objective of this work was to control the relative humidity to induce mass loss (ML) in order to evaluate the influence of ML in controlled atmosphere (CA) storage with extreme concentrations of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on the postharvest quality, especially on the incidence of physiological disorders in 'Royal Gala' apples stored for eight months at 0.5 °C. The evaluated treatments were: [1] 1.2 kPa of O<sub>2</sub> + 4.0 kPa of CO<sub>2</sub> (high CO<sub>2</sub>) with ML of 1% throughout the storage period (linear); [2] high CO<sub>2</sub> with 4% of linear ML; [3] high CO<sub>2</sub> with ML of 1% in the initial period of storage (initial); [4] high CO<sub>2</sub> with 4% of initial ML; [5] (control) 1.2 kPa of O<sub>2</sub> + 2.5 kPa of CO<sub>2</sub> with 1% of linear ML; [6] 0.7 kPa of O<sub>2</sub> + 2.5 kPa of CO<sub>2</sub> (low O<sub>2</sub>) with 1% of linear ML; [7] low O<sub>2</sub> with 4% of linear ML; [8] low O<sub>2</sub> with 1% of initial ML; [9] low O<sub>2</sub> with 4% of initial ML. According to the results, the presence of high CO<sub>2</sub> (4 kPa) requires a mass loss of 4% (initial or linear) to prevent the occurrence of breakdown, maintain the pulp firmness and not to damage the juiciness and sensorial characteristics of the fruits. One percent mass loss is also efficient when it occurs during the first two months of storage period in low oxygen (0.7 kPa O<sub>2</sub>).

Key words: *Malus domestica*, relative humidity, controlled atmosphere.

### 3.1.3. Introdução

A maçã é uma das principais frutíferas de clima temperado cultivadas no Brasil, tendo sua produção concentrada nos estados da Região Sul, onde são produzidas aproximadamente 1,1 milhões de toneladas anuais de frutos (IBGE, 2009). Destacam-se dentre as cultivares a 'Gala' e suas mutantes, que correspondem a cerca de 60% do volume total produzido no estado do Rio Grande do Sul (AGRIANUAL, 2009).

Em decorrência da grande produção se concentrar em um curto período de tempo, o armazenamento de parte da produção regula a oferta do produto no período de entressafra. Uma das tecnologias mais utilizadas para o armazenamento de maçãs é a atmosfera

controlada (AC), que consiste na redução das concentrações de  $O_2$  e aumento das de  $CO_2$ , associado à redução da temperatura e controle da umidade reativa do ar no interior da câmara frigorífica. Porém, nem sempre é conseguida a manutenção da qualidade desejada pelo mercado consumidor somente com o uso da AC, principalmente quando o período de armazenamento é longo. Uma série de técnicas tem sido desenvolvida com o objetivo de diminuir a incidência de distúrbios fisiológicos e podridões durante o período de armazenamento, prolongando assim o período de oferta de frutos durante o ano.

Uma das técnicas mais recente e utilizada para o armazenamento durante longos períodos é a exposição dos frutos a concentrações ultra baixas de  $O_2$  (ULO), que permite uma menor perda de ácidos e açúcares no processo de respiração, porém podem ocorrer perdas pela incidência de distúrbios fisiológicos (GRAN; BEAUDRY, 1993; YEARSLEY et al., 1996). Essa redução nas concentrações de  $O_2$  pode ainda acarretar uma insuficiente difusão do gás para o interior do fruto, promovendo a fermentação, como mecanismo alternativo de produção de energia para as células na forma de ATP (TAIZ; ZEIGER, 2009). A fermentação resulta na produção de aldeído acético e etanol, que em pequenas concentrações podem diminuir a produção de etileno e a respiração (ASODA et al., 2009), além de diminuir a incidência de podridões e distúrbios fisiológicos em frutas e hortaliças (PESIS, 2005). Mas, altas concentrações de produtos da fermentação podem causar “off-flavours” e escurecimento da epiderme em maçã (VIDRIH et al., 1999).

Outra técnica utilizada para manter a qualidade de maçãs ‘Gala’ e mutantes durante o armazenamento é a elevação dos níveis de  $CO_2$ , em torno de 4,0 kPa. Seu efeito se dá pela supressão de agentes patogênicos no interior da câmara frigorífica (SITTON; PATTERSON 1992). Porém, a elevação na concentração desse gás pode ocasionar uma alta incidência de distúrbios fisiológicos, destacando-se o dano por  $CO_2$  (degenerescência de polpa). Segundo Kupferman (1997), esse dano está frequentemente, relacionado ao excesso de  $CO_2$  no

ambiente de armazenagem, pois, quanto maior a concentração, mais difícil a sua difusão para o exterior do fruto, aumentando as chances de ocorrência do dano.

Para diminuir ou até mesmo evitar danos causados por pressões parciais extremas de  $O_2$  e  $CO_2$  estão sendo desenvolvidas práticas que podem otimizar a difusão de gases nos frutos. Dentre estas, se destaca o armazenamento em condições de baixa umidade relativa (UR), através da indução da perda de massa (PM) com uso de UR mais baixas na câmara. Isto permite que os frutos transpirem mais, perdendo parte da água presente nos espaços intercelulares, facilitando a difusão do  $O_2$  para o interior e do  $CO_2$  para o exterior do fruto, permitindo o uso de pressões parciais destes gases muito próximas ao limite tolerado pelos frutos. Segundo Brackmann et al. (2007), a indução da PM, através da redução da UR no interior da câmara frigorífica, apresenta um efeito positivo no controle do amadurecimento de maçãs 'Gala', além de reduzir a incidência de podridões e de distúrbios fisiológicos. Porém, a umidade relativa muito baixa pode provocar murchamento e perdas nutricionais, além de ocasionar maior perda de massa (KADER, 1986). Já uma umidade muito alta leva a uma maior ocorrência de degenerescência senescente (LITTLE; BARRAND, 1989) e ocasiona o rompimento da epiderme (rachaduras) (SCHWARTS, 1994).

Este trabalho objetivou manejar a umidade relativa do ar para induzir a perda de massa (PM) com o intuito de avaliar a influência da PM em ambientes com baixas e altas concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$ , respectivamente, sobre a incidência de distúrbios fisiológicos e as qualidades físico-químicas de maçãs 'Royal Gala' durante oito meses de armazenamento em atmosfera controlada, na temperatura de  $0,5^\circ C$ .

#### 3.1.4. Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita (NPP) do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Foram utilizadas maçãs 'Royal Gala', provenientes de um pomar comercial localizado no município

de Vacaria-RS. Logo após a colheita, os frutos foram transportados para o NPP onde foram submetidos a um processo de seleção, excluindo-se frutos que apresentavam algum tipo de defeito ou lesão. Posteriormente, foi efetuada a homogeneização das amostras experimentais e armazenados conforme os tratamentos previstos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições de 25 frutos cada. Os tratamentos avaliados foram: [1] 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 4,0 kPa de CO<sub>2</sub> (alto CO<sub>2</sub>) com 1% de PM linear durante todo período de armazenamento; [2] alto CO<sub>2</sub> com 4% de PM linear; [3] alto CO<sub>2</sub> com 1% de PM durante o período inicial de armazenamento (inicial); [4] alto CO<sub>2</sub> com 4% de PM inicial; [5] (controle) 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 2,5 kPa de CO<sub>2</sub> com 1% de PM linear; [6] 0,7 kPa de O<sub>2</sub> + 2,5 kPa de CO<sub>2</sub> (baixo O<sub>2</sub>) com 1% de PM linear; [7] baixo O<sub>2</sub> com 4% de PM linear; [8] baixo O<sub>2</sub> com 1% de PM inicial; [9] baixo O<sub>2</sub> com 4% de PM inicial. Os frutos de todos os tratamentos foram armazenados na temperatura de 0,5°C ( $\pm 0,1$ ), durante oito meses. As amostras experimentais foram armazenadas em minicâmaras experimentais herméticas, com volume de 0,232 m<sup>3</sup>. As minicâmaras foram acondicionadas no interior de uma câmara frigorífica de 48 m<sup>3</sup>. O controle da temperatura foi efetuado por meio de termostatos eletrônicos e determinada diariamente por meio de termômetros de bulbo de mercúrio com precisão de 0,1°C, inseridos na polpa de frutos.

As condições de AC foram mantidas constantes durante todo período. Para isso, foi realizada uma análise diária das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> em excesso, produzido pelo processo respiratório, foi absorvido através da circulação do ar da minicâmara por uma solução de hidróxido de potássio 40%. Já o O<sub>2</sub> consumido foi repostado através da injeção de ar atmosférico. Os diferentes níveis de PM foram obtidos através da circulação, com o auxílio de uma bomba, do ar da minicâmara por um recipiente contendo sílica gel, que absorvia a umidade contida no ar da câmara. Esse recipiente era pesado antes e após a absorção da

umidade, e por diferença obtinha-se a quantidade de massa perdida. Esse procedimento foi realizado até os frutos perderem a quantidade de massa pré-estabelecida. Os frutos dos tratamentos com PM inicial perderam as quantidades de massa pré-estabelecidas nos dois meses iniciais de armazenamento, já os frutos com PM linear perderam as quantidades pré-estabelecidas durante todo período de armazenamento, ou seja, durante oito meses.

As análises de maturação e qualidade das maçãs foram realizadas no momento da instalação do experimento, para caracterizar o estágio de maturação no qual se encontravam os frutos na ocasião da colheita, e aos oito meses de armazenamento mais sete dias de simulação do período de comercialização a 20°C. Foram analisados os seguintes atributos: acidez titulável: determinada pela titulação com NaOH 0,1N de uma solução contendo 10mL de suco diluídos em 100mL de água destilada até atingir pH 8,1, sendo os valores expressos em meq100mL<sup>-1</sup>; firmeza de polpa: determinada com um penetrômetro com ponteira de 11mm, em dois lados opostos da região equatorial dos frutos onde previamente havia sido retirada a epiderme, sendo os valores expressos em Newton (N); atividade da ACC oxidase: determinada através da retirada de amostras da epiderme dos frutos na região equatorial, totalizando 3 g, estas foram imediatamente incubadas numa solução contendo 0,1 mM de ACC e 10 mM de solução MES (ácido 2(N-morfolino) etanossulfônico) ajustada em pH 6,0. Após transcorridos 30 minutos, as amostras foram acondicionadas em seringas herméticas de 50 mL, nas quais adicionou-se 1 mL de CO<sub>2</sub> e, após 30 minutos, foi determinada a concentração de etileno nas seringas, sendo os dados expressos em nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; sólidos solúveis (SS): determinada com refratômetro manual com correção da temperatura, sendo os dados expressos em °Brix; suculência: foram utilizados aproximadamente 20 gramas da polpa, acondicionados entre duas fatias de esponjas de 3 cm e prensadas a 1500 kg durante um minuto. Após um minuto de prensagem, pesou-se novamente a polpa que ficou e, por diferença com a amostra inicial, obteve-se a suculência, expressa em porcentagem de suco



livre; degenerescência senescente: determinada pela contagem dos frutos que apresentavam escurecimento da polpa, sendo os dados expressos em porcentagem; taxa de produção de etileno: foi determinada através do acondicionamento de aproximadamente 1500 g de frutos no interior de um recipiente com volume de 5000 mL hermeticamente fechado durante aproximadamente uma hora. Transcorrido esse período foram retiradas duas alíquotas de 1 mL, provenientes de cada recipiente e injetadas num cromatógrafo a gás, marca Varian, equipado com um detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. Calculou-se a síntese de etileno por meio da concentração de etileno, da massa do fruto, do volume do espaço livre no recipiente e do tempo de fechamento, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; taxa respiratória: foi determinada pela circulação do ar, contido no mesmo recipiente utilizado para determinação da produção de etileno, através de um analisador de gases da marca Agri-datalog<sup>®</sup>. A partir da concentração de  $\text{CO}_2$  determinada pelo analisador, do espaço livre do recipiente, do peso dos frutos e do tempo de fechamento, calculou-se a respiração em  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

Os dados foram submetidos à análise de variância, em nível de 5% de probabilidade de erro, e aqueles expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula  $\text{arc sen} [(x+0,5)/100]^{1/2}$ , antes do teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, e com o objetivo de testar a diferença de determinados grupos de tratamentos entre si, discriminados na Tabela 1, foi utilizado, como complementar, o teste de contrastes de Scheffé. Para todos os cálculos foi utilizado o software estatístico SISVAR/UFLA.

**Tabela 1:** Relação dos tratamentos e definição dos contrastes pelo método de Scheffé com os seus respectivos coeficientes, para maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas em atmosfera controlada (AC) a 0,5°C durante oito meses sob diferentes pressões parciais de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> com dois níveis de perda de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012.

Condições de AC (kPa O <sub>2</sub> + kPa CO <sub>2</sub> )	Perda de Massa (%)	Contrastes e Coeficientes		
		X1=comparaçã o de alto CO <sub>2</sub> com baixo O <sub>2</sub>	X2=comparaçã o de perda de massa linear com inicial	X3=comparaçã o de 1% com 4% perda de massa
1,2 + 4,0 (Alto CO <sub>2</sub> )	1% linear	1	1	1
	4% linear	1	1	-1
	1% inicial	1	-1	1
	4% inicial	1	-1	-1
1,2 + 2,5 (Controle)	1% linear	0	0	0
	1% linear	-1	1	1
0,7 + 2,5 (Baixo O <sub>2</sub> )	4% linear	-1	1	-1
	1% inicial	-1	-1	1
	4% inicial	-1	-1	-1

### 3.1.5. Resultados e discussão

Os frutos apresentavam no momento da colheita, índice de iodo-amido 7,69; firmeza de polpa de 97,05 N; acidez de 5,06 meq/100 mL<sup>-1</sup>; teor de sólidos solúveis de 12,33 °Brix; taxa de produção de etileno de 0,64 µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; respiração de 15,17 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; atividade da enzima ACC oxidase de 28,65 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e 72,38% de suco livre.

A incidência de degenerescência de polpa (Tabela 2) foi baixa em praticamente todas as condições testadas, não apresentando diferença da condição controle (AC 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 2,5 kPa de CO<sub>2</sub> + 1% PM linear), com exceção de 1% de PM linear, tanto os frutos submetidos ao baixo O<sub>2</sub> quanto ao alto CO<sub>2</sub>, e 4% de PM inicial associada ao alto CO<sub>2</sub>. As estimativas de contraste (Tabela 2) mostram um efeito significativo nos contrastes X2 e X3, que apontam que a degenerescência de polpa foi menor quando os frutos foram submetidos a 4% de PM inicial, tanto na condição de alto CO<sub>2</sub> quanto baixo O<sub>2</sub>. Segundo Ceretta (2003), a degenerescência tem como principal causa a dificuldade de difusão dos gases no interior do

fruto, o que foi confirmado no presente trabalho nos frutos submetidos a 1% de PM, tanto com baixo O<sub>2</sub> ou alto CO<sub>2</sub>. Durante o armazenamento, 1% de PM linear ocorre naturalmente nos frutos, portanto, a indução da perda de massa evita a ocorrência desse distúrbio quando se utiliza alta concentração de CO<sub>2</sub> ou baixo O<sub>2</sub>. Brackmann et al. (2002b) afirmam que a degenerescência de polpa esta geralmente associado ao alto CO<sub>2</sub> no interior da câmara, além do ponto de maturação, local e ano de produção. Em condição de baixo O<sub>2</sub> (0,7 kPa) a PM de 1% inicial também reduz significativamente a degenerescência, no entanto, se a perda de 1% ocorrer ao de todo período de armazenamento não tem efeito no controle da degenerescência (Tabela 2).

**Tabela 2:** Qualidade de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012.

Condições de AC (kPa O <sub>2</sub> + kPa CO <sub>2</sub> )	Perda de Massa (%)	Degenerescência de polpa (%)	Firmeza de Polpa (N)	Suculência (%)	ACC Oxidase ( $\mu\text{LC}_2\text{H}_4$ $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )
1,2 + 4,0 (alto CO <sub>2</sub> )	1% linear	12,17a	75,22d	72,0b	8,02c
	4% linear	7,11b	78,96c	72,9b	5,63c
	1% inicial	5,27b	81,30b	74,4b	11,3b
	4% inicial	1,25c	80,74b	78,4a	6,42c
1,2 + 2,5 (controle)	1% linear	7,01b	80,68b	79,2a	15,9a
	4% linear	17,32a	77,61c	79,9a	7,05c
0,7 + 2,5 (baixo O <sub>2</sub> )	4% linear	7,72b	79,67b	80,7a	4,02d
	1% inicial	6,62b	84,14a	79,1a	2,41d
	4% inicial	6,68b	82,82a	78,8a	2,10d
	CV(%)		27,94	2,34	2,91
Contrastes <sup>1</sup>	x1	ns	ns	-5,18*	4,0*
	x2	0,13*	-0,45*	ns	ns
	x3	0,10*	ns	ns	3,0*

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

<sup>(1)</sup>: Contrastes conforme a Tabela 1.

<sup>(ns)</sup>: não significativo.

<sup>(\*)</sup>: significativo pelo teste de Scheffé em nível de 5% de probabilidade de erro.

A firmeza de polpa (Tabela 2) foi mantida mais elevada nos frutos submetidos ao baixo  $O_2$  tanto com 1% quanto com 4% de PM inicial, diferindo estatisticamente dos frutos do tratamento controle. Não houve efeito significativo nos contrastes X1 e X3 (Tabela 2), porém, o contraste X2 apresentou efeito significativo, indicando que uso de PM inicial é mais eficiente na manutenção da firmeza de polpa, em relação a PM linear. De acordo com Brackmann et al. (2002a), a manutenção da firmeza de polpa de maçãs armazenadas em AC é consequência da menor atividade das enzimas hidrolíticas da parede celular, resultante do uso de baixas pressões de  $O_2$ . Podemos perceber também que nos frutos em que a degenerescência de polpa foi maior (tratamentos com 1% de PM, tanto com baixo  $O_2$  ou alto  $CO_2$ ), a firmeza de polpa foi menor, o que evidencia que 1% de PM linear não foi suficiente para evitar a degenerescência e a perda da firmeza de polpa, o que está de acordo com Brackmann et al. (2007), que observaram uma maior firmeza de polpa, no tratamento com indução de perda de massa de 1,6 a 3,2% em maçãs 'Gala'.

Os frutos submetidos ao tratamento com alto  $CO_2$  e 1% de PM inicial e aqueles com 1% e 4% de PM linear apresentaram-se menos suculentos em relação aos frutos dos demais tratamentos (Tabela 2). A menor suculência destes frutos pode ter relação com o estágio de amadurecimento que os frutos se encontravam no final do armazenamento, que causa degradação da lamela média e parede celular, pois, segundo Harker e Hallett (1992), a suculência de maçãs tem relação com o grau de maturação dos frutos, ou seja, quanto mais maduro for o fruto, menos suculento será. Observando o contraste X1 (Tabela 2), percebemos que o uso de baixo  $O_2$  mantém elevada a suculência, em relação ao uso de altas concentrações de  $CO_2$ . Os demais contrastes (X2 e X3) não apresentaram diferença significativa sobre a suculência.

A atividade da enzima ACC oxidase se manteve elevada, nos frutos submetidos ao tratamento controle (Tabela 2), sendo que todas as outras condições testadas foram eficientes

na redução da atividade da enzima ACC oxidase. Observando os contrastes (Tabela 2), o baixo O<sub>2</sub> (contraste X1) aliado a 4% de PM (contraste X3) manteve a atividades dessa enzima baixa, não havendo diferença no contraste X2. A menor atividade dessa enzima nos frutos armazenados em baixo O<sub>2</sub> reflete em menor taxa de produção de etileno na saída da câmara (Tabela 3), pois a conversão de ACC (Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) em etileno requer, além da enzima formadora (ACC oxidase), a presença de O<sub>2</sub> (YANG; HOFMANN, 1984).

**Tabela 3:** Produção de etileno e taxa respiratória de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos do armazenamento. Santa Maria, RS, 2012.

Condições de AC (kPa O <sub>2</sub> + kPa CO <sub>2</sub> )	Perda de Massa (%)	Produção de Etileno ( $\mu\text{lC}_2\text{H}_4\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )		Taxa Respiratória (ml CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	
		dias a 20°C		dias a 20°C	
		0	6	0 <sup>ns</sup>	6
1,2 + 4,0 (alto CO <sub>2</sub> )	1% linear	0,111a	0,114a	5,06	3,94a
	4% linear	0,038b	0,128a	5,11	3,43b
	1% inicial	0,044b	0,094a	5,15	3,32b
	4% inicial	0,033b	0,091a	4,82	2,95b
1,2 + 2,5 (controle)	1% linear	0,140a	0,064b	4,99	3,55b
	1% linear	0,065b	0,098a	5,35	4,53a
0,7 + 2,5 (baixo O <sub>2</sub> )	4% linear	0,037b	0,126a	4,97	3,83a
	1% inicial	0,035b	0,058b	4,92	3,56b
	4% inicial	0,032b	0,048b	4,65	3,27b
	CV(%)	67,51	30,76	8,16	13,62
Contrastes <sup>1</sup>	x1	ns	ns	ns	ns
	x2	ns	0,044*	ns	0,65*
	x3	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

<sup>(1)</sup>: Contrastes conforme a Tabela 1.

<sup>(ns)</sup>: não significativo.

<sup>(\*)</sup>: significativo pelo teste de Scheffé em nível de 5% de probabilidade de erro.

No momento de saída da câmara, a estimativa de contrastes não foi significativa para produção de etileno (Tabela 3). Entretanto, a produção de etileno se manteve elevada nos

frutos do tratamento controle e alto CO<sub>2</sub> com 1% de PM linear (Tabela 3). Já aos seis dias de exposição a 20 °C ocorreu efeito significativo no contraste X2 (Tabela 3), indicando que os frutos armazenados com uso de PM inicial produziram menos etileno que aqueles com PM linear. Essa menor produção de etileno pelos frutos dos tratamentos com perda de massa proporcionou melhor manutenção da firmeza de polpa (Tabela 2). Segundo Sisler e Serek (1997), a redução da firmeza de polpa é desencadeada pelo etileno, ou seja, elevada produção de etileno culmina na redução da firmeza de polpa. Observou-se também menor produção de etileno nos tratamentos submetidos ao baixo O<sub>2</sub> com 1 e 4% de PM inicial (Tabela 3), porém sem efeito significativo do contraste X1 (Tabela 3), possivelmente essa menor produção de etileno seja resultante da baixa atividade da enzima ACC oxidase nesses tratamentos (Tabela 2), pois, o O<sub>2</sub> é necessário para conversão de ACC em etileno pela enzima ACC oxidase.

Quanto à respiração, não se observou efeito significativo da estimativa de contrastes no momento de saída da câmara (Tabela 3). Também aos seis dias de exposição a 20°C o efeito dos contrastes X1 e X2 não foi significativo, porém ocorreu efeito significativo no contraste X2 (Tabela 3), mostrando que a PM inicial foi mais eficiente na redução da taxa de respiratória em relação a PM linear. Essa baixa taxa respiratória está relacionada com a menor produção de etileno dos frutos submetidos a PM inicial (contraste X2, tabela 3). Segundo Kader (1986), o baixo O<sub>2</sub> diminui a atividade respiratória através da diminuição da ação de várias enzimas oxidases, como a citocromo *c* oxidase, polifenoloxidase e a ácido ascórbico oxidase.

Os maiores teores de SS foram observados nos frutos submetidos ao tratamento com baixo O<sub>2</sub> e 4% de PM no período inicial de armazenamento, diferindo estatisticamente do tratamento controle (Tabela 4). O contraste X3 apresentou efeito significativo, indicando que 4% de PM é mais eficiente na manutenção do teor de sólidos solúveis do que 1% de PM (Tabela 4). Esse maior teor de SS pode estar relacionado com a maior perda de massa, através

da transpiração, que provavelmente concentrou os açúcares no interior das células. Porém, também pode estar relacionado às baixas pressões parciais de O<sub>2</sub>, que reduziram o metabolismo dos frutos e conseqüentemente a degradação de açúcares, pois, segundo Weber (2010), a concentração de ácidos e açúcares reflete em parte a magnitude do metabolismo respiratório dos frutos. Brackmann et al. (2007) também verificaram que frutos com indução da perda de massa apresentaram os maiores teores de SS, trabalhando com maçãs ‘Gala’.

**Tabela 4:** Sólidos solúveis, acidez titulável e frutos sadios de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em atmosfera controlada com dois níveis de perdas de massa em diferentes momentos de armazenamento. Santa Maria, RS, 2012.

Condições de AC (kPa O <sub>2</sub> + kPa CO <sub>2</sub> )	Perda de Massa (%)	Sólidos Solúveis (°Brix)	Acidez Titulável (meq.100ml <sup>-1</sup> )
1,2 + 4,0 (alto CO <sub>2</sub> )	1% linear	13,45c	4,00b
	4% linear	13,95b	4,18b
	1% inicial	13,40c	4,23b
	4% inicial	13,95b	4,60a
1,2 + 2,5 (controle)	1% linear	13,55c	4,25b
	1% linear	13,40c	4,10b
0,7 + 2,5 (baixo O <sub>2</sub> )	4% linear	13,75b	4,37a
	1% inicial	13,75b	4,30b
	4% inicial	14,20a	4,40a
	CV(%)		1,27
Contrastes <sup>1</sup>	x1	ns	ns
	x2	ns	-0,22*
	x3	-0,46*	-0,23*

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

<sup>(1)</sup>: Contrastes conforme a Tabela 1.

<sup>(ns)</sup>: não significativo.

<sup>(\*)</sup>: significativo pelo teste de Scheffé em nível de 5% de probabilidade de erro.

Com relação ao uso de alto CO<sub>2</sub> e baixo O<sub>2</sub> na manutenção da acidez titulável, as estimativas de contraste não foram significativas (contraste X1), contudo, o efeito dos contrastes X2 e X3 foi significativo (Tabela 4). Isso indica que a acidez titulável foi maior nos frutos submetidos aos tratamentos com 4% de PM inicial (Tabela 4). Este resultado

provavelmente está relacionado à saída de água da célula pela transpiração. Resultados similares foram encontrados por Brackmann et al. (2002a), que observaram maior acidez nos frutos submetidos à baixa umidade relativa durante o primeiro mês de armazenamento. Steffens et al. (2007) verificaram que os maiores teores de acidez titulável estão relacionados com o menor consumo de ácidos orgânicos durante o armazenamento, pois pressões parciais elevadas de CO<sub>2</sub> reduzem a atividade respiratória dos frutos, o que também foi observado no presente trabalho.

A condição com 4% de PM inicial proporcionou a menor porcentagem de frutos sadios, sendo significativamente menores que o tratamento controle (dados não apresentados). Essa menor porcentagem de frutos sadios pode estar relacionada com algum tipo de estresse provocado pela grande perda de massa em curto período de tempo. Brackmann et al. (2009) também verificaram maior incidência de frutos sadios com baixa umidade relativa no início do armazenamento. Já após sete dias de exposição a 20°C o efeito dos tratamentos sobre a porcentagem de frutos sadios não foi significativa, mas verifica-se que com pouca PM (1%) houve os menores percentuais de frutos sadios.

#### 3.1.6. Conclusão

Em maçãs 'Royal Gala' a presença de alto CO<sub>2</sub> (4 kPa) no ambiente de armazenamento há necessidade de perda de massa de 4% (inicial ou linear) para evitar a ocorrência de degenerescência de polpa, manter a firmeza de polpa e não prejudicar a suculência e as características sensoriais dos frutos. Numa condição de baixo O<sub>2</sub> (0,7 kPa de O<sub>2</sub> e 2,5 kPa de CO<sub>2</sub>), a PM de 1% é suficiente, desde que ocorra nos primeiros dois meses de armazenamento, para reduzir a degenerescência e manter alta firmeza da polpa.



## 4. CAPÍTULO 2

### 4.1. Perda de massa em maçãs 'Fuji' armazenadas em atmosfera controlada com diferentes níveis de umidade relativa

*Mass Loss in 'Fuji' apples stored in controlled atmosphere with different levels of relative humidity*

#### 4.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da variação da umidade relativa (UR) sobre a perda de massa, na redução de incidência de distúrbios fisiológicos e a manutenção da qualidade físico-químicas de maçãs 'Fuji' submetidas ao armazenamento em atmosfera controlada. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições de 20 frutos. Foram avaliados quatro níveis de umidade relativa controlada: [T1] 85%, [T2] 90%, [T3] 95% e [T4] 100%. Os frutos foram armazenados durante 9,5 meses em atmosfera controlada com 1,2kPa de O<sub>2</sub> e <0,5kPa de CO<sub>2</sub>, na temperatura de 0,5°C. A umidade relativa excessivamente baixa (85%) durante o armazenamento causou perda de qualidade visual, pelo murchamento dos frutos, e perda de massa de até 16%. A incidência de rachadura de polpa, após o armazenamento, e de degenerescência, após o armazenamento mais sete dias a 20°C, foi observada somente com umidade relativa maior que 95%. A suculência, após armazenamento mais sete dias a 20°C, possui relação direta com a umidade relativa. Os sólidos solúveis e a acidez titulável, também aos sete dias a 20°C, apresentaram relação inversa, aumentando com a redução da umidade relativa. A atividade da enzima ACC oxidase e a produção de etileno foram fortemente reduzidas com o armazenamento em umidade relativas menores ou iguais a 95%. Conclui-se que o armazenamento em alta umidade relativa, maior que 95% causa distúrbios fisiológicos, como a degenerescência, enquanto a baixa umidade, menor que 90%, causa excessivo murchamento e perda de massa.

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

#### 4.1.2. Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of varying the relative humidity (RH) on mass loss, to maintain quality and reduce the incidence of physiological disorders in 'Fuji' apples submitted to controlled atmosphere storage. The experiment was conducted in a completely randomized design with five replicates of 20 fruits. Four levels of controlled relative humidity were analysed: [T1] 85% [T2] 90% [T3] 95% [T4] 100%. The fruits were stored for 9.5 months in controlled atmosphere at 1.2 kPa O<sub>2</sub> and <0.5 kPa CO<sub>2</sub>, at 0.5°C. The low relative humidity (85%) during storage resulted in loss of visual quality, caused by the wilting of fruit, and mass loss of up to 16%. The incidence of pulp crack, after storage, and the breakdown after storage seven more days at 20°C, was observed to happen only with relative humidity greater than 95%. Juiciness, after storage seven more days at 20 °C, has a direct relationship with relative humidity, the total soluble solids and titratable acidity, also for seven days at 20 °C, have an inverse relationship, increasing with the decrease of relative humidity. The activity of the enzyme ACC oxidase and the ethylene production were strongly reduced with the relative humidity lower or equal to 95%. As a conclusion, the high relative humidity storage, greater than 95%, causes physiological disorders, such as breakdown, as to the low humidity, less than 90%, causes excessive shrinkage and mass loss.

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

#### 4.1.3. Introdução

A maçã 'Fuji' é a segunda cultivar mais produzida no Brasil e também no Rio Grande do Sul, estado responsável por cerca de 27% do total produzido (AGAPOMI, 2011). Esta cultivar é bem aceita pelo mercado consumidor devido a suas características de crocância e suculência, e também pelos produtores pelo seu alto potencial de armazenamento.

O uso do armazenamento refrigerado associado a outras técnicas de conservação, como a atmosfera controlada e controle da umidade relativa, são alternativas que possibilitam a manutenção da qualidade das maçãs por um período superior a oito meses (ARGENTA; DENARDI, 1994). A baixa temperatura é a principal forma de manutenção da qualidade dos frutos, já que reduz seu metabolismo. Associado à diminuição da temperatura, o controle da atmosfera no interior da câmara reduz ainda mais a atividade das enzimas responsáveis pela senescência dos frutos, além de reduzir a incidência de podridões (KADER, 1986).

A umidade relativa no ambiente de armazenamento está fortemente relacionada com eventos que alteram a qualidade dos frutos. O armazenamento com umidade relativa muito baixa (menor que 92%) causa perda excessiva de massa e perda de qualidade visual, pelo enrugamento e degradação de clorofila (BRACKMANN et al., 2005a; BRACKMANN et al., 2005b), além de aumento na produção de etileno e respiração (YANG; PRATT, 1978).

No entanto, o estudo de condições de umidade relativa durante o armazenamento de frutos não é uma tarefa fácil, em função da dificuldade do controle do nível ideal e da sua medição. O armazenamento de frutos em condições de temperatura muito próximas a 0°C e umidade próxima à saturação, incorre em erros pelos equipamentos de análise utilizados, fazendo com que muitas informações existentes na literatura, atualmente, sejam superficiais ou recomendam uma variação muito grande de umidade relativa.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da variação da umidade relativa (UR) sobre a perda de massa, para manutenção da qualidade e sobre a na redução da incidência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Fuji' submetidas ao armazenamento em atmosfera controlada.

#### 4.1.4. Material e métodos

A realização do experimento foi no ano de 2010 com maçãs 'Fuji' provenientes de um pomar comercial localizado em Vacaria, RS. Após a colheita, os frutos foram pré-

selecionados e então transportados até o Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, onde foram novamente selecionados, homogeneizadas amostras experimentais e armazenadas em atmosfera controlada.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições de 20 frutos. Os tratamentos utilizados foram quatro condições de umidade relativa controlada: [1] 85%; [2] 90%; [3] 95% e [4] 100%. Os frutos foram armazenados durante 9,5 meses em atmosfera controlada, nas condições de 1,2 kPa de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> menor que 0,5 kPa, na temperatura de 0,5°C ( $\pm 0,1$ ). As amostras experimentais foram armazenadas em minicâmaras experimentais herméticas, com volume de 0,232m<sup>3</sup>. As minicâmaras foram acondicionadas no interior de uma câmara frigorífica de 48 m<sup>3</sup>. O controle da temperatura foi efetuado por meio de termostatos eletrônicos e determinada diariamente por meio de termômetros de bulbo de mercúrio com precisão de 0,1°C, inseridos na polpa de frutos.

Para o controle da UR foram instalados psicrômetros eletrônicos, que estavam conectados a uma bomba, sendo que, quando a UR estava acima da ideal a bomba circulava o ar contido na minicâmara por um recipiente contendo sílica gel, que absorvia a umidade até a condição preestabelecida. A umidade relativa de cada câmara foi monitorada diariamente com o auxílio de um psicrômetro com termômetros de mercúrio e, quando necessário, foi realizada a correção do nível nos psicrômetros eletrônicos. Diferentemente das condições comerciais, a umidade relativa no interior da minicâmara experimental tende à saturação, sendo necessário, portanto, a sua redução.

A atmosfera controlada foi estabelecida pela varredura do oxigênio do interior da minicâmara, hermeticamente fechada, com gás inerte (N<sub>2</sub>), até se chegar ao nível de O<sub>2</sub> desejado. Durante o armazenamento, quando necessário, foi realizada a injeção de ar para repor o O<sub>2</sub>, consumido pela respiração dos frutos. Já o CO<sub>2</sub>, gerado pela respiração, foi eliminado da minicâmara com cal hidratada colocada em seu interior. O monitoramento das

concentrações dos gases em cada minicâmara foi realizado com um analisador de gases marca Kronenberger.

Após o armazenamento foram realizadas as análises físico-químicas de maturação e qualidade dos frutos, sendo avaliados os parâmetros: podridão, pela contagem de frutos podres, expresso em %; murchamento, através de análise subjetiva com o estabelecimento dos seguintes níveis: 0: sem murchamento, 1: murchamento perceptível através de pressão entre os dedos e 2: murchamento visível, a partir dos quais se calculou o índice de murchamento; perda de massa, determinada pela diferença de peso dos frutos no início e no final do armazenamento, expresso em %; rachadura, pela contagem de frutos que apresentavam rachadura, expresso em %; degenerescência de polpa, pela contagem de frutos que apresentavam esse distúrbio, expresso em %; polpa farinácea, pela contagem de frutos com esse distúrbio, expressa em %; suculência, pela prensagem de aproximadamente 20 g de polpa dos frutos em uma prensa hidráulica durante um minuto a  $10 \text{ kgf cm}^{-2}$ , expresso em %; acidez titulável, determinada pela titulação com NaOH 0,1 N de 10 mL de suco da fruta diluídos em 100 mL de água destilada e deionizada, até pH 8,1, expressa em  $\text{meq}100 \text{ mL}^{-1}$ ; sólidos solúveis (SS), determinado com auxílio de um refratômetro, com correção de temperatura, expresso em °Brix; firmeza de polpa, determinada com um penetrômetro, inseridos em lados opostos da região equatorial dos frutos onde previamente havia sido retirada a epiderme, expressa em Newtons (N); atividade da enzima ACC oxidase, determinada através da produção de etileno por porções de 3 gramas de epiderme dos frutos deixadas em solução contendo ACC durante 30 minutos e, posteriormente, em uma seringa contendo 1% de  $\text{CO}_2$ , por mais 30 minutos; expressa em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , produção de etileno, determinada com cromatógrafo gasoso (ppm de etileno) produzido por uma conhecida massa de frutos, fechada hermeticamente em um recipiente de volume conhecido por um determinado tempo, expresso em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; e a taxa respiratória, por meio da determinação de  $\text{CO}_2$  com um

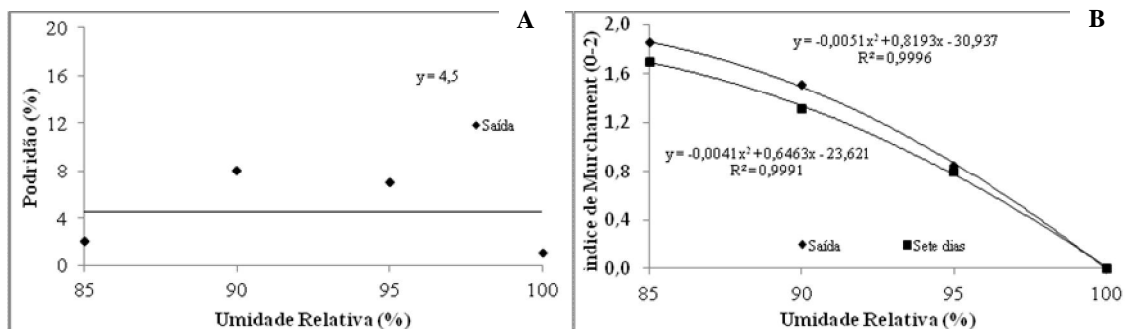
analisador eletrônico nos gases do mesmo recipiente utilizado na determinação da produção de etileno, expressa em mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>.

Os dados foram submetidos a análise de variância, em nível de 5% de probabilidade de erro, e aqueles expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula  $\arcsin \left[ \frac{(x+0,5)}{100} \right]^{1/2}$ , antes do teste F. Foram testadas as hipóteses para regressão linear, quadrática, cúbica e exponencial. Para todos os cálculos foi utilizado o software estatístico SISVAR/UFLA.

#### 4.1.5. Resultados e discussão

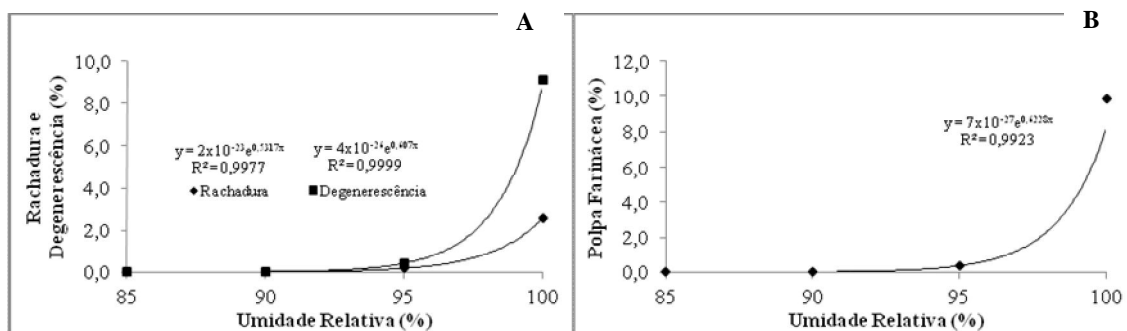
Após 9,5 meses de armazenamento, na saída da câmara, a incidência de podridão foi em média 4,5%, não diferindo significativamente entre os níveis de umidade relativa (Figura 1A). Porém, a maioria dos trabalhos encontrados na literatura (SCHWARTS, 1994; BRACKMANN; BORTOLUZZI; BORTOLUZ, 1999; BRACKMANN et al., 2005b), apontam maior incidência de podridão em frutos mantidos em ambiente com maior umidade relativa (UR).

O índice de murchamento se comportou de maneira similar na saída da câmara e aos sete dias a 20°C, sendo tanto maior quanto menor a umidade relativa, resultados que concordam com Brackmann et al. (2005a) e Brackmann et al. (1999), chegando a quase totalidade dos frutos com murchamento visível na UR de 85% (Figura 1B). Outro efeito prejudicial do armazenamento em baixa umidade relativa é a excessiva perda de massa dos frutos, que no presente trabalho chegou a 16% na umidade relativa de 85% (Figura 3B).



**Figura 1.** Porcentagem de podridão e índice de murchamento em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C, na saída da câmara e/ou aos sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012.

A rachadura de polpa, após o armazenamento, e a degenerescência e polpa farinácea, após o armazenamento mais sete dias a 20°C, apresentaram comportamentos semelhantes, sendo perceptíveis somente quando os frutos foram armazenados com umidade relativa maior que 95% (Figura 2). Os resultados de incidência de rachaduras estão de acordo com Schwarz (1994), que afirma que o excesso de umidade causa o aumento do volume dos frutos provocando a rachadura. Já a degenerescência, segundo Gran e Beaudry (1993), é causada pela ocorrência de respiração anaeróbica nos tecidos dos frutos, seja pela deficiência de O<sub>2</sub> ou excesso de CO<sub>2</sub>. No caso da ‘Fuji’ isso pode ser explicado pelo reduzido volume de espaço intercelular (BAUMANN; HENZE, 1983), o que dificulta a difusão dos gases entre o fruto e o ambiente. O presente trabalho concorda com vários outros trabalhos que já haviam verificado a redução de incidência de degenerescência com a redução da umidade relativa (LIDSTER, 1990; BRACKMANN; MAZZARO; BORTOLUZZI, 1995; BRACKMANN; BORTOLUZZI; BORTOLUZZI, 1999; BRACKMANN et al., 2005a).



**Figura 2.** Porcentagem de rachadura, degenerescência e polpa farinácea em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012.

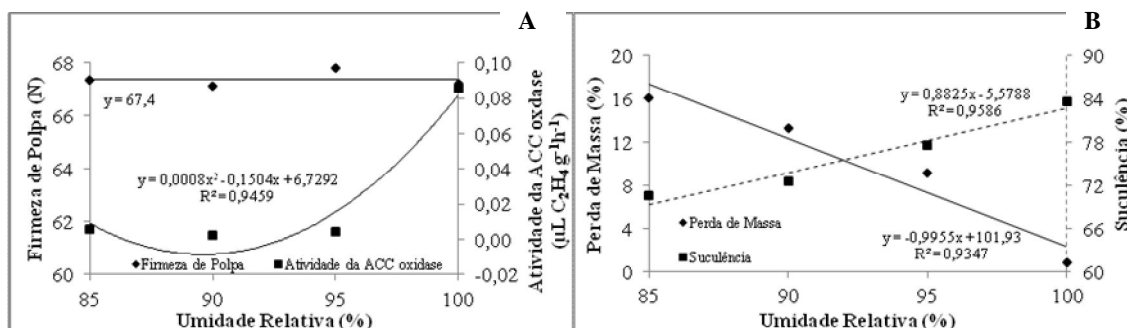
A suculência de polpa, após sete dias de exposição a 20°C depois do armazenamento, apresentou relação direta com a umidade relativa, ou seja, com o aumento da umidade relativa durante a armazenagem, há aumento da suculência dos frutos (Figura 3B). Este comportamento é inverso à perda de massa, que segundo Maguire (2000), se dá principalmente por transpiração, reduzindo, portanto, a suculência conforme se aumenta a perda de massa. Além disso, com a diminuição da umidade relativa e conseqüentemente perda de maior quantidade de água por transpiração, há uma concentração dos sólidos solúveis (SS) e da acidez titulável (dados não apresentados). Isso já havia sido reportado por Brackmann et al. (2007) com maçãs ‘Royal Gala’ para os SS.

A firmeza de polpa, após o final do armazenamento mais sete dias de exposição a 20°C, não diferiu entre os níveis de umidade relativa, sendo em média 67,40 N (Figura 3A). Diferente do encontrado por Brackmann et al. (2007), que verificaram maior manutenção de firmeza com maior perda de massa, em maçãs ‘Royal Gala’.

A atividade da enzima ACC oxidase foi fortemente aumentada com umidade relativa acima de 90% (Figura 3A), provavelmente sendo responsável pelo aumento da produção de etileno em alta UR. Ainda não está bem esclarecido o efeito da UR sobre a síntese de etileno,

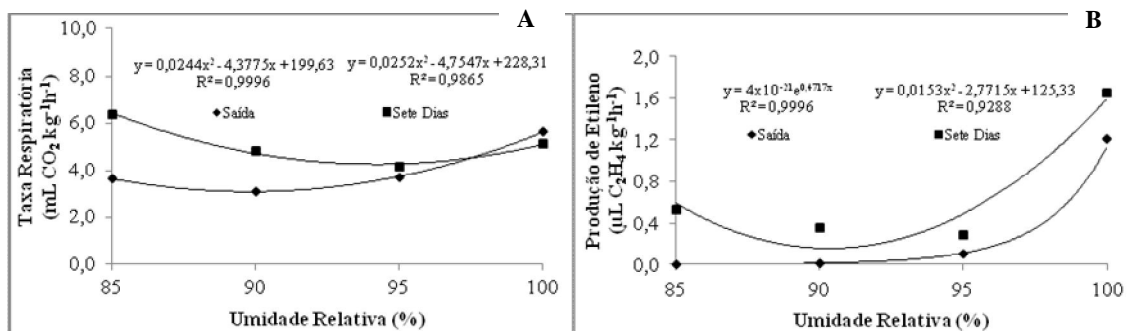


mas parece que ocorre um estresse em alta UR que estimula a síntese de etileno no interior do fruto.



**Figura 3.** Firmeza de polpa, atividade da ACC oxidase, perda de massa e suculência em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012.

Na saída dos frutos da câmara de armazenagem, somente foi detectada produção de etileno pelos frutos armazenados em umidade relativa de 100% (Figura 4B). Já aos sete dias a 20°C, foi detectada produção de etileno pelos frutos de todos os níveis de umidade relativa, no entanto, como era de se esperar, apresentando uma atividade da enzima ACC oxidase e produção de etileno muito maior nos frutos armazenados a 100% de umidade relativa. Já a taxa respiratória, apresentou resultados semelhantes na saída da câmara e aos sete dias a 20°C, sendo menor quando os frutos foram armazenados de 90 a 95% de umidade relativa (Figura 4A). Brackmann et al. (2007) também verificaram que a menor perda de massa de frutos, numa maior umidade relativa proporciona maior produção de etileno e maior taxa respiratória.



**Figura 4.** Taxa respiratória e produção de etileno em maçã ‘Fuji’ após 9,5 meses de armazenamento em atmosfera controlada com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + <0,5 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C na saída da câmara e aos sete dias de exposição a 20°C em diferentes níveis de umidade relativa. Santa Maria, RS, 2012.

#### 4.1.6. Conclusões

O armazenamento de maçãs ‘Fuji’ em umidade relativa muito alta, maior que 95%, promove o desenvolvimento de degenerescência e rachadura de polpa. Já quando o armazenamento se dá em umidade relativa muito baixa, menor que 90%, há grande perda de massa dos frutos e perda de qualidade visual pelo murchamento.

A atividade da enzima ACC oxidase e a produção de etileno são fortemente aumentadas com umidade relativa superior a 95% durante o armazenamento.

A suculência dos frutos apresenta relação crescente com o aumento da umidade relativa, enquanto que a perda de massa, teor de sólidos solúveis e a acidez titulável apresentam relação decrescente com o aumento da umidade relativa.

## 5. CAPÍTULO 3

### 5.1. Indução de perda de massa na qualidade pós-colheita de pêsesgos ‘Eragil’ em armazenamento refrigerado

*Induction of mass loss in post-harvest quality of ‘Eragil’ peaches in cold storage*

#### 5.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da perda de massa durante o armazenamento refrigerado (AR) na qualidade pós-colheita de pêsesgos ‘Eragil’. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições e 20 frutos por unidade experimental. Foram avaliados 4, 5, 6 e 7% de perda de massa. Os frutos foram armazenados por 21 dias a  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . De acordo com os resultados, a incidência de lanosidade aumentou com o acréscimo na perda de massa após dois dias de exposição a  $20^{\circ}\text{C}$ , mas não foi afetada aos quatro dias a  $20^{\circ}\text{C}$ . A suculência, aos dois dias, e a produção de etileno, aos dois e quatro dias a  $20^{\circ}\text{C}$ , apresentaram relação inversa com a perda de massa. A firmeza de polpa e a respiração aumentam com o incremento da perda de massa aos dois dias a  $20^{\circ}\text{C}$ . Os sólidos solúveis (SS) e a acidez titulável não foram afetados pela perda de massa dois dias após o final do armazenamento. Dos dois aos quatro dias de exposição a  $20^{\circ}\text{C}$  houve desenvolvimento da cor vermelha dos frutos, sendo que 5 a 6% de perda de massa proporcionaram menor evolução. Pêsesgos ‘Eragil’ são susceptíveis à ocorrência de lanosidade após 21 dias de AR a  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , sendo este processo revertido com a exposição à temperatura ambiente. O aumento na perda de massa promove aumento na firmeza de polpa, lanosidade, SS e na taxa respiratória e redução na suculência, taxa de produção de etileno e atividade da enzima ACC oxidase.

Palavras-chave: *Prunus persica*, etileno, lanosidade.

### 5.1.2. Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of mass loss during cold storage (CS) in the post-harvest quality of 'Eragil' peaches. Completely randomized design with five replications of 20 fruits was used. The effect of 4, 5, 6 and 7% of mass loss was evaluated. Fruits were stored in CS during 21 days at  $-0.5^{\circ}\text{C}$ . According to the results, the incidence of woolliness increased with the rise of mass loss two days after being exposed to  $20^{\circ}\text{C}$ , but it was not affected at day 4 at  $20^{\circ}\text{C}$ . Juiciness, at day 2, and ethylene production, at days 2 and 4 at  $20^{\circ}\text{C}$ , was inversely related to mass loss. Fruit firmness and respiratory rate increased with the rise in mass loss at day 2 at  $20^{\circ}\text{C}$ . Soluble solids (SS) and tritrate acidity were not affected by mass loss two days after the end of cold storage. Between the second and fourth day at  $20^{\circ}\text{C}$ , it developed the red color on fruits peel, and that 5 to 6% of mass loss provided less evolution. Therefore, 'Eragil' peaches are susceptible to wooliness after 21 days of storage at  $-0.5^{\circ}\text{C}$ , but this process can be reverted by exposure to room temperature. The rise in mass loss promotes increase in fruit firmness, woolliness, SS, and respiratory rate and decrease in juiciness, ethylene production and ACC oxidase enzyme activity.

Key words: *Prunus persica*, ethylene, woolliness.

### 5.1.3. Introdução

O pêsego é um dos principais frutos produzidos no Brasil, com uma área em torno de 21 mil ha, concentrada nos três estados do sul, sendo que no Rio Grande do Sul são produzidos aproximadamente 56% do total nacional (IBGE, 2009). O volume da produção brasileira, em torno de 230 mil toneladas, não é suficiente para atender a demanda do mercado interno, já que boa parte dos frutos consumidos é importada. Isso, aliado ao aumento do poder aquisitivo da população, tem resultado no aumento da área plantada de pêsegos nos últimos anos, principalmente daqueles destinados ao consumo *in natura* (MADAIL; RASEIRA, 2008).

O uso de cultivares de pêssegos de duplo propósito tem sido uma alternativa muito utilizada pelos produtores na instalação de novos pomares, ou renovações dos existentes, já que possibilita tanto a venda *in natura* quanto para a indústria, no caso de excedente de produção. Várias são as cultivares de duplo propósito desenvolvidas recentemente pelas empresas de pesquisa, uma delas é a 'Eragil', a qual tem ganho destaque devido a suas características, como polpa amarela, tamanho grande e mais de 50% da epiderme com cor avermelhada (BRACKMANN et al., 2009a).

O pêssego é um fruto climatérico e altamente perecível em pós-colheita, apresentando rápida perda de firmeza de polpa, incidência de podridões e murchamento (NAVA; BRACKMANN, 2002). Além disso, a quantidade colhida de frutos nem sempre é prontamente absorvida pelo mercado consumidor, o que gera a necessidade de alternativas para prolongar o período de oferta, como o armazenamento sob refrigeração. O armazenamento refrigerado (AR) reduz drasticamente a respiração dos frutos, evitando uma rápida perda da firmeza de polpa e ocorrência de patógenos. No armazenamento refrigerado além da temperatura, a umidade relativa é um importante fator a ser devidamente controlado no ambiente da câmara frigorífica, para minimizar perdas com distúrbios fisiológicos, como lanosidade e escurecimento interno, que depreciam a qualidade dos frutos para consumo *in natura*.

A lanosidade é um dos principais distúrbios fisiológicos que ocasionam perda de qualidade de pêssegos em pós-colheita (ROMBALDI et al., 2002), e está relacionado com o descompasso na atividade das enzimas poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME) (BEN-ARIE; SONEGO, 1980) em baixas temperaturas. Ainda, segundo Ben-Arie; Sonogo (1980), durante o armazenamento refrigerado, a atividade da PG é reduzida drasticamente, mas da PME não é alterada, isso causa o acúmulo de substâncias pécticas de alto peso

molecular que, juntamente com o cálcio da parede celular, aprisionam a água livre formando uma textura gelatinosa característica de frutos lanosos.

O controle da UR dentro da câmara de armazenagem exerce grande influência na qualidade dos frutos, uma vez que a alta umidade (maior que 95%) aumenta a incidência de podridões e rachaduras em maçãs (SCHWARZ, 1994), enquanto baixa umidade (menor que 90%) promove excessiva perda de água dos frutos causando visível murchamento, além de estimular a produção de etileno e respiração (YANG; PRATT, 1978). O controle exato da UR durante a armazenagem não é uma tarefa fácil, pois pequenas variações na temperatura da câmara causam oscilações na UR, principalmente em baixas temperaturas, já que o conteúdo de água presente no ar é baixo, tornando a UR muito instável nessas condições.

A perda de água dos frutos durante o período de armazenamento deve-se principalmente à transpiração (MAGUIRE, 2000) e está relacionada ao déficit de pressão entre estes e o ambiente. A indução da perda de massa dos frutos, através da absorção de água do ambiente interno da câmara de armazenagem, torna possível o controle exato da transpiração e permite fazê-la de modo constante durante todo o período. Essa perda de água varia dependendo da espécie, da temperatura, do movimento de ar e da UR do ar. Não existe na literatura uma correlação exata entre a UR no interior da câmara e a perda de massa dos frutos. Os autores Nava e Brackmann (2002) encontraram uma perda de massa de 6,1% em pêssegos mantidos durante quatro semanas em UR de 90% e de 3 a 4% quando a UR manteve-se acima de 95%. Já Nguyen et al. (2007), na tentativa de elucidar esse processo de perda de água por transpiração, criaram um modelo matemático para estimar a variação na perda de massa com a variação na UR, durante o armazenamento de pêras.

Diante disso, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito da perda de massa na incidência de lanosidade e na qualidade físico-química de pêssegos 'Eragil' durante o armazenamento refrigerado.

#### 5.1.4. Material e métodos

O experimento foi conduzido no Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Os frutos são provenientes de um pomar comercial localizado no município de Antonio Prado, na região da Serra do Rio Grande do Sul. Após a colheita foi realizada seleção dos frutos e posterior transporte à Santa Maria.

As amostras experimentais, depois de homogeneizadas, foram acondicionadas em minicâmaras experimentais com 0,230m<sup>3</sup> cada, as quais encontravam-se no interior de uma câmara frigorífica. Os frutos em armazenamento refrigerado (AR) foram mantidos durante 21 dias na temperatura de -0,5 ( $\pm 0,1$ )°C. A temperatura foi monitorada diariamente com termômetros de mercúrio (resolução de 0,1°C). Devido à necessidade da hermeticidade das minicâmaras, para que os tratamentos pudessem ser obtidos (alta UR), a concentração de O<sub>2</sub> foi mantida em aproximadamente 21,0 kPa, pela injeção de ar atmosférico, sempre que ocorria consumo de O<sub>2</sub> devido à respiração dos frutos. A concentração desejada de CO<sub>2</sub> foi obtida com absorção com cal hidratada.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento e 20 frutos por unidade experimental. Foram avaliados quatro níveis de perda de massa dos frutos durante o período de armazenamento: [T1] 4%; [T2] 5%; [T3] 6% e [T4] 7%. A indução da perda de massa foi realizada através da passagem forçada do ar do interior da minicâmara por um recipiente contendo sílica gel que eliminava parte da umidade. Esse ar, agora com baixa umidade, retornando ao interior da minicâmara, entrava em equilíbrio com os frutos, retirando água destes. O processo de absorção de umidade foi realizado a cada quatro dias durante a armazenagem dos frutos.

Após 21 dias de armazenamento, os frutos foram avaliados aos dois e quatro dias de exposição a 20°C. Os parâmetros avaliados foram: lanosidade, determinada de forma subjetiva através da atribuição de níveis de 1 a 3 multiplicado pelo número de frutos em cada

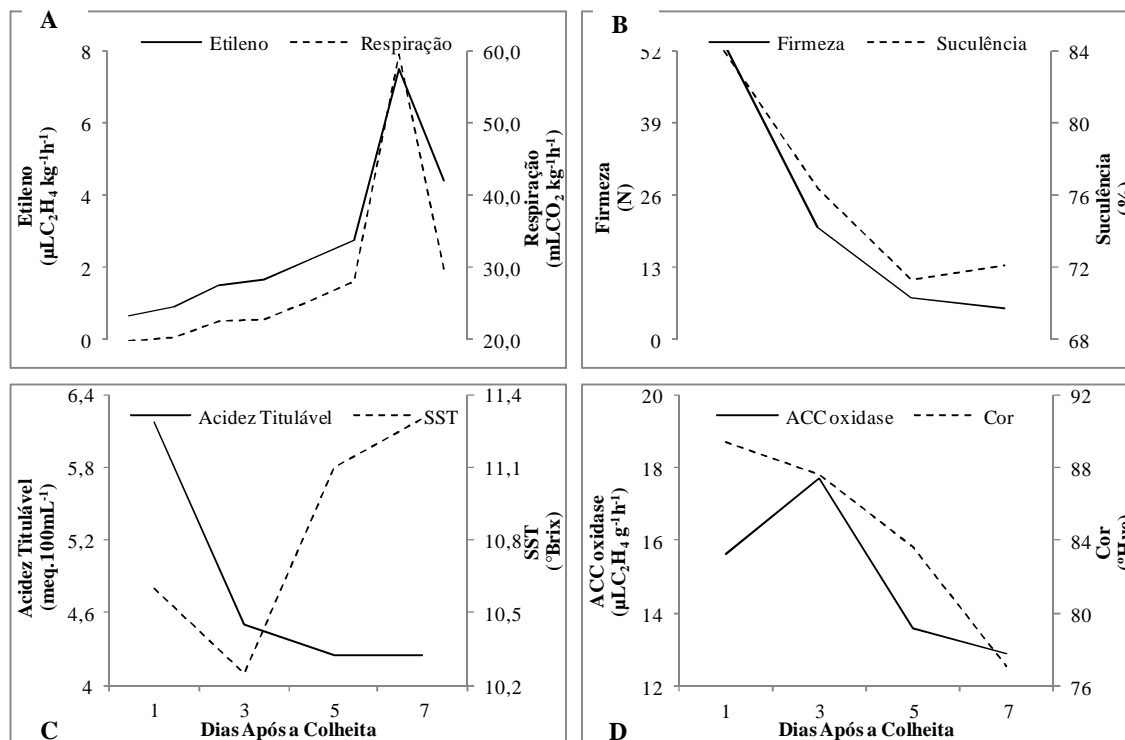
nível, em que 1= fruto não lanoso, 2= fruto mediantemente lanoso e 3= fruto totalmente lanoso, e expresso em índice de lanosidade; suculência, determinada através da prensagem de 20 g de polpa de frutos em uma prensa hidráulica com uma força de  $10 \text{ kg cm}^{-2}$ , durante um minuto, e expresso em porcentagem de suco livre na polpa; firmeza de polpa, com o uso de um penetrômetro com ponteira de 7,9 mm de diâmetro, inserido em superfícies opostas da polpa da região equatorial dos frutos, onde previamente havia sido retirada a epiderme, sendo os resultados expressos em Newtons (N); acidez titulável, foi determinada através da titulação com NaOH 0,1 N, de 10 mL de suco da fruta diluídos em 100 mL de água destilada e deionizada até pH 8,1 e expressa em  $\text{meq}100 \text{ mL}^{-1}$ ; sólidos solúveis (SS), determinados por refratometria e expressos em °Brix; cor de fundo da epiderme, determinada com auxílio de um colorímetro, marca Minolta®, expressa em ângulo Hue; taxa de produção de etileno, por cromatografia gasosa, determinada a produção do gás por uma massa de frutos em recipiente fechado com volume conhecido e durante um determinado período, expressa em  $\mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ; taxa respiratória, obtida através da produção de  $\text{CO}_2$ , determinada com um analisador eletrônico, da marca Agri-Datalog®, também em função da massa de frutos, volume do recipiente e tempo de fechamento do mesmo, expressa em  $\text{mLCO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ; e atividade da enzima ACC oxidase, determinada através da produção de etileno por porções de 3 gramas de epiderme deixadas em solução contendo ACC durante 30 minutos e, posteriormente, em uma seringa contendo 1 ml de  $\text{CO}_2$ , por mais 30 minutos; expressa em  $\mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$  de acordo com metodologia descrita por Bufler (1986).

Os dados foram submetidos à análise de variância, em nível de 5% de probabilidade erro, e aqueles expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula  $\text{arc sen} [(x+0,5)/100]^{1/2}$ , antes do teste F. Foram testadas as hipóteses para regressão linear, quadrática, cúbica e exponencial. Para todos os cálculos foi utilizado o software estatístico SISVAR/UFLA.



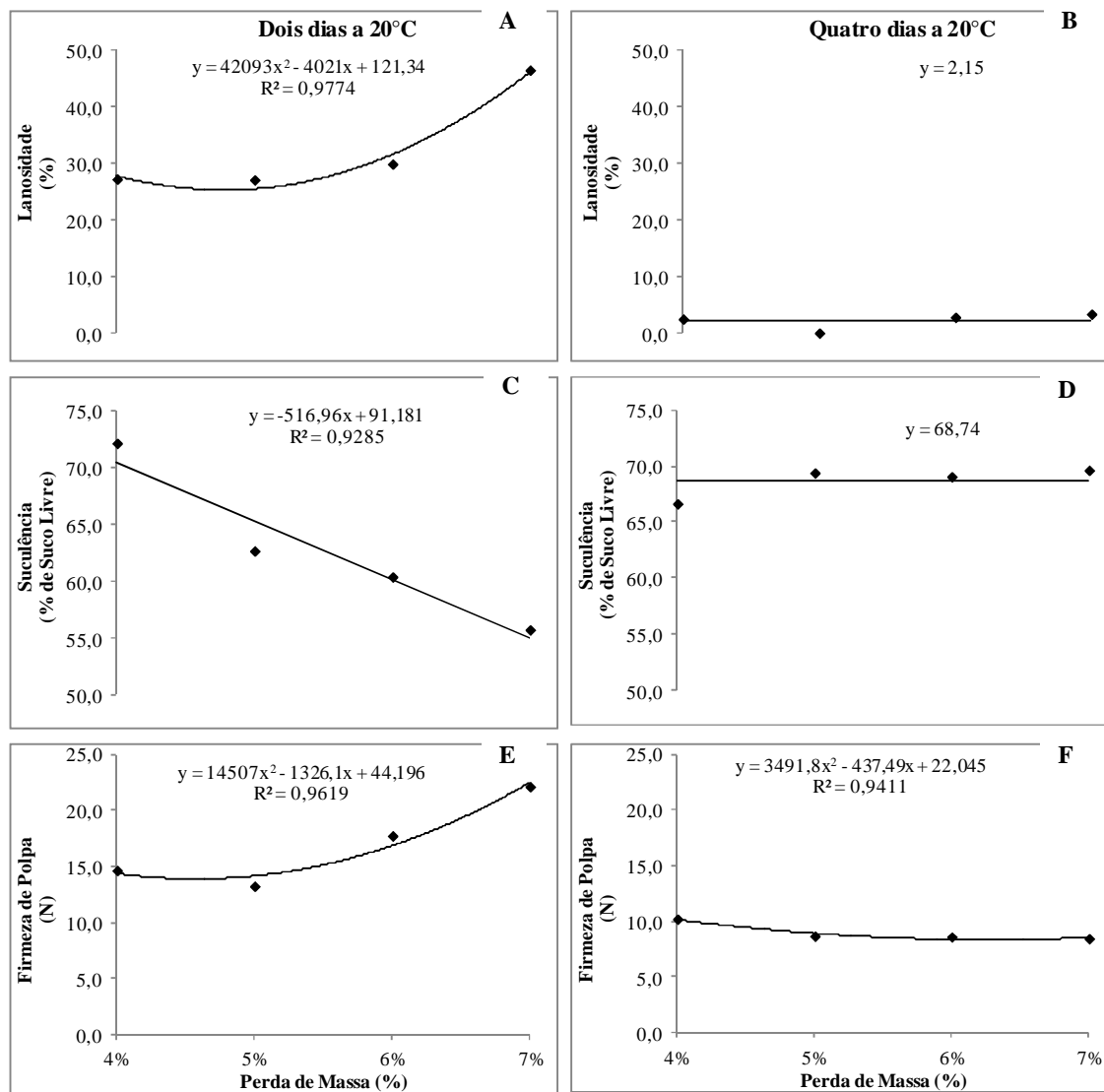
### 5.1.5. Resultados e discussão

Antes de submeter os frutos ao armazenamento refrigerado (AR) foi realizada uma análise para a determinação do estágio de maturação dos frutos, cujos resultados são apresentados na Figura 5. As taxas de produção de etileno e respiratória dos frutos, após a colheita, apresentaram aumento lento e gradual até o quinto dia, já ao sexto dia ambos apresentaram um pico, característico do climatério, com posterior redução ao sétimo dia. O pico climatérico é caracterizado por um aumento significativo na respiração dos frutos, induzido por um aumento na produção autocatalítica de etileno (RHODES, 1980). Os parâmetros suculência, firmeza de polpa, acidez titulável e o ângulo Hue, que expressa cor da epiderme apresentaram redução durante os sete dias. A firmeza chegou a níveis muito baixos (menores que 10 N) a partir do quinto dia de avaliação, sendo resultado da hidrólise das paredes celulares, que resultam no amolecimento dos frutos (TAIZ; ZAIGER, 2009). Já a redução do ângulo Hue mostra que durante os dias avaliados a cor dos frutos passou de verde a amarelo, devido à degradação das clorofilas. Os SS apresentaram uma leve redução logo após a colheita, devido em parte à respiração, mas tiveram um grande aumento aos cinco e sete dias após a colheita, provavelmente devido à degradação das paredes celulares. A atividade da enzima ACC oxidase teve um pequeno aumento no terceiro dia seguido de queda aos cinco e sete dias. A análise inicial é útil na identificação do padrão normal de armazenamento dos frutos, que é alterado com o armazenamento em baixas temperaturas, com isso, também é possível identificar o período de vida de prateleira dos frutos, durante o qual a qualidade dos mesmos é aceitável para a comercialização.



**Figura 5.** Parâmetros físico-químicos de pêssegos ‘Eragil’ durante sete dias após a colheita e mantidos na temperatura de 20°C. Santa Maria, RS, 2012.

Após 21 dias em AR mais dois dias a 20°C, a incidência de lanosidade em função da intensidade de perda de massa foi representada por uma equação de segundo grau e a curva que a explica possui concavidade voltada para cima (Figura 6A). A maior incidência de lanosidade ocorreu com 7% de perda de massa, sendo 71, 72 e 56% maior que com 4, 5 e 6% de perda de massa, respectivamente. Já, aos quatro dias a 20°C, não houve diferença estatística entre os níveis de perda de massa, ficando a média dos tratamentos em 2,15% de incidência. Segundo Nava e Brackmann (2002), após o armazenamento refrigerado, a exposição dos frutos à temperatura ambiente tende a restabelecer a suculência dos frutos, o que também foi observado neste trabalho.



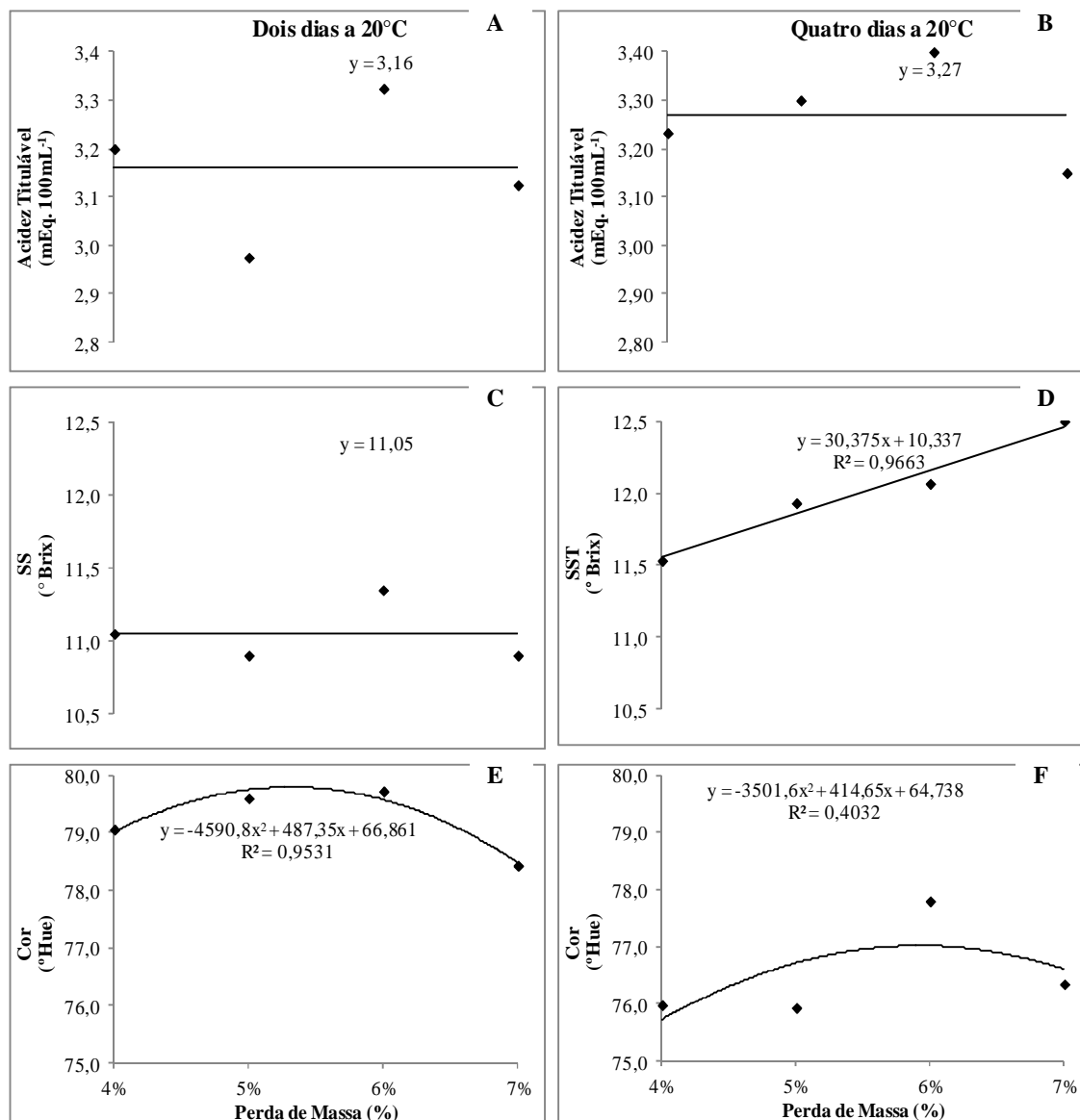
**Figura 6.** Lanosidade, suculência e firmeza de polpa de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C, em função dos níveis de perda de massa. Santa Maria, RS, 2012.

A percepção da lanosidade por meio de uma análise subjetiva é feita através da observação visual da presença de suco livre, sendo que no presente trabalho, o resultado pode ter sido mascarado pela maior desidratação dos frutos submetidos a maiores níveis de perda de água. A suculência dos frutos, parâmetro fortemente relacionado com a incidência de lanosidade, somente foi significativamente alterada pela perda de massa após dois dias de exposição a 20°C, e teve relação inversa com esta, ou seja, quanto maior a perda de massa,

menor a suculência (Figura 6C). Com o aumento na perda de massa de 4 para 7%, houve redução de 23% na suculência dos frutos. A suculência média dos frutos após quatro dias a 20°C foi 68,74%, sem que houvesse diferença entre os níveis de perda de massa. Do mesmo modo que para a incidência de lanosidade, os resultados obtidos de suculência provavelmente estejam mais relacionados à formação de “gel” com aprisionamento de água, que devido à maior perda de água por transpiração dos frutos durante o armazenamento. Segundo Zhou et al. (2000), a lanosidade não está relacionada à perda do conteúdo de água pelos frutos, mas sim ao aprisionamento da água livre pelas substâncias provenientes da desesterificação da parede celular.

Dois dias após o final do armazenamento, o gráfico que representa a firmeza de polpa teve o comportamento de uma parábola com concavidade voltada para cima (Figura 6E). Os frutos submetidos a 7% de perda de massa mantiveram a firmeza de polpa em 22,16 N, sendo 51, 67 e 25% maior que aqueles submetidos a 4, 5 e 6% de perda de massa, respectivamente. Brackmann et al. (2007), trabalhando com maçãs, também verificaram maior firmeza de polpa com maior perda de massa, até o nível de 3,2%. Diferentemente, Nava e Brackmann (2002) não encontraram diferença na firmeza de polpa entre pêssegos ‘Chiripá’ que tiveram perdas de massa de 0,5 e 6,1%, após quatro semanas de armazenamento mais dois dias a 20°C. Aos quatro dias de exposição dos frutos à temperatura ambiente, a firmeza de polpa também é explicada por uma função de segundo grau, no entanto, a variação entre tratamentos é pequena, sendo o maior valor obtido com 4% de perda de massa, apenas 18, 19 e 21% maior que 5, 6 e 7% de perda de massa, respectivamente. Houve redução da firmeza de polpa do segundo ao quarto dia. Segundo Lurie e Crisosto (2005), a reversão da lanosidade vem acompanhada de colapso e senescência dos tecidos, resultando em redução da firmeza de polpa, além da degradação natural das paredes celulares, como observado pela análise inicial.

As variáveis acidez titulável e sólidos solúveis (SS) não apresentaram diferença estatística entre os quatro níveis de perda de massa, na análise aos dois dias após o final do armazenamento, indicando que nesse período não há perda de qualidade dos frutos com a indução da perda de massa (Figuras 7A e 7C). Aos quatro dias a 20°C, a acidez titulável novamente não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, no entanto, a média dos tratamentos foi um pouco superior, devido ao acúmulo de ácidos provenientes da degradação das paredes celulares. Os SS, aos quatro dias a 20°C, apresentaram comportamento linear, aumentando com o aumento da perda de massa de 4% até 7%. Já Nava e Brackmann (2002) não encontraram diferença tanto na acidez titulável quanto nos SS quando compararam alta e baixa umidade relativa durante o armazenamento. Também foi possível verificar certo aumento no teor de SS dos dois aos quatro dias em temperatura ambiente. A cor da epiderme dos frutos, tanto aos dois quanto aos quatro dias a 20°C foi explicada por uma parábola com concavidade voltada para baixo, em que pode se determinar o ponto de máxima eficiência técnica, que é 5,3% e 5,9% de perda de massa para dois e quatro dias, respectivamente. O ponto de máxima mostra o nível de perda de massa em que os frutos tiveram menor desenvolvimento da cor amarela, ou seja, encontravam-se menos maduros. Pode-se ainda observar que dos dois aos quatro dias a 20°C houve evolução na maturação dos frutos, representado pelo menor valor do ângulo Hue.

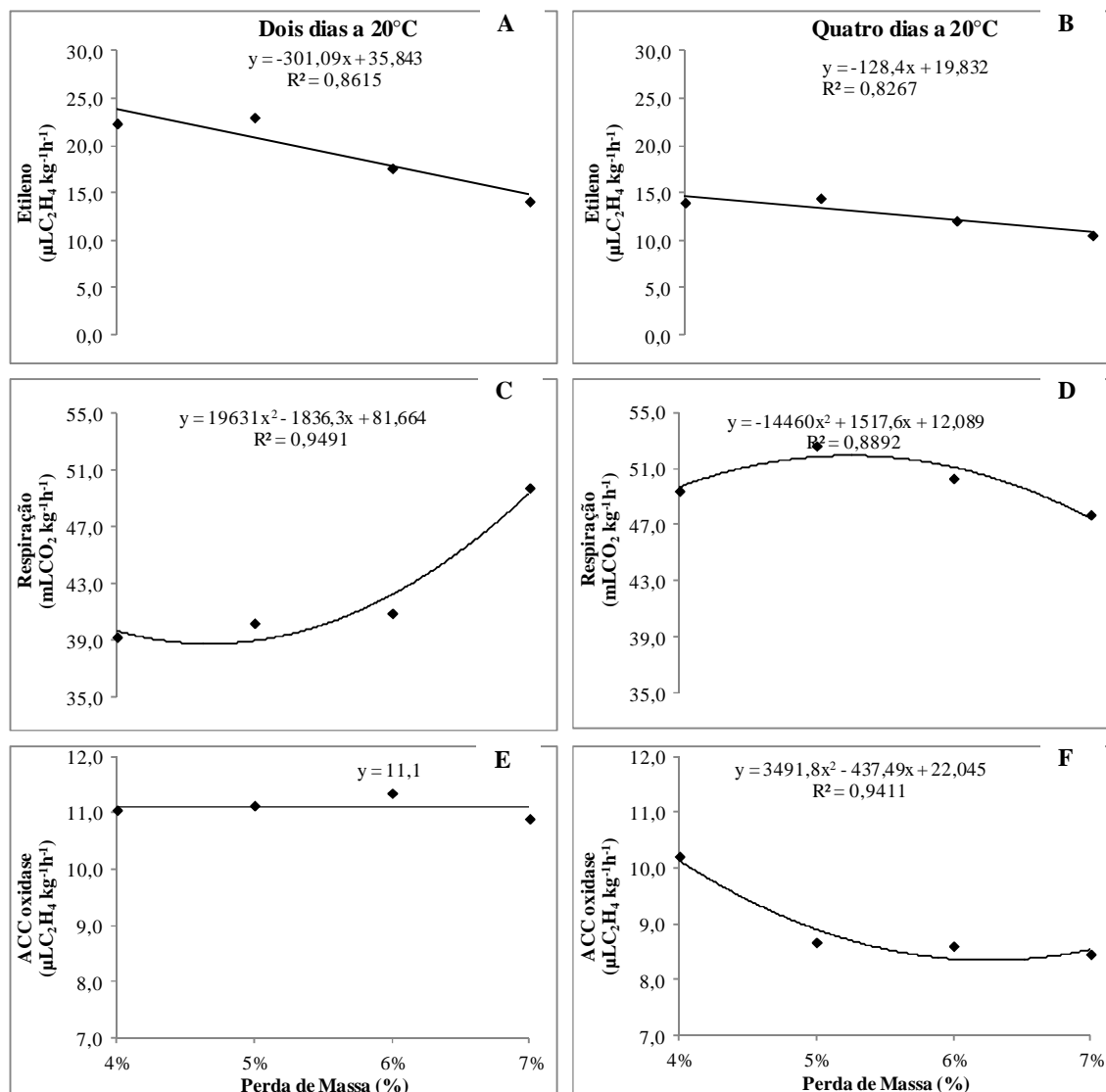


**Figura 7.** Acidez titulável, SS e cor da epiderme de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C em função da perda de massa dos frutos. Santa Maria, RS, 2012.

A taxa de produção de etileno, tanto aos dois quanto os quatro dias a 20°C, se ajusta por meio de uma equação linear decrescente, ou seja, quanto maior a perda de massa menor a produção de etileno (Figuras 8A e 8B), concordando com Brackmann et al. (2007) que também observaram, em maçãs ‘Royal Gala’, diminuição da produção de etileno com aumento da perda de massa. A declividade da reta é maior aos dois dias (-301,9x) que aos

quatro dias (-128,4x) a 20°C, mostrando que logo após o final do armazenamento o efeito da indução da perda de massa é mais pronunciado na produção de etileno dos frutos. A produção de etileno pelos frutos submetidos a 7% de perda de massa foi 37, 38 e 20% menor que aqueles submetidos a 4, 5 e 6%, respectivamente, aos dois dias a 20°C, e, 25, 27 e 13% menor que 4, 5 e 6%, respectivamente, aos quatro dias a 20°C. Alves et al. (2010), em ameixas 'Laetitia', notaram que 1,5% de perda de massa não é suficiente para causar diferença estatística na produção de etileno, o que justifica, de certa forma, a escolha dos níveis testados no presente trabalho. Adato e Gazit (1974) e Finger et al. (1995) afirmam que a maior perda de massa, em níveis maiores que os testados neste trabalho, antecipa o pico climatérico

A taxa respiratória dos frutos apresentou diferentes comportamentos aos dois e quatro dias, sendo que, no primeiro caso, a curva que a explica é uma parábola com concavidade voltada para cima, e, no segundo caso, para baixo (Figuras 8C e 8D). Aos dois dias, a menor taxa respiratória ocorre com 4,7% de perda de massa, já aos quatro dias a 20°C, 5,2% de perda de massa resultou em maior taxa respiratória. Finger et al. (1995) observaram redução da produção de etileno e da taxa respiratória e antecipação do climatérico com perda de massa de 5% em bananas. A atividade da enzima ACC oxidase (Figura 8), aos dois dias a 20°C, não apresentou significância, ficando a média dos tratamentos em  $11,1 \mu\text{LC}_2\text{H}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Aos quatro dias de exposição a 20°C, a atividade da ACC oxidase é representada por uma curva com concavidade para cima, em que 6,3% de perda de massa proporciona a menor atividade.



**Figura 8.** Etileno, respiração e atividade da ACC oxidase de pêssegos ‘Eragil’ após 21 dias em armazenamento refrigerado e mais dois e quatro dias a 20°C, em função da perda de massa. Santa Maria, RS, 2012.

#### 5.1.6. Conclusões

O aumento na perda de massa em pêssegos ‘Eragil’ promove aumento na firmeza de polpa, lanosidade, SS e taxa respiratória e redução na suculência e na taxa de produção de etileno. A perda de massa de 7% ocasiona maior incidência de lanosidade quando comparada com 4, 5 e 6% de perda de massa e, quanto maior a incidência de lanosidade, menor é a suculência. Além disso, a reversão da lanosidade não é influenciada pela perda de massa.



Pêssegos 'Eragil' são susceptíveis à ocorrência de lanosidade após 21 dias de armazenamento refrigerado a  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , sendo este processo revertido com a exposição à temperatura ambiente.

## 6. CAPÍTULO 4

### 6.1. Perda de massa na qualidade de pêssegos 'Eragil' submetidos a diferentes níveis de umidade relativa durante o armazenamento

*Mass loss in quality of peaches 'Eragil' under different levels of relative humidity during storage*

#### 6.1.1. Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da umidade relativa (UR) durante o armazenamento em atmosfera controlada sobre a perda de massa e as qualidades físico-químicas de pêssegos 'Eragil'. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições e a unidade experimental composta por 40 frutos. Os tratamentos avaliados foram: [1] UR de 85%; [2] UR de 90%; [3] UR de 95%; [4] UR de 100%. Os frutos de todos os tratamentos foram armazenados em atmosfera controlada com 2,0 kPa de  $\text{O}_2$  + 5,0 kPa de  $\text{CO}_2$  na temperatura de  $0,5(\pm 0,1)^{\circ}\text{C}$ . Após 60 dias de armazenagem e mais seis dias de exposição dos frutos a  $20^{\circ}\text{C}$ , verificou-se maior diminuição da lanosidade e um aumento da suculência com a redução da UR. Quanto à perda de massa e o murchamento, observou-se diminuição na incidência destes, de acordo com o aumento da UR. A UR entre 90 e 95% induz uma perda de massa de 1 a 5% durante o armazenamento de pêssegos 'Eragil', diminui a lanosidade, reduz a perda de firmeza de polpa e acidez titulável, além de reduzir o escurecimento interno, sem causar elevado murchamento.

Palavras chave: *Prunus persica*, atmosfera controlada, distúrbios fisiológicos.

### 6.1.2. Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of the relative humidity (RH) during controlled atmosphere storage on the mass loss and physico-chemical characteristics of 'Eragil' peaches. The experimental design was completely randomized with five replications and experimental units consisting of 40 fruits. The treatments evaluated were: [1] RH of 85%; [2] RH of 90%; [3] RH of 95% e [4] RH of 100%. The fruits of all treatments were stored in controlled atmosphere with 2.0 kPa O<sub>2</sub> + 5.0 kPa CO<sub>2</sub> at a temperature of 0.5°C (± 0.1). After 60 days of storage and six more days at 20°C, there was a greater decrease in woolliness and an increase in juiciness with the reduction of RH, in the fruits. The relative humidity between 90 and 95% caused a mass loss from 1 to 5% during storage period of 'Eragil' peaches, decreased woolliness, loss of firmness and acidity, and lowered the internal browning, without causing high wilting.

Keywords: *Prunus persica*, controlled atmosphere, physiological disorders.

### 6.1.3. Introdução

O pêssego 'Eragil' é uma cultivar de maturação tardia, com polpa amarela e que apresenta grande aceitação pelo mercado consumidor, principalmente para o consumo *in natura* (BRACKMANN et al., 2009a). Porém, é um fruto altamente perecível, com alta taxa respiratória, o que dificulta o armazenamento e acarreta em grandes perdas no período de pós-colheita, especialmente no caso de armazenamento em condições inadequadas (NAVA; BRACKMANN, 2002).

Durante o período de armazenamento os frutos transpiram, levando a perda de massa (PM) (ALVES et al., 2010). A intensidade da PM é regulada pela umidade relativa do ar (UR) do ambiente de armazenagem, sendo que quanto menor a UR, maior a transpiração dos frutos e, conseqüentemente, a PM. Portanto, o controle da UR é imprescindível, pois valores de UR muito baixos podem causar murchamento e UR muito elevadas podem levar ao

desenvolvimento de microorganismos patogênicos e rachaduras nos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Porém, uma pequena PM pode ser benéfica para conservação de frutos, pois aumenta os espaços intercelulares e melhora a difusão de gases para o interior e exterior dos frutos. Schotsmans et al. (2004), trabalhando com maçãs, verificaram aumento da difusividade de gases com o aumento dos espaços intercelulares e mudanças na forma das células.

Pêssegos senescem rapidamente quando armazenados à temperatura ambiente (LURIE; CRISOSTO, 2005). Em vista disso, após a colheita, os frutos devem ser refrigerados o mais rapidamente possível, para diminuir o metabolismo e aumentar o período de armazenagem (BRACKMANN et al., 2009b; BRON et al., 2002). Entretanto, a redução excessiva da temperatura pode levar ao aparecimento de lanosidade, escurecimento da polpa, baixa suculência, falta de aroma e sabor (LURIE; CRISOSTO, 2005). Esses distúrbios ocorrem principalmente quando a temperatura de armazenagem está próxima a de congelamento ou ocorrem grandes variações durante o período armazenagem (CHITARRA; CHITARRA, 2005). De acordo com Nava e Brackmann (2002), a temperatura de  $-0,5^{\circ}\text{C}$  é adequada para o armazenamento de pêssegos, entretanto, estes autores observaram elevada incidência de podridões e lanosidade nessa temperatura. Bron et al. (2002), afirmam que pêssegos da cultivar Aurora podem ser armazenados por 35 dias na temperatura de  $0$  ou  $3^{\circ}\text{C}$ , sem apresentarem sintomas de distúrbios fisiológicos.

Em vista do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a condição de UR, que induz a PM ideal visando à diminuição de distúrbios fisiológicos e de podridões, além da manutenção das qualidades pós-colheita de pêssegos da cultivar Eragil, armazenados em atmosfera controlada durante 60 dias.

#### 6.1.4. Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita (NPP) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), durante o ano de 2010. Os frutos provenientes de um pomar comercial localizado no município de Antônio Prado (RS), após a colheita os frutos foram transportados para o NPP, onde foi realizada uma seleção e homogeneização das amostras experimentais e posterior aplicação dos tratamentos. Os tratamentos avaliados foram diferentes níveis de UR no ambiente de armazenagem, sendo [1] UR de 85%; [2] UR de 90%; [3] UR de 95%; [4] UR de 100%. Os pêssegos de todos os tratamentos foram armazenados em atmosfera controlada com 2,0kPa de O<sub>2</sub> + 5,0kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C (±0,1) durante 60 dias. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições, sendo a unidade experimental composta por 40 frutos. Os frutos foram acondicionados em minicâmaras experimentais com volume de 0,230m<sup>3</sup>, onde foram controladas a UR e as concentrações de gases. As minicâmaras permaneceram numa câmara frigorífica com volume de 45m<sup>3</sup>, onde foi controlada a temperatura.

Para o controle da UR de cada minicâmara foi instaladas uma bomba de ar conectada a um psicrômetro eletrônico, sendo que, quando a UR estava muito elevada a bomba circulava o ar contido na minicâmara por um recipiente contendo sílica gel, que absorvia a umidade até a condição pré-estabelecida em cada tratamento. A condição de atmosfera controlada foi mantida através de análises e correções diárias das concentrações dos gases no interior de cada minicâmara de armazenagem. O CO<sub>2</sub> produzido pelo processo respiratório foi absorvido pela circulação do ar contido da minicâmara através duma solução de hidróxido de potássio 40%. O O<sub>2</sub> consumido pela respiração dos frutos era repostado através da injeção de ar atmosférico. Para o monitoramento da temperatura utilizou-se um termômetro com bulbo de mercúrio de alta precisão (0,1°C) inserido na polpa de um fruto.

As análises de maturação e qualidade foram realizadas após 60 dias de armazenagem, sendo os 40 frutos de cada repetição separados em 4 subamostras. Estas foram analisadas no

momento da saída da câmara e aos 2, 4 e 6 dias de exposição à temperatura de 20°C, para avaliar o comportamento dos frutos durante o período de comercialização. Os parâmetros avaliados foram: a) lanosidade: determinada de forma subjetiva por meio da compressão do fruto com os dedos e visualização da presença ou não de suco e expresso por um índice de 0 a 2, de acordo com a quantidade de suco, em que o nível 0=fruto não lanoso, nível 1=fruto medianamente lanoso e nível 2=fruto totalmente lanoso; b) escurecimento interno: determinado pela contagem do número de frutos que apresentavam escurecimento interno, c) podridões: determinadas pela contagem do número de frutos que apresentavam lesões maiores que 0,5cm de diâmetro causadas por fungos; d) suco livre: determinado através da prensagem de aproximadamente 40g de polpa sob pressão de 10kgf cm<sup>-2</sup> durante um minuto. O suco extraído através da prensagem foi centrifugado durante 10 minutos. Posteriormente o suco foi separado do sobrenadante e filtrado. Através da diferença da massa inicial da polpa e o peso final do suco foi calculado a porcentagem de suco livre; e) sólidos solúveis: obtidos por refratometria e expressos em °Brix; f) acidez titulável: obtida pela titulação de 10 mL de suco diluídos em 100mL de água com uma solução de 0,1N de NaOH até pH 8,1, os valores foram expressos em mEq100mL<sup>-1</sup>; g) murchamento: determinado de forma subjetiva por meio da compressão do fruto com os dedos e quantificação por níveis de 0 a 2, de acordo com a turgidez do fruto, onde o nível 0=fruto sem murchamento, nível 1=murchamento com pressão entre os dedos e nível 2=murchamento visível; h) escurecimento da epiderme: determinado por meio de níveis que variavam de 0-4, onde 0=sem escurecimento, 1=frutos com até 10% de escurecimento, 2=10 a 30% de escurecimento, 3=30 a 50% de escurecimento e 4=mais de 50% de escurecimento; i) perda de massa: determinada pela pesagem dos frutos antes e após o armazenamento, os valores foram expressos em porcentagem; j) firmeza de polpa: determinada com um penetrômetro com ponteira de 7,9mm de diâmetro, inserido em dois lados opostos da polpa dos frutos, em que foi previamente retirada a epiderme sendo os

valores expressos em Newton (N); k) atividade da enzima ACC oxidase: determinada de acordo com metodologia descrita por Bufler (1986); l) taxa de produção de etileno: determinada através do acondicionamento de aproximadamente 1500g de frutos dentro de um recipiente de vidro de 5000mL que foi fechado hermeticamente durante uma hora. Após, foram retiradas duas alíquotas de 1mL de gás do interior do recipiente e injetadas em um cromatógrafo a gás. Calculou-se a produção de etileno em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  em função da concentração de etileno, determinada pelo cromatógrafo marca Varian, equipado com um detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100, do espaço livre do recipiente, da massa de frutos e do tempo de fechamento; m) taxa respiratória: quantificada pela circulação do ar contido no mesmo recipiente da determinação da produção de etileno, por um analisador de gases, marca Agridatalog. Calculou-se a respiração em  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  em função da concentração de  $\text{CO}_2$ , do espaço livre do recipiente, da massa dos frutos e do tempo de fechamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância, em nível de probabilidade de 5% de probabilidade de erro, e aqueles expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula  $\text{arc sen} [(x+0,5)/100]^{1/2}$ , antes do teste F. Foram testadas as hipóteses para regressão linear, quadrática, cúbica e exponencial. Para todos os cálculos foi utilizado o software estatístico SISVAR/UFLA.

#### 6.1.5. Resultados e discussão

Na ocasião da instalação do experimento realizou-se uma análise inicial para determinar o estágio de maturação dos frutos. Na mesma, os frutos apresentaram uma atividade da enzima ACC oxidase de  $0,01324 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , taxa de produção de etileno de  $0,8066 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , taxa respiratória de  $20,65 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , firmeza de polpa de 52,88 N, suculência de 74,72%, acidez titulável de 7,63 mEq  $100 \text{ mL}^{-1}$  e teor de sólidos solúveis de 8,8°Brix. Após 60 dias de armazenagem mais seis dias de exposição a 20°C os

parâmetros incidência de podridões e atividade da enzima ACC oxidase não apresentaram significância na análise de variância (dados não apresentados).

A ausência de suculência é um sintoma típico da incidência de lanosidade em pêssegos (SANTOS et al., 2008). No presente estudo observou-se um acréscimo na lanosidade (Figura 9A) e um decréscimo na quantidade de suco livre, conforme aumentava a UR do ambiente de armazenagem (Figura 9B). Este fato pode ser explicado, pelo desbalanço na atividade das enzimas poligalacturonase e pectinaesterase, durante o período de armazenamento em baixas temperaturas (ZHOU et al., 2000). Appezzato-da-Glória et al. (2004) e Brummel et al. (2004) afirmam que este desbalanço causa um acúmulo de substâncias pécticas que possuem a capacidade de se ligar à água livre, formando um composto geleificado, o que explica a diminuição na concentração de suco livre de acordo com o aumento da UR, pois quanto maior a UR maior a quantidade de água livre no fruto.

O teor de sólidos solúveis sofreu pouca variação durante o armazenamento, sendo este parâmetro pouco influenciado pela temperatura e concentrações de O<sub>2</sub> (KE et al., 1991). Em todos os dias de avaliação, exceto aos quatro dias de exposição a 20°C, o teor de sólidos solúveis apresentou uma resposta linear em relação à UR, decrescendo com o aumento da UR da câmara de armazenagem (Figura 9C). Brackmann et al. (2007) também observaram que os frutos com maiores perdas de massa apresentaram os maiores teores de sólido solúveis. O maior acúmulo de açúcares, nos frutos armazenados na menor UR, tem relação com a maior perda de água, através da transpiração, provocou um aumento na concentração dos açúcares e ácidos orgânicos. Bron et al. (2002) afirmam que a acidez titulável diminui durante o período de armazenamento, porém este decréscimo não é muito elevado. Esta tendência foi observada no presente trabalho, pois a acidez dos frutos, no momento da saída da câmara era inferior a do momento de entrada. No período de exposição a 20°C a acidez titulável apresentou uma resposta quadrática na saída da câmara e aos seis dias de exposição a 20°C, já aos dois dias

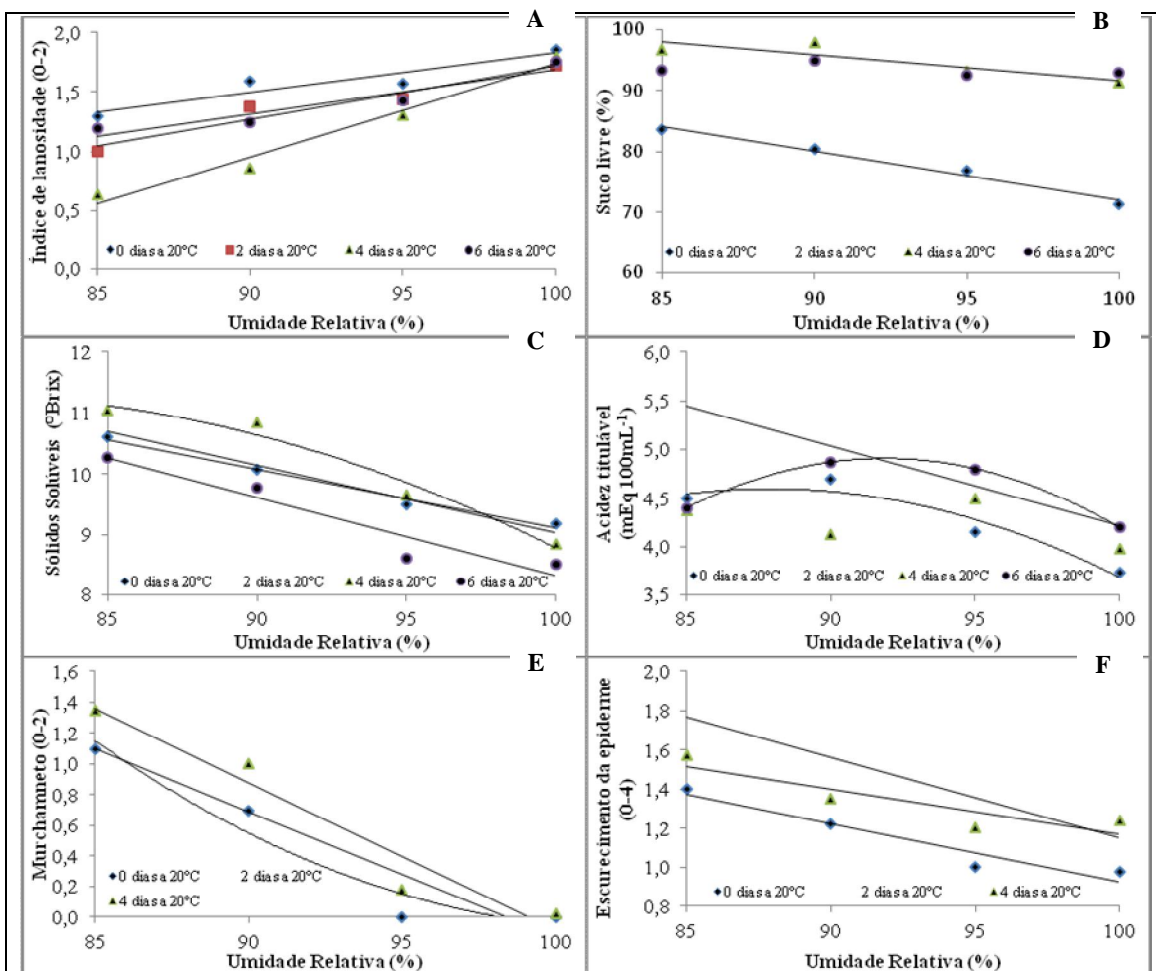
apresentou resposta linear, e no quarto dia o efeito dos tratamentos não foi significativo (Figura 1D). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Brackmann et al. (2007), que também não observaram influência da UR sobre a acidez titulável.

Kader (1986) afirma que o armazenamento em baixa UR pode levar ao murchamento, perdas nutricionais, além de ocasionar elevada perda de massa. No presente estudo, isto se confirmou, pois o índice de murchamento aumentou de acordo com a diminuição da UR do ambiente de armazenagem (Figura 9E). A perda de massa teve uma resposta linear e inversa em relação à UR, variando de 0,52 % de PM na maior UR a 13,78% na menor UR (Figura 10E). Nava e Backmann (2002) atribuem a PM à atividade respiratória e, principalmente, à baixa UR da câmara de armazenagem. Em pêssegos, a PM na ordem de 4 a 5% é normal, sendo que sintomas de engelhamento da epiderme só são notados em PM superiores a 10% (CRISOSTO et al., 2004).

O escurecimento epidérmico influencia negativamente a qualidade visual de pêssegos, principalmente para o consumo *in natura*. No entanto, existem poucos estudos sobre a causa deste distúrbio. Brackmann et al. (2009b) atribuem o escurecimento da epiderme ao tipo de pré-resfriamento adotado. Contudo, no presente trabalho, observa-se que a UR também influencia, pois a incidência de escurecimento diminuiu com o aumento da UR da minicâmara de armazenagem (Figura 9F). Além disso, o escurecimento pode ser influenciado pela concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> da câmara de armazenagem (BRACKMANN et al., 2009a). Outro distúrbio muito importante é o escurecimento interno, que está relacionado à oxidação dos polifenóis pela enzima polifenoloxidase (LURIE; CRISOSTO, 2005). O escurecimento interno, na saída da câmara e aos seis dias de exposição a 20°C não foi influenciado pela UR (Figura 10A). Já aos dois dias, o escurecimento foi aumentando de acordo com o aumento da UR, e aos quatro dias apresentou uma resposta na forma de parábola com concavidade voltada



para cima (Figura 10A). Steffens et al. (2006) atribuem a maior incidência deste distúrbio à condição de armazenagem que proporciona o maior quociente respiratório.



A: 0)  $y=0,032x-1,465$   $R^2=0,9791$ ; 2)  $y=0,044x-2,755$   $R^2=0,9382$ ; 4)  $y=0,078x-6,145$   $R^2=0,9751$ ; 6)  $y=0,037x-2,026$   $R^2=0,9060$ .

B: 0)  $y=-0,804x+152,4$   $R^2=0,9811$ ; 2)  $y=84,71$ ; 4)  $y=-0,422x+133,7$   $R^2=0,7912$ ; 6)  $y=93,38$ .

C: 0)  $y=-0,097x+18,8$   $R^2=0,9871$ ; 2)  $y=-0,111x+20,13$   $R^2=0,7223$ ; 4)  $y=-0,006x^2+0,954x-26,62$   $R^2=0,9692$ ; 6)  $y=-0,13x+21,31$   $R^2=0,9167$ .

D: 0)  $y=-0,006x^2+1,098x-43,69$   $R^2=0,9309$ ; 2)  $y=-0,081x+12,37$   $R^2=0,9373$ ; 4)  $y=4,24$ ; 6)  $y=-0,010x^2+1,975x-85,82$   $R^2=0,9998$ .

E: 0)  $y=0,004x^2-0,82x+41,95$   $R^2=0,9436$ ; 2)  $y=-0,082x+8,072$   $R^2=0,8935$ ; 4)  $y=-0,095x+9,513$   $R^2=0,9384$ ; 6) Não avaliado\*.

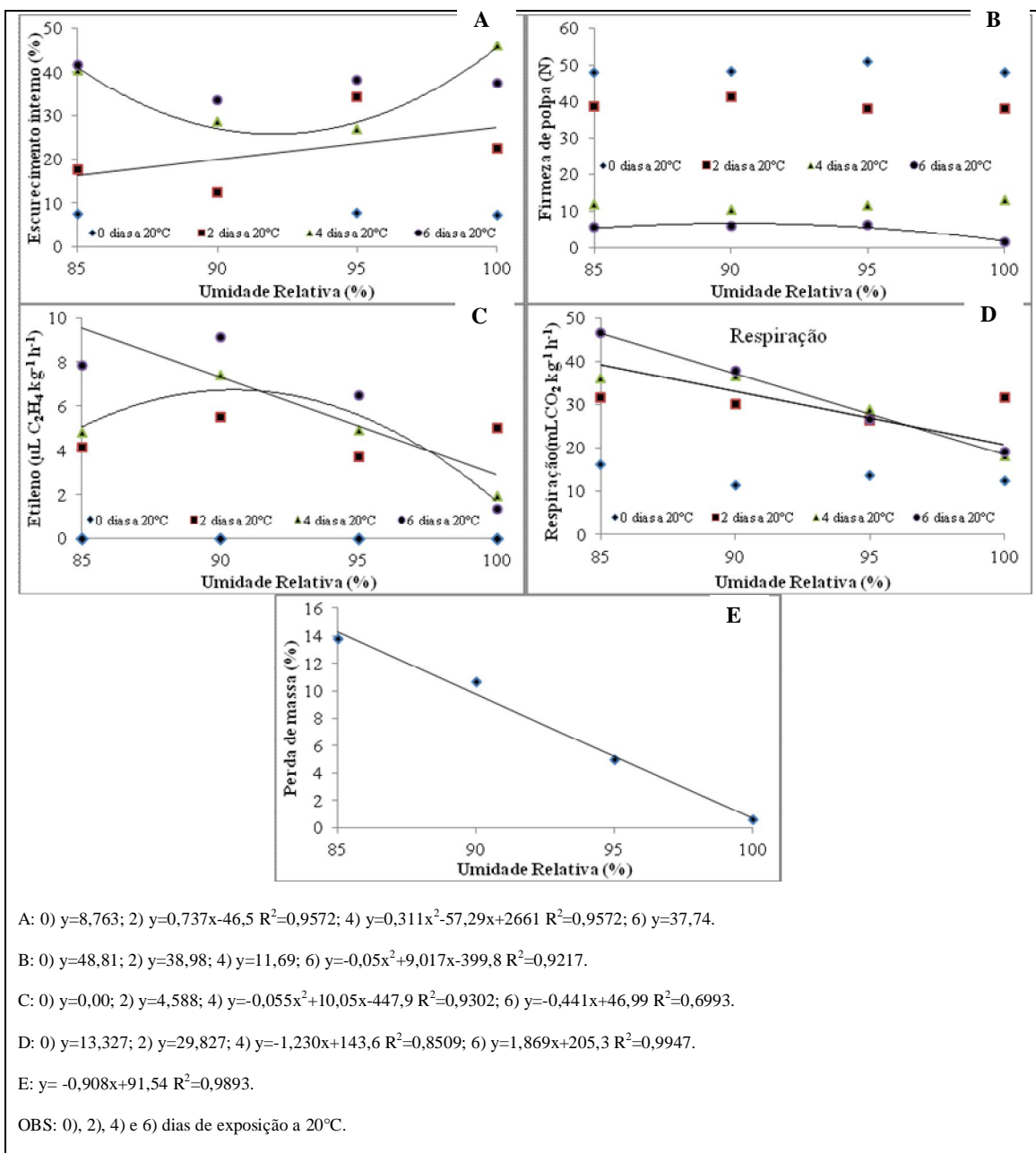
F: 0)  $y=-0,03x+3,925$   $R^2=0,9273$ ; 2)  $y=-0,041x+5,255$   $R^2=0,8022$ ; 4)  $y=-0,022x+3,452$   $R^2=0,7853$ ; 6) Não avaliado\*.

\*: Dados não avaliados devido à elevada incidência de podridões no sexto dia de exposição a 20°C.  
OBS: 0), 2), 4) e 6) dias de exposição a 20°C.

**Figura 9.** Qualidades físico-químicas de pêssegos ‘Eragil’ após 60 dias de armazenamento em atmosfera controlada com 2,0 kPa de O<sub>2</sub> + 5,0 kPa de CO<sub>2</sub> na temperatura de 0,5°C mais seis dias de exposição a 20°C em resposta a diferentes níveis de UR. Santa Maria, RS, 2012.

A firmeza de polpa diminuiu no decorrer do período de armazenamento e exposição a 20°C, sendo que essa diminuição varia de acordo com a cultivar (BRON et al., 2002). Esta resposta também foi observada no presente estudo, ocorrendo uma drástica diminuição da firmeza de polpa durante o período de exposição a 20°C, concordando com Seibert et al. (2008). As diferentes URs não influenciaram a firmeza de polpa na saída da câmara, aos dois e quatro dias de exposição a 20°C, enquanto que aos seis dias o efeito da UR foi significativo, apresentando uma resposta em forma de parábola com concavidade voltada para baixo (Figura 10B).

O etileno é responsável por várias mudanças no metabolismo, algumas desejáveis, como o aumento de substâncias voláteis e redução da adstringência, e outras indesejáveis, como aumento da atividade de enzimas degradadoras da parede celular, amarelecimento da epiderme, entre outras (ALEXANDER; GRIERSON, 2002). No momento de saída da câmara não foi possível detectar produção de etileno, concordando com Corrêa et al. (2011), que também não observaram produção de etileno, em ameixas, na saída da câmara. No segundo dia de exposição a 20°C ocorreu produção de etileno, entretanto, a UR não influenciou a produção de etileno (Figura 10C). Já no quarto dia, a resposta na produção de etileno, foi na forma de uma parábola com concavidade voltada para baixo. No sexto dia a resposta foi linear, sendo que a produção de etileno diminuiu com o aumento da UR (Figura 10C).



**Figura 10.** Qualidades físico-químicas de pêssegos 'Eragil' após 60 dias de armazenamento em atmosfera controlada com 2,0 kPa de  $\text{O}_2$  + 5,0 kPa de  $\text{CO}_2$  na temperatura de 0,5°C mais seis dias de exposição a 20°C em resposta a diferentes níveis de UR. Santa Maria, RS, 2012.

Após um aumento na produção de etileno ocorre um significativo incremento na taxa respiratória dos frutos (YANG; HOFFMAN, 1984). A respiração dos frutos apresentou um comportamento linear, diminuindo com o aumento da UR no ambiente de armazenagem

(Figura 10D). No decorrer do período de exposição a 20°C tem-se uma tendência de aumento da respiração, este fato tem relação com o aumento da temperatura, pois, Steffens et al. (2007) afirmam que a diminuição da temperatura suprime a respiração, sendo que quando estes são expostos a temperaturas maiores ocorre um incremento da respiração.

#### 6.1.6. Conclusão

A condição de UR que proporciona uma perda de massa ideal para o armazenamento de pêssegos ‘Eragil’ é de 95%. Essa condição de armazenamento mantém maior firmeza de polpa e acidez titulável, além de baixo escurecimento externo e interno, sem causar elevado murchamento dos frutos. Porém, a umidade relativa entre 95% ocasiona maiores níveis de lanosidade do que UR mais baixa.

## 7. CAPÍTULO 5

### 7.1. Perda de massa e características qualitativas em diversas espécies de frutos em função de diferentes níveis de umidade relativa durante armazenamento

*Mass loss and qualitative characteristics in several species of fruit for different levels of relative humidity during storage*

#### 7.1.1. Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a perda de massa em diferentes espécies de frutas, em função da umidade relativa (UR) do ar durante o período de armazenamento. Os tratamentos avaliados foram: [1] UR de 85%; [2] UR de 90%; [3] UR de 95% e [4] UR de 100%. Os frutos de todos os tratamentos foram acondicionados em minicâmaras experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições. A maçã ‘Fuji’ e o pêssego ‘Eragil’ foram armazenados em atmosfera controlada (AC), com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 0,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 2,0kPa de O<sub>2</sub> + 5,0kPa de CO<sub>2</sub>,

respectivamente. Já o tangor 'Murcott', a uva 'Niágara' e a goiaba 'Paluma' foram armazenados sob refrigeração (AR). A temperatura de armazenamento para maçãs 'Fuji', pêssegos 'Eragil' e uvas 'Niágara' foi de  $0,5^{\circ}\text{C}(\pm 0,1)$ , os tangor 'Murcott' a  $4,0^{\circ}\text{C}(\pm 0,1)$  e as goiabas 'Paluma' na temperatura de  $8,0^{\circ}\text{C}(\pm 0,1)$ . O período de armazenamento da maçã 'Fuji' foi de 9,5 meses, do pêssego 'Eragil' 2 meses, da uva 'Niágara' 1 mês, do tangor 'Murcott' de 2,5 meses e goiaba 'Paluma' 21 dias. A perda de massa dos frutos em função da umidade relativa do ar variou em função da espécie e do período de armazenamento. Nas condições de armazenamento utilizadas na execução do experimento, a intensidade de perda de massa diária dos frutos das espécies é crescente na seguinte ordem: maçã, uva, tangor 'Murcott', goiaba e pêssego.

Palavras chave: armazenamento refrigerado, atmosfera controlada, distúrbios fisiológicos.

#### 7.1.2. Abstract

The aim of this study was to evaluate the mass loss in different species of fruits, exposed to different levels of relative humidity (RH) during storage period. The treatments evaluated were: [1] RH of 85%, [2] RH of 90%, [3] RH 95% and [4] RH 100%. The fruits of all treatments were placed in experimental chambers with a volume of  $0.230\text{ m}^3$ , and the experimental design was completely randomized with five replicates. The 'Fuji' apple and the 'Eragil' peach were stored in controlled atmosphere (CA) at  $1.2\text{ kPa O}_2 + 0.0\text{ kPa CO}_2$  and  $2.0\text{ kPa O}_2 + 5.0\text{ kPa CO}_2$ , respectively. Yet the 'Murcott' tangor, the 'Niagara' grape and the 'Paluma' guava were stored in cold storage (CS). 'Fuji' apples, 'Eragil' peaches and 'Niagara' grapes were stored at  $0^{\circ}\text{C} (\pm 0.1)$ , the 'Murcott' Tangor at  $4.0^{\circ}\text{C} (\pm 0.1)$  and the 'Paluma' guava at  $8.0^{\circ}\text{C} (\pm 0.1)$ . The period of storage of 'Fuji' apple was 9.5 months, of 'Eragil' peach was 2 months, of 'Niagara' grapes was 1 month, 'Murcott' tangor was 2.5 months and 'Paluma' guava 21 days. The mass loss of the fruits due to the relative humidity varies according to the species and the storage period. In storage conditions used when executing the experiment, the

intensity of daily mass loss of species is increasing in the following order: apple, grape, Murcott, guava and peach.

Key words: cold storage, controlled atmosphere, physiological disorders

### 7.1.3. Introdução

Das diversas tecnologias desenvolvidas para o armazenamento de frutos pode-se utilizar armazenamento refrigerado e atmosfera controlada. Estas duas formas de armazenamento foram amplamente estudadas por diversos pesquisadores, que conseguiram estabelecer condições ideais de temperatura, O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> para atmosfera controlada no armazenamento de diversas espécies frutíferas. No entanto, um parâmetro que influencia muito a qualidade da conservação de frutos é a umidade relativa do ar (UR), pois, em níveis ideais, diminui a desidratação, modifica processos fisiológicos e bioquímicos associados ao amadurecimento, afeta as interações entre patógenos e os frutos e diminui o dano pelo frio e por batidas (FIORAVANÇO; MÂNICA, 1994).

Segundo Kader (1986), a umidade relativa do ar não deve permanecer muito baixa, pois, além da perda de peso, prejudica a aparência pelo murchamento e causa perdas nutricionais. A UR da câmara nunca deve ser inferior a 85%, por outro lado, um índice superior a 95% favorece o desenvolvimento de microorganismos patogênicos (SCHWARZ, 1994), e a UR próxima da saturação (98 – 100%) causa rachadura na superfície dos frutos e predispõe à ocorrência de degenerescência senescente (LITTLE; BARRAND, 1989). De acordo com Lidster (1990), a incidência de degenerescência da polpa da cultivar McIntosh é maior com a umidade relativa entre 96% e 100%, assim como o surgimento de rachaduras da epiderme (EBERT 1986). Bortoluzzi et al. (1995) observaram no armazenamento da maçã 'Fuji' maior incidência de degenerescência senescente com 97% de umidade relativa em relação a 92% de umidade relativa. Por outro lado, há necessidade de perda de massa em

algumas espécies de frutas para melhorar a troca de gases entre o interior da polpa e o ambiente externo.

De acordo com Kader (1986), a perda de água causa murchamento dos frutos, quando esta atinge 5%. Perda de água entre 0,5 e 5% induz o aumento da atividade da enzima poligalacturonase (PG), estimula a produção de CO<sub>2</sub> e etileno, acelera o amadurecimento e agrava os sintomas de injúria de frio, além de ocasionar perda de peso dos frutos decorrente da transpiração através da evaporação da água dos tecidos por meio de suas estruturas anatômicas, como os estômatos, lenticelas, cutícula, pedúnculo e regiões de inserção do pedúnculo ao fruto (BENDER, 1986).

Entretanto, Brackmann et al. (2007) afirmam que a maçã ‘Royal Gala’ necessita perder massa para evitar ou reduzir a ocorrência do aspecto farináceo e a degenerescência da polpa. Porém, a perda de massa está estritamente correlacionada com a umidade relativa do ar, a temperatura e o período de armazenamento.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi determinar a perda de massa, em diferentes espécies de frutas, em função diferentes níveis de umidade relativa do ar, sendo utilizado a temperatura e o período de conservação mais recomendados para cada espécie de fruta.

#### 7.1.4. Material e métodos

O estudo foi conduzido no Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita (NPP) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O material experimental constou de maçãs ‘Fuji’, provenientes do município de Vacaria (RS). Pêssegos da cultivar ‘Eragil’, provenientes de um pomar comercial do município de Antônio Prado (RS). Além de tangor ‘Murcott’, uva ‘Niágara’ e a goiaba ‘Paluma’, provenientes do pomar didático-experimental localizado no Colégio Politécnico da UFSM.

Logo após a colheita, os frutos foram transportados para o NPP onde foi realizada uma seleção para eliminar frutos com algum tipo de defeito ou lesão. Posteriormente, os frutos foram separados em amostras experimentais para aplicação dos tratamentos. Os tratamentos avaliados foram: [1] UR de 85%; [2] UR de 90%; [3] UR de 95% e [4] UR de 100%. Os frutos de todos os tratamentos foram acondicionados em minicâmaras experimentais com volume de 0,230m<sup>3</sup>, sendo que estas estavam localizadas em câmaras frigoríficas com volume de 45m<sup>3</sup>. Para o controle da UR de cada minicâmara foi instalado um psicrômetro eletrônico, que estava conectado com uma bomba que, quando a UR estava acima do nível ideal, a bomba circulava o ar contido na minicâmara por um recipiente contendo sílica gel, que absorvia a umidade até a condição preestabelecida. A umidade relativa de cada câmara também foi monitorada diariamente com o auxílio de um psicrômetro com termômetro de mercúrio e, quando necessário, foi realizada uma aferição nos psicrômetros eletrônicos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições. A maçã 'Fuji' e o pêssego 'Eragil' foram armazenados em AC, com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 0,0 kPa de CO<sub>2</sub> e 2,0 kPa de O<sub>2</sub> + 5,0 kPa de CO<sub>2</sub>, respectivamente. As condições de AC foram mantidas constantes durante todo período. Para isso, foi realizada uma análise diária das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> em excesso, produzido pelo processo respiratório, foi absorvido através da circulação do ar da minicâmara por uma solução de hidróxido de potássio 40% e o O<sub>2</sub> consumido, foi repostado através da injeção de ar atmosférico. Já o tangor 'Murcott', a uva 'Niágara' e a goiaba 'Paluma' foram conservados em armazenamento refrigerado (AR). A temperatura de armazenamento para maçãs 'Fuji', pêssegos 'Eragil' e uvas 'Niágara' foi de 0,5°C(±0,1), para os tangores 'Murcott' foi 4,0°C(±0,1) e para as goiabas 'Paluma' foi de 8,0°C(±0,1). Para o monitoramento da temperatura utilizou-se um termômetro de mercúrio, com precisão de 0,1°C, inserido na polpa de um fruto. O período de armazenamento da maçã



'Fuji' foi de 9,5 meses, do pêssego 'Eragil' 2 meses, da uva 'Niágara' 1 mês, tangor 'Murcott' 2,5 meses e goiaba 'Paluma' 21 dias.

Os parâmetros de maturação e de qualidade avaliados foram: a) Taxa de produção de etileno: determinada pelo acondicionamento de aproximadamente 1500 g de frutos em um recipiente com volume 5000 mL, que foi fechado hermeticamente durante aproximadamente uma hora. Posteriormente, foram retiradas duas amostras de 1 mL do gás contido no recipiente e injetadas em um cromatógrafo, para determinação da concentração de etileno na amostra. A produção de etileno foi calculada através da concentração de etileno na amostra, do peso dos frutos, do espaço livre do recipiente e do tempo de fechamento. Os dados foram apresentados em  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; b) Taxa respiratória: determinada através da concentração de  $\text{CO}_2$  contido no mesmo recipiente utilizado para determinação da produção de etileno, obtido pela circulação do ar do recipiente por um analisador de gases da marca Agri-Datalog<sup>®</sup>. Em função da concentração do  $\text{CO}_2$ , do tempo de fechamento, da massa de frutos e do volume do recipiente, foi possível obter a taxa respiratória, sendo expressas em  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; c) Suculência: determinada através da prensagem de aproximadamente 20 gramas da polpa com  $10 \text{ kgf cm}^{-2}$  durante um minuto. Após um minuto de prensagem, pesou-se a parte da polpa seca, por diferença com a amostra inicial, obteve-se a suculência, expressa em porcentagem de suco livre; d) Firmeza de polpa: determinada com o auxílio de um penetrômetro com ponteira de 11mm para maçãs e 7,9 mm para pêssegos e, os dados foram expresso em Newton (N); e) Acidez titulável: obtida pela titulação de 10 mL de suco diluídos em 100mL de água com uma solução de 0,1N de NaOH até pH 8,1, os valores foram expressos em  $\text{mEq}100\text{mL}^{-1}$ ; f) Sólidos Solúveis; determinados através de refratometria, sendo os dados expressos em °Brix; g) Perda de Massa: determinada pela pesagem dos frutos antes do armazenamento e após o armazenamento, os valores foram expressos em porcentagem.

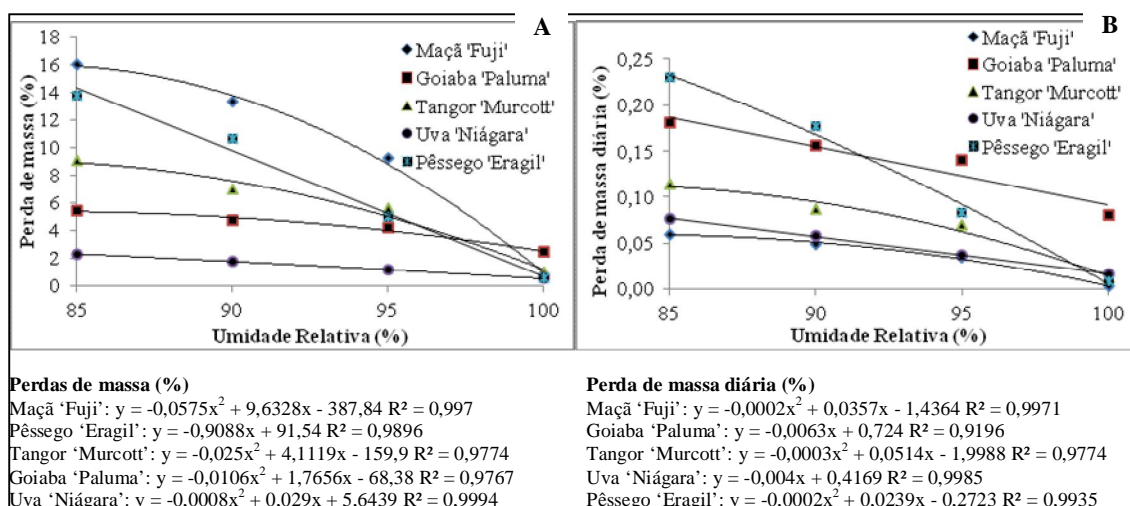
Os dados foram submetidos à análise de variância, em nível de probabilidade de 5% de probabilidade de erro, e aqueles expressos em porcentagem foram transformados pela fórmula  $\text{arc sen } [(x+0,5)/100]^{1/2}$ , antes do teste F. Foram testadas as hipóteses para regressão linear, quadrática, cúbica e exponencial. Para todos os cálculos foi utilizado o software estatístico SISVAR/UFLA.

#### 7.1.5. Resultados e discussão

A perda de massa dos frutos das diferentes espécies foi bastante alta em baixas umidades relativas o que também está relacionada com a movimentação do ar dentro das câmaras de armazenamento e o pequeno volume de frutos armazenados neste experimento. Em escala comercial as perdas por transpiração poderão ser menores em função dos motivos mencionados, mas a relação entre as diferentes UR deve permanecer.

A perda de massa em maçã ‘Fuji’, goiaba ‘Paluma’, tangor ‘Murcott’, uva ‘Niagara’ e pêssigo ‘Eragil’, tem relação inversa com a umidade, ou seja, quanto menor a umidade relativa do ar maior é a perda de massa dos frutos (Figura 11). Quanto mais seco o ar da câmara, maior será a perda de água dos frutos devido à diferença entre a pressão de vapor interna e externa do fruto (HARDENBURG et. al., 1988). Além disso, observando a Figura 11 e fazendo um paralelo da perda de massa total com a perda de massa diária, pode-se observar que as espécies que tiverem maior perda de massa total não foram as que tiveram maior perda de massa diária. A diferença entre a perda de massa total e a diária pode ser explicada em função do período de armazenamento de cada espécie. Deve ser levado em consideração que a transpiração das diferentes espécies também está relacionada com as temperaturas em que foram armazenadas. Numa mesma UR, frutas numa temperatura maior tem maior perda de água por transpiração, em função do maior gradiente de pressão de vapor dentro e fora do fruto, comparado a uma temperatura mais baixa. O processo de transferência de massa, através da perda de água, influencia profundamente no período pós-colheita de

frutas e hortaliças, pois a perda de água em produtos vegetais, altera as concentrações de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etileno e substâncias voláteis no suco celular (BURG, 2004). Segundo Kader (1986), a umidade relativa do ar não deve permanecer muito baixa, porque, além da perda de peso, prejudica a aparência pelo murchamento e causa perdas nutricionais. Segundo Brackmann et al. (2007), a maçã cv. Royal Gala necessita perder massa para evitar ou reduzir a ocorrência do aspecto farináceo e a degenerescência da polpa.

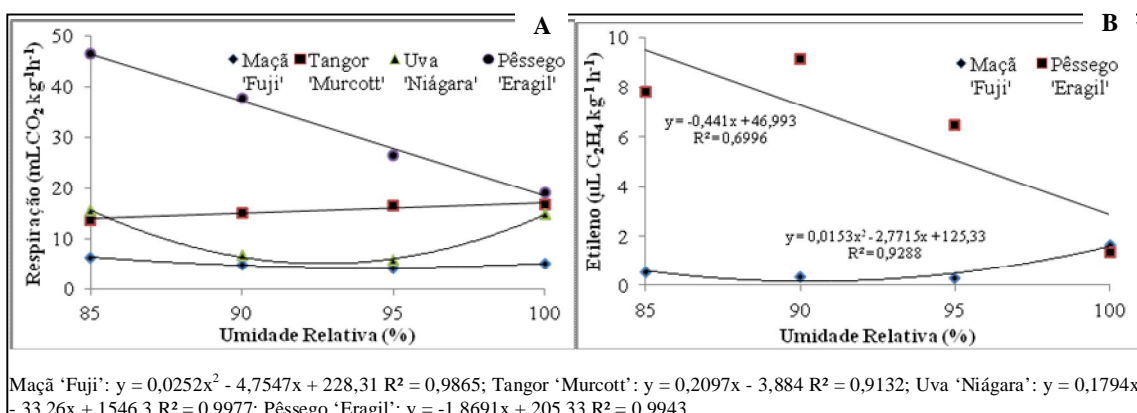


**Figura 11.** Perda de massa total e diária em frutos de diferentes espécies em função da umidade relativa do ar. Santa Maria, RS, 2012.

Após a colheita do fruto, a respiração torna-se o principal processo fisiológico e a sua intensidade determinam a longevidade do fruto. Nesse sentido, observando a Figura 12, nota-se que a respiração das espécies tem comportamento diferente em função da umidade relativa do ar. A respiração da maçã 'Fuji' e da uva 'Niágara' tem comportamento semelhante em função da umidade relativa, sendo uma parábola com concavidade voltada para cima e definindo maior respiração com umidade de 85 e 100%, caracterizando que a umidade baixa e alta tem efeito semelhante no processo respiratório. Já a respiração do tangor 'Murcott' e pêssego 'Eragil' tiveram comportamento inverso. Em tangor 'Murcott', quanto maior a umidade relativa maior a respiração. Dentre as espécies avaliadas, o pêssego apresenta a

maior resposta na atividade respiratória com a alteração da UR do ambiente de armazenamento, sendo que, quanto maior a umidade relativa do ar menor a taxa respiratória dos frutos.

O etileno é um elicitador de diversas respostas fisiológicas que afetam o período de armazenamento, sendo a produção desse hormônio vegetal afetado pela umidade relativa do ar. Conforme a Figura 12B, o comportamento da produção de etileno em pêssigo é linear com a umidade relativa do ar, sendo maior quando a umidade relativa do ar for menor. Já na maçã 'Fuji' o comportamento da produção de etileno pelo fruto é uma parábola com concavidade voltada para cima, porém, com pequena variação. O etileno, muitas vezes, é produzido pelo estresse da célula vegetal. Assim, as espécies respondem de forma diferente à baixa e alta umidade relativa do ar durante o armazenamento.

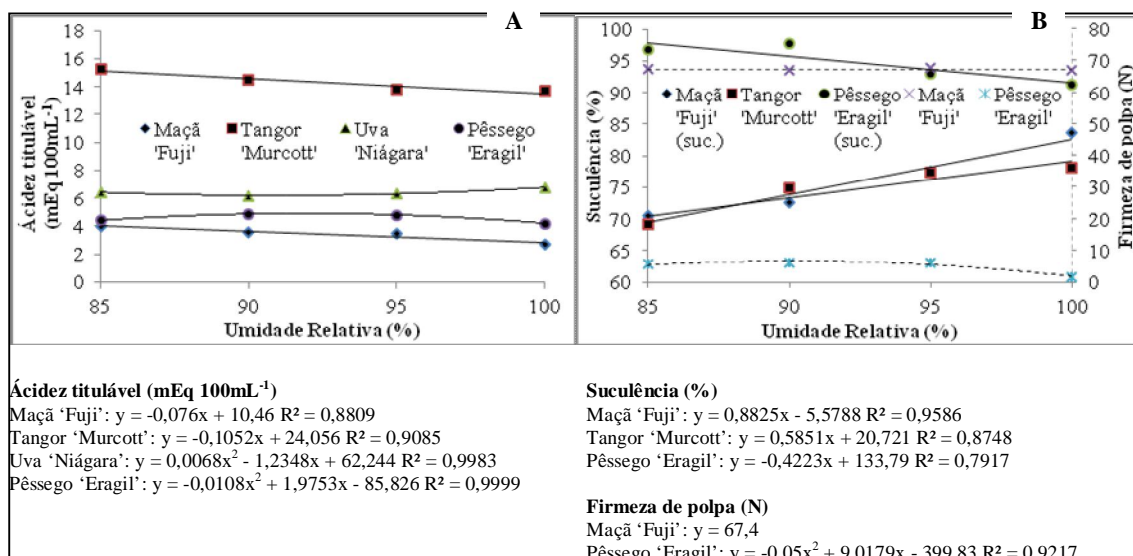


**Figura 12.** Taxa respiratória e de produção de etileno em diferentes espécies de frutos em função da umidade relativa do ar durante o armazenamento. Santa Maria, RS, 2012.

Observando a Figura 13A, nota-se que a umidade relativa do ar entre 85 e 100% teve pouca influência na concentração dos ácidos nas espécies avaliadas. Assim, não interferindo no sabor ácido para o consumidor, pois a acidez é uma característica que faz parte da qualidade organoléptica (TRUTER; EKSTEEN, 1987). Além disso, os ácidos são uma importante fonte de energia respiratória nas células. No entanto, os ácidos estão armazenados

nos vacúolos, e fatores que alterem a permeabilidade do tonoplasto, como baixa ou alta umidade relativa do ar, pode afetar o amadurecimento dos frutos. Assim, o armazenamento com umidade entre 85 e 100% possivelmente não tenha afetado a permeabilidade do tonoplasto.

Na firmeza de polpa, apresentada na Figura 13B, não ocorreu elevada variação na maçã 'Fuji' e em pêssago 'Eragil'. Já a suculência, em tangor 'Murcott' e maçã 'Fuji', é mais elevada com o aumento da umidade relativa do ar. Esse comportamento na suculência é decorrente de não haver déficit de pressão de vapor em alta UR (>90%) e consequentemente não ocorrer perda de água. No entanto, em pêssagos a ausência de suculência é um sintoma típico da incidência de lanosidade (SANTOS et al., 2008). No presente estudo observou-se que, para o pêssago, a suculência vai diminuindo conforme aumenta a UR do ambiente de armazenagem (Figura 13B). O efeito da alta UR no aumento da lanosidade é difícil de explicar, mas o aumento da água nos espaços intercelulares deve afetar a formação de gel na parede celular que é estimulada pela baixa temperatura de armazenagem (ZHOU et al., 2000).



**Figura 13.** Acidez titulável, suculência e firmeza de polpa em diferentes espécies de frutos em função da umidade relativa do ar durante o armazenagem. Santa Maria, RS, 2012.

#### 7.1.6. Conclusões

Nas diferentes temperaturas em que foram armazenadas as diferentes espécies, a ordem crescente de perda de massa diária dos frutos é a seguinte: maçã, uva, tangor 'Murcott', goiaba e pêsego.

Na maçã 'Fuji' mesmo com a menor perda de massa diária, a perda de massa total, numa mesma umidade relativa, é maior nessa espécie quando comparado com as demais, em função do seu maior período de armazenamento. Assim, quanto menor a capacidade de perder massa na forma de água, maior o período de conservação do fruto sem apresentar murchamento.

As mudanças fisiológicas e físico-químicas dos frutos após o armazenamento em diferentes umidades relativas são diferentemente afetadas por baixa (85%) e alta (100%) umidade relativa do ar nas diferentes espécies de frutos.

## 8. CONCLUSÕES GERAIS

Em maçãs 'Royal Gala', na presença de níveis extremamente altos de  $\text{CO}_2$  (4kPa) há necessidade de perda de massa de 4% (inicial ou linear) para evitar a ocorrência de degenerescência de polpa, manter a firmeza de polpa e não prejudicar a suculência e as características sensoriais dos frutos. A perda de massa de 1%, se no início do período de conservação, já é o suficiente para evitar perda de qualidade em maçãs durante o armazenamento em atmosfera controlada com baixo nível de  $\text{O}_2$  (0,7kPa) na presença de 2,5kPa de  $\text{CO}_2$ .

Em maçãs 'Fuji', o desenvolvimento da degenerescência e rachadura de polpa ocorre com maior frequência quando os frutos são acondicionados em umidade relativa alta, maior que 95%. Perda de massa e a suculência dos frutos apresentam relação direta com a umidade

relativa, enquanto que o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável apresentam relação inversa com a umidade relativa.

Após 21 dias de armazenamento de pêssegos 'Eragil' na temperatura  $-0,5^{\circ}\text{C}$  e perda de massa de 4, 5, 6 e 7%, foi constatado que o aumento na perda de massa promove aumento na firmeza de polpa, lanosidade e redução na suculência. Com isso, a perda de 7% de massa acarreta maior incidência de lanosidade quando comparado com 4, 5 e 6% de perda e, quanto maior a incidência de lanosidade, menor é a suculência. Além disso, a reversão da lanosidade não é influenciada pela perda de massa.

O armazenamento de frutas em diferentes condições de umidade relativa do ar proporciona perda de massa em quantidade e intensidade variada, sendo que a perda de massa varia em função da espécie e do período de armazenamento. Nas condições ideais de armazenamento para as diferentes espécies de frutos utilizadas no experimento, a intensidade de perda de massa diária das espécies é crescente na seguinte ordem: maçã, uva, tangor 'Murcott', goiaba e pêssego.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATO, I. & GAZIT, S. Water-deficit Stress, ethylene production, and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology*. v.53, p.45-46, 1974.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. [S.l.]: FNP, 2009. 497 p.

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, v.53, p.2039-2055, 2002.

ALVES, E. O. et al. A. Armazenamento refrigerado de ameixas 'Laetitia' com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. *Ciência Rural*, v. 40, n.1, 2010.

APELBAUM, A. & YANG, S.F. Biosynthesis of Stress Ethylene Induced by Water Deficit. *Plant Physiology*. v.68, 1981.

APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; BRON, I.U.; MACHADO, S.R. Lanosidade em cultivares de pêsego (*Prunus persica* (L.) Batsch) estudos anatômicos e estruturais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 1, p. 55-61, 2004.

ARGENTA, L.C., DENARDI, F. Perdas físico-químicas mensais de maçã 'Gala' e 'Fuji' durante a armazenagem em atmosfera controlada e frio convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, n. 3, p. 111-118, 1994.

ARGENTA, L.C.; MONDARDO, M. Maturação na colheita e qualidade de maçãs 'Gala' após a armazenagem. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.6, n.2, p.135-140, 1994.

ASODA, T. et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, p. 216-220, 2009.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DOS PRODUTORES DE MAÇÃ – AGAPOMI. **Produção de maçã no Rio Grande do Sul - Safra 2010/2011**. Disponível em <http://www.agapomi.com.br/arquivos/Safra.pdf>. Acesso em: 31 de janeiro de 2012.

BAUMANN, H., HENZE, J. Intercellular space volume of fruit. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 138, p. 107-111, 1983.

BEN-ARIE, R.; SONEGO, L. Pectolytic anzyme activity involved in wolly breakdown of stored peaches. **Phytochemistry**, Oxford, v.19, p.2553-2555, 1980.

BENDER, R. J. Colheita e armazenagem. In: **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1986. p.521-550.

BEN-YEHOSHUA, S. Transpiration, water stress, and gas exchange. In: Weichmann, J. (Ed.). **Postharvest Physiology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 1987. P.113-170.

BORTOLUZZI, G. **Efeito das temperaturas de armazenamento e condições de atmosfera controlada sobre a qualidade da maçã 'Fuji'**. 1997. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

BRACKMANN, A. et. al. Indução da perda de massa fresca e ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.32, n.2, 2007.

BRACKMANN, A et al. Atmosfera refrigerada e controlada para pêsegos 'Eragil'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, 2009a.

BRACKMANN, A. et al. Condições de atmosfera controlada, temperatura e umidade relativa no armazenamento de maçãs 'Fuji'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.803-809, 2005a.

BRACKMANN, A. et al. Conseqüência da umidade relativa durante o armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada na qualidade da maçã 'Gala'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.1197-1200, 2005b.



BRACKMANN, A. et al. Temperatura, umidade relativa e atraso na instalação da atmosfera controlada no armazenamento de maçã 'Fuji'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2367-2372, Nov, 2009.

BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M.; CERETTA, M. Pré-resfriamento e absorção de etileno durante o armazenamento de pêssegos cv. Chiripá. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.26, 2001.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C.A.; WACLAWOVSKY, A.J. Influencia da época de colheita e do armazenamento em atmosfera controlada na qualidade da maçã Braeburn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.295-301, 2002b.

BRACKMANN, A. et al. Efeito da umidade relativa e momento da instalação da atmosfera controlada sobre a qualidade da maçã 'Fuji'. **Revista Brasileira Agrociência**, v.8, n.2, p.145-148, 2002a.

BRACKMANN, A. et al. Pré-resfriamento sobre a qualidade de pêssegos 'Chiripá'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2354-2360, 2009b.

BRACKMANN, A; BORTOLUZZI, G.; BORTOLUZZI, L. controle da degenerescência da polpa da maçã fuji com concentrações dinâmicas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> e redução da umidade relativa durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.3, 1999.

BRACKMANN, A; MAZARO, S.M.; BORTOLUZZI, G.. Qualidade da maçã "Fuji" sob condições de atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n. 2, 1995.

BRON, I.U.; JACOMINO, A.P.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Alterações anatômicas e físico-químicas associadas ao armazenamento refrigerado de pêssegos 'Aurora-1' e 'Dourado-2'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1349-1358, 2002.

BRUMMEL, D.A. et al. Cell wall metabolism during the development of chilling injury in cold-storage peach fruit: association of mealiness with arrested disassembly of cell wall pectins. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2041-2052, 2004.

BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropene-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. **Plant Physiology**, v. 80, p. 539-543, 1986.

BURG, S. P. **Postharvest Physiology and Hypobaric Storage of Fresh Produce**. London: British library, 670p. 2004.

CALBO, A. G. NERY, A.A. HERRMANN, P.S. de P. Intercellular deformation in compressed organs. **Annals of Botany**, v. 76, p. 365-370. 1995.

CERETTA, M. **Tolerância de maçã 'Gala' e 'Fuji' a baixas temperaturas e extremas pressões parciais de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> durante o armazenamento em atmosfera controlada**. 2003. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manejo**. 2. ed. Lavras : UFLA, 2005. 785 p.

CORRÊA, T.R. et al. Manejo do etileno em ameixas 'Letitia' armazenadas sob atmosferas controlada e modificada ativa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 723-729, 2011.

CRISOSTO, C.H. et al. Controlled delayed cooling extends peach market life. **HortTechnology**, Alexandria, v.14, n.1, p.99-104, 2004.

EBERT, A. Distúrbios Fisiológicos. In: EMPASC (ed.). **Manual da Cultura da Macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 562p. Cap. 20, p. 493-520.

FINGER, F.L. et al. Effects of water loss on respiration, ethylene production and ripening of banana fruit. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.7, n.1, p.115-118, 1995.

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

GRAN, C. D.; BEAUDRY, R. M. Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint. **Postharvest Biology and Technology**, v. 3, p. 259-267, 1993.

GRAN, C.D., BEAUDRY, R.M. Modified atmosphere packaging determination of lower oxygen limits for apple fruit using respiratory quotient and ethanol accumulation. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 6, Ithaca, New York, 1993. **Proceedings...** Ithaca, New York, 1993, v. 1, 446 p, p. 54-62.

HARDENBURG , R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington: U.S.D.A, 1986. 136p.

HARKER, F.R.; HALLETT, I.C. Physiological changes associated with development of mealiness of Apple fruit during cool storage. **HortScience**, Alexandria, v.27 n.12, p.1291-1294, 1992.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=lavourapermanente2008>. Acesso em: 29/07/2010.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, p. 99-104, 1986.

KUPFERMAN, E.M. Controlled atmosphere storage of apples. In INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 7, 1997. Davis, EUA. **Proceedings...** Davis: University of California, v.2, 308p., p.1-30,1997.

LIDSTER, P.D. Storage humidity influences fruit quality and permeability to ethane in 'McIntosh' apples stored in diverse controlled atmospheres. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v.115, n.1, p.94-96, 1990

- LITTLE, C. R., BARRAND, L. The effect of preharvest, postharvest and storage conditions on some fruits disorders. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 5, Washington, 1989. **Proceedings...** Washington: Washington State University, 1989. v.1, 515p. p. 185-192.
- LUENGO, R.F.A.; CLABO, A.G. **Armazenamento de Hortaliças**. Brasília:Embrapa Hortaliças, 2001. 242p.
- LUNARDI, R. **Suculência e solubilização de pectinas em maçãs ‘Gala’ após o armazenamento refrigerado ou atmosfera controlada**. 2003. 67p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.
- LURIE, S.; CRISOSTO, C.H. Chilling injury in peach and nectarine. **Postharvest Biology and Technology**. v.37, p.195–208, 2005.
- LYONS, J. M.; PRATT, H. K. Effect of stage os maturity and ethylene treatment on respiration and ripening of tomato fruits. **Proceedings of American Society Horticultural Science**, n. 84, p. 491-500. 1964.
- MADAIL, J.C.M.; RASEIRA, M do C.B. **Aspectos da produção e mercado do pêssego no Brasil**. Circular Técnica, nº80, Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2008.
- MAGUIRE, K.M. et al. Harvest date, cultivar, orchard and treeeffects on water vapor permanence in apples. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, n. 1, p. 100-104, 2000.
- MAHAJAN, P.V.; GOSWANI, T.K. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate of apple. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v.79, n.4, p.399-406, 2001.
- MATHOOKO, F.M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.9, p.247-264, 1996.
- NAVA, G.A.; BRACKMANN, A. Armazenamento de pêssegos (*Prunus persica* (L.) Batsch), cv. Chiripá, em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, 2002.
- NGUYEN, T.A.; VERBOVEN, P.; SCHENK, A.; NICOLA B.M. Prediction of water loss from pears (*Pyrus communis* cv.Conference) during controlled atmosphere storage as affected by relative humidity. **Journal of Food Engineering**. v.83, p.149–155, 2007.
- NOBEL, S. P. **Plant physiology physicochemical & environmental**. San Diego, Academic Press. 474p. 1999.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2001.
- PEREIRA, T. et al. Gas diffusion in „Golden“ papaya fruit at different maturity stages. **Postharvest Biology and Technology**, v. 54, p. 123-130, 2009.

- PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, p. 1-19, 2005.
- RAJAPAKSE, N. C. et al. Development of oxygen concentration gradients in flesh tissues of bulky plant organs. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, p. 793-797, 1990.
- RHODES, M.J.C. The maturation and ripening of fruits. In: THIMANN, K.V. (ed.). **Senescence in Plants**. Boca Raton: CRC Press, Florida, p.157-205, 1980.
- ROMBALDI, C.V. et al. Armazenamento de pêssegos (*Prunus persica* L.), cultivar Chiripá, em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.43-47, 2002.
- RUESS, F.; STÖSSER, R. Das Interzellularrvolumen von Apfel Früchten und seine Beziehung zur Lagerfähigkeit. **Erwerbsobstbau**, Berlin, v. 35, n. 5, p.129-133, 1993.
- SANTOS, C.A.; CASTRO, J.V.; PICOLI, A.A.; ROLIM, C.S. Uso de quitosana e embalagem plástica na conservação pós-colheita de pêssegos 'Douradão'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 088-093, 2008.
- SAQUET, A.A.; STREIF, J., BANGERTH, F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in 'Conference' pears and 'Jonagold' apples during controlled atmosphere storage. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.75, p.243-249, 2000.
- SAQUET, A.A.; STREIF, J., BANGERTH, F. Energy metabolism and membrane lipid alterations in relation to brown heart development in 'Conference' pears during delayed controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.30, p.123-132, 2003.
- SCHEER, A. Reducing the water loss of horticulturae and arable products during long term storage. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 368, p. 511-522, 1994.
- SCHOTSMANS, W. et al. The relationship between gas transport properties and the histology of apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1131-1140, 2004.
- SCHOUTEN, R. E. et al. Determination of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> permeance, internal respiration and fermentation for a batch of pears (cv. Conference). **Postharvest Biology and Technology**, v. 32, n. 3, p. 289-298, 2004.
- SCHWARTS, A. Relative humidity in cool store: measurement control and influence of discreet factors. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.368, p. 687-692, 1994.
- SEIBERT, E.; et al. Danos de frio e alterações qualitativas durante armazenagem refrigerada de pêssegos colhidos em dois estádios de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1021-1029, 2008.
- SIRIPHANICH, J.; KADER, A.A. Changes in cytoplasmic and vacuolar pH in harvested lettuce tissue as influenced by CO<sub>2</sub>. **Journal American Society of Horticultural Science**,

Alexandria, n.111, p.73-77, 1986.

SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptors level: recent development. **Physiologia Plantarum**, Lund, v.100, p. 577-582, 1997.

SITTON, J.W.; PATTERSON, M.E. effect of high-carbon dioxide and low-oxygen controlled atmosphere on postharvest decays apples. **Plant disease**, Sant paul, v.76, n.10, p.992-995, 1992.

SOLOMOS, T. Interactions between O<sub>2</sub> levels, rate of respiration and gas diffusion in 5 apple varieties. In: Blankenship, S.M. (ed.) **Controlled Atmospheres for Storage and Transport of Perishable Agricultural Commodities. Proceedings of the 4th National Controlled Atmosphere Research Conference**, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, n. 126, p. 10. 1985.

STEFFENS, C.A.; BRACKMANN, A.; PINTO, J.A.V.; EISERMANN, A.C. Escurecimento da polpa e respiração de pêssego em função das condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 12, n.1, p. 71-75, 2006.

STEFFENS, C.A.; BRACKMANN, A.; PINTO, J.A.V.; EISERMANN, A.C. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 313-321, 2007.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 4 ed., 848p., 2009.

ULRICH, R. Postharvest Physiology of fruits. **Annual review of plant physiology**, v. 9, p.385-416. 1958.

VAN DEN BERG, L.; LENTZ, C.P. **High humidity storage of vegetables and fruits**. *HortScience* v. 13, p. 565-569, 1978.

VIDRIH, R.; ZAVRTANIK, M.; HRIBAR, J. The influence of added acetaldehyde and ethanol on changes of aroma compounds in apples. **Acta Horticulturae**, v. 485, p. 383-388, 1999.

WATKINS, C. B.; BURMEISTER, D. M.; ELGAR, H. J.; et al. A comparison of two carbon dioxide-related injuries of apple fruit. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 7. **Proceedings...**, California, v. 2, p. 119-124. 1997.

WEBER, A. **Aplicação de produtos da fermentação e ultrabaixo oxigênio para conservação de maçãs 'Royal Gala'**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

WILLS, R.H.H.; LEE, T.H.; GRAHAM, D.; McGLASSON, W.B.; HALL, E.G. **Postharvest: An introduction to the Physiology and handling of fruit and vegetables**. Granada:London, 1981, 163p.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylen biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of plant physiology**, v.35, p.155-189, 1984.

YANG, S.F.; PRATT, H.K. The physiology of ethylene in wounded plant tissue. In: Kahl, G. ed. **Biochemistry of wounded plant tissues**. Berlin, Walter de Gruyter, p.595-622, 1978.

YEARSLEY, C. W. et al. Determination of lower oxygen limits for apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 8, p. 95-109, 1996.

ZHOU, H.W. et al. Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: two strategies to prevent woolliness. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.133–141, 2000.