

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

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR  
EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS E SUA RELAÇÃO  
COM A QUALIDADE DE MAÇÃS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Rogério de Oliveira Anese**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

# **DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE MAÇÃS**

**Rogério de Oliveira Anese**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado 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 obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

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

**Santa Maria RS, Brasil  
2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Anese, Rogerio de Oliveira  
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM CÂMARAS  
FRIGORÍFICAS E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE MAÇÃS /  
Rogerio de Oliveira Anese.-2014.  
68 p.; 30cm

Orientador: Auri Brackmann  
Coorientador: Evandro Zanini Righi  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. Armazenamento 2. Distúrbios fisiológicos 3. Malus  
domestica 4. Difusão 5. Qualidade I. Brackmann, Auri II.  
Zanini Righi, Evandro III. Título.

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM CÂMARAS  
FRIGORÍFICAS E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE MAÇÃS**

elaborada por  
**Rogério de Oliveira Anese**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

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

---

**Evandro Zanini Righi**  
**Prof. Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2014.

*"Se você planeja ser qualquer coisa menos do que aquilo que você é capaz, provavelmente você será infeliz todos os dias de sua vida." (Abraham Maslow).*

Aos meus pais,

**Evani e Oneide Anesi**

E à minha amada

**Juliana Ribas,**

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela luz que me ilumina.

À minha noiva Juliana pelo amor, compreensão e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus pais, Oneide e Evani, pela educação, amor, exemplo e entusiasmo para seguir em frente.

Ao meu querido irmão Daniel pela amizade e apoio.

Ao professor Dr. Auri pela orientação na pós-graduação e por ensinamentos importantes para a formação profissional.

Aos colegas e ex-colegas do Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita: Anderson, Josuel, Vanderlei, Elizandra, Márcio, Fábio, Adriano, Wanderlei, Erani, Vagner, Eduardo, Altair, Liniker, Diego e Deiverson, que contribuíram na realização deste e em outros trabalhos, pela troca de experiências e parceria.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia por me ofertarem ensino de graduação e pós-graduação.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica e de mestrado.

À Agropecuária Schio Ltda., ao Thiago Venturini e ao Jorge Santos por colaborarem na realização de parte deste trabalho.

A todos os amigos e familiares que me ajudaram antes e durante minha formação profissional.

**AGRADEÇO.**

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE MAÇÃS**

AUTOR: Rogerio de Oliveira Anese  
ORIENTADOR: Auri Brackmann  
Santa Maria, 20 de fevereiro de 2014

Diante das dificuldades de determinação precisa da umidade relativa em câmaras de armazenamento de maçãs, este trabalho teve como objetivo calibrar o evaporímetro ventilado, equipamento para quantificar a evaporação de água que ocorre em função da umidade relativa e temperatura, além de avaliar se a perda de massa aumenta a difusão de gases e contribui para manutenção da qualidade de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' e possibilita a utilização de pressão parcial de CO<sub>2</sub> mais elevada em atmosfera controlada. O trabalho também objetivou avaliar se existe diferença de níveis de perda de massa em diferentes posições de uma câmara comercial de armazenamento de maçãs. Para isso foram realizados quatro experimentos: no primeiro buscou-se calibrar o evaporímetro ventilado nos níveis de UR de 85, 90, 95 e 100% na temperatura de 1°C. No segundo experimento os tratamentos constituíram-se de período e nível de perda de massa (1 ou 3%) em maçã 'Royal Gala' em atmosfera controlada na temperatura de 1°C. No terceiro experimento, com maçãs 'Galaxy', os tratamentos foram com pressão parcial de CO<sub>2</sub> (3,0 kPa) e O<sub>2</sub> (0,4 kPa) associado com 3% de perda de massa, além de dois tratamentos com Quociente Respiratório (QR) de 1,5, todos em 1°C. Num quarto experimento, os tratamentos foram amostras de maçãs expostas em diferentes posições de uma câmara comercial para avaliar a perda de massa. Por meio da calibração do evaporímetro foi possível, através da determinação da evaporação diária de água, obter um valor de evaporação médio, em cm dia<sup>-1</sup>, para temperatura de 1°C em diferentes umidades relativas. A perda de massa, tanto inicial quanto linear durante o período de armazenamento, aumentou a difusão de gases na polpa de maçã 'Royal Gala', reduziu rachadura, degenerescência e polpa farinácea. Em maçã 'Galaxy' a perda de massa também aumentou a difusão de gases, o que possibilitou a utilização de 3,0 kPa de CO<sub>2</sub>, entretanto, com QR 1,5 o alto CO<sub>2</sub> não pôde ser utilizado. A perda de massa ocorreu de forma heterogênea na câmara comercial de armazenamento, sendo mais elevada na parte inferior e na frente da câmara.

Palavras-chave: perda de massa; difusão de gases; armazenamento; pós-colheita.



## **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **DETERMINATION OF RELATIVE HUMIDITY IN STORAGE ROOM AND ITS RELATION TO THE QUALITY OF APPLE**

**AUTHOR:** Rogerio de Oliveira Anese

**ADVISOR:** Auri Brackmann

Santa Maria, February 20<sup>th</sup>, 2014

Given the difficulties of determining the relative humidity (RH) in rooms used for the storage of apples accurately, the aim of this study was to calibrate the ventilated evaporimeter, an instrument used to measure the water evaporation that occurs due to the relative humidity and temperature, as well as evaluating if the mass loss improves gas diffusion and contributes to the quality maintenance of 'Royal Gala' and 'Galaxy' apples during storage and enables the use of a high CO<sub>2</sub> partial pressure. This work also aimed to evaluate if there are any differences in the levels of mass loss between apples that were placed in distinct positions in the controlled atmosphere storage room. In order to do this, four experiments were performed: the first aimed to calibrate the ventilated evaporimeter in 85, 90, 95 and 100% of RH at a temperature of 1°C. In the second experiment, the treatments were consisted by the period and level of mass loss (1 or 3%) in 'Royal Gala' apple stored in controlled atmosphere at a temperature of 1°C. For the third experiment, carried out with 'Galaxy' apple, treatments were conducted with a high CO<sub>2</sub> (3.0 kPa) and a low O<sub>2</sub> (0.4 kPa) partial pressure associated with 3% of mass loss, aside from two treatments with a respiratory quotient (RQ) of 1.5, at 1°C. For the fourth experiment, apple samples were placed in different positions in a commercial apple storage room in order to evaluate the mass loss. It was possible to obtain an average value of evaporation, in cm day<sup>-1</sup>, at a temperature of 1°C, in different relative humidities through the calibration of the evaporimeter and the daily determination of water evaporation. The mass loss, both initial and linear, during the storage period, improved gas diffusion in the pulp of 'Royal Gala' apple and reduced cracking, flesh breakdown and mealiness. The mass loss in 'Galaxy' apple also improved the gas diffusion, which enabled the use of 3.0 kPa of CO<sub>2</sub>, however, with an RQ 1.5, a high CO<sub>2</sub> partial pressure cannot be used. Mass loss occurred heterogeneously in the commercial storage room, being higher at the bottom and on the front of the storage room.

**Key-words:** mass loss; gas diffusion; storage; post-harvest.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos do experimento II. ....	28
Tabela 2 - Tratamentos do experimento III. ....	33
Tabela 3 - Relação dos tratamentos e definição dos contrastes pelo método de Scheffé com os seus respectivos coeficientes, para maçãs ‘Royal Gala’ em diferentes posições da câmara comercial, armazenadas em atmosfera controlada dinâmica a 1°C durante oito meses. Vacaria, RS, 2012. ....	37
Tabela 4 - Correlação de <i>Pearson</i> entre as variáveis de maçã ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC com perda de massa na temperatura de 1°C. ....	42
Tabela 5 – Difusão de gases, espaço intercelular e concentração interna de etileno (CIE) de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013. ....	48
Tabela 6– Rachadura, polpa farinácea, podridão e frutos sadios após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa em maçã ‘Galaxy’. Santa Maria, 2013. ....	49
Tabela 7– Degenerescência, concentração interna de CO <sub>2</sub> (CICO <sub>2</sub> ) e CO <sub>2</sub> na célula de maçã ‘Galaxy’ após dois e nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013. ....	51
Tabela 8– Suculência, firmeza, sólidos solúveis e acidez de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013. ....	52
Tabela 9 – Etanol, permeabilidade da membrana e ACC oxidase de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013. ....	53
Tabela 10 – Produção de etileno e respiração de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO <sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013. ....	54
Tabela 11 - Perda de massa, firmeza, degenerescência e polpa farinácea de maçã ‘Royal Gala’ em diferentes posições de uma câmara de armazenamento comercial, armazenadas em atmosfera controlada dinâmica a 1,0°C durante oito meses. Vacaria, RS, 2012. ....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evaporímetro ventilado desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da UFSM. ....	27
Figura 2 - Aparelho para medir difusão de gases em frutos. ....	30
Figura 3 – Curva e equação para determinação da umidade relativa em função da evaporação de água no evaporímetro ventilado para temperatura de 1°C. Santa Maria, RS, 2012. ....	38
Figura 4 – Difusão (A), espaço intercelular (B), concentração interna de etileno (CIE) (C) e CO <sub>2</sub> (CICO <sub>2</sub> ) (D), degenerescência (E) e polpa farinácea (F) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetidas à indução da perda de massa na temperatura de 1°C. ....	41
Figura 5 – Podridões (A), rachadura (B), frutos sadios (C), suculência (D), sólidos solúveis (E) e acidez (F) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetida à com perda de massa na temperatura de 1°C. ....	44
Figura 6 – Firmeza (A), ACC oxidase (B), produção de etileno (C) e respiração (D) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetida à indução da perda de massa na temperatura de 1°C. ....	46
Figura 7 - Evaporação média semanal pelo evaporímetro ventilado em câmara frigorífica de armazenamento comercial com capacidade para 800 t de maçã. Vacaria, RS, 2012. ....	57

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Hipóteses .....	14
1.2 Objetivos.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	15
2.1 Armazenamento de maçãs .....	15
2.2 Umidade relativa no armazenamento de maçã .....	17
2.3 Mensuração da umidade relativa em câmaras frigoríficas .....	18
2.4 Perda de massa em maçã .....	20
2.4.1 Difusão de gases na polpa .....	22
2.5 Perda de massa em diferentes posições na câmara frigorífica.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1 Experimento I - Calibração do evaporímetro ventilado .....	26
3.2 Experimento II - Perda de massa em maçãs ‘Royal Gala’ durante o armazenamento em atmosfera controlada.....	28
3.2.1 Instalação e controle das condições de armazenamento.....	28
3.2.2 Indução da perda de massa .....	28
3.2.3 Variáveis analisadas .....	29
3.2.4 Análise estatística .....	29
3.3 Experimento III - Perda de massa em maçãs ‘Galaxy’ com utilização de pressão parcial de CO <sub>2</sub> elevada durante o armazenamento.....	33
3.3.1 Instalação e controle das condições de armazenamento.....	33
3.3.2 Indução da perda de massa .....	34
3.3.3 Variáveis analisadas .....	34
3.3.4 Análise estatística .....	35
3.4 Experimento IV – Perda de massa em diferentes posições de uma câmara comercial .....	35
3.4.1 Variáveis analisadas .....	36
3.4.2 Tratamentos e análise estatística .....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Experimento I - Calibração do evaporímetro ventilado .....	37
4.1.1 Considerações finais do experimento I.....	39
4.2 Experimento II - Difusão de gases na polpa em função da perda de massa em maçãs ‘Royal Gala’ .....	39
4.2.1 Considerações finais do experimento II .....	47

4.3 Experimento III - Perda de massa possibilita utilizar CO <sub>2</sub> mais elevado durante o armazenamento de maçã 'Galaxy' em atmosfera controlada .....	47
4.3.1 Considerações finais do experimento III .....	55
4.4 Experimento IV - Perda de massa em diferentes posições de uma câmara comercial .....	55
4.4.1 Considerações finais do experimento IV .....	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## 1. INTRODUÇÃO

O armazenamento de maçãs é prática imprescindível para regular a oferta ao mercado e reduzir perdas na fase pós-colheita. Na última safra, a produção nacional foi de 1,3 milhões de toneladas (IBGE, 2012). Deste volume, cerca de 65% foi armazenado sob refrigeração convencional e atmosfera controlada (MAIA et al., 2010). As principais cultivares produzidas são as mutantes da ‘Gala’, como a ‘Royal Gala’, ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’ e ‘Maxi Gala’, devido a maior aceitação pelo mercado consumidor em função da excelente característica de sabor, suculência e coloração. No Rio Grande do Sul, as mutantes da ‘Gala’ representaram 64% da produção de maçãs (AGAPOMI, 2013).

Para manter os frutos com qualidade, é necessário que condições de armazenamento, como temperatura, umidade relativa (UR), pressões parcial de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, sejam mantidas em níveis adequados para cada espécie e cultivar de fruta. Neste sentido, um dos principais problemas do armazenamento é a determinação precisa da UR em câmaras comerciais, com os equipamentos disponíveis no mercado. A UR não pode ser muito baixa, pois pode causar murchamento, nem tão elevada, pois pode favorecer o desenvolvimento de rachaduras, podridões e distúrbios fisiológicos, como degenerescência da polpa e polpa farinácea (PORRIT; MEHERIUK, 1973; SCHWARZ, 1994; TU et al., 2000). Além disso, influencia a perda de massa, firmeza da polpa, sólidos solúveis, respiração, produção de etileno e atividade da enzima ACC oxidase (TU et al., 2000; PINTO et al., 2012).

O problema não se restringe somente à dificuldade de mensuração precisa da UR, mas também ao fato do nível de UR isolado não ter muito significado no que diz respeito à desidratação de frutas, pois a desidratação está associada ao déficit de pressão de vapor, o qual aumenta com o aumento da temperatura (THOMPSON, 2002). Desta forma, a quantificação da perda de massa, que ocorre em função do efeito da UR e temperatura, poderá contribuir para um melhor manejo da umidificação da câmara.

Portanto, há a necessidade de equipamento que expresse um valor de evaporação de água, o qual esteja associado à UR e temperatura e transmita informações sobre o potencial de transpiração dos frutos, para que o manejo da UR em câmaras comerciais de armazenamento seja executado de forma a reduzir perdas de frutos por problemas associados a ela. O Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria (NPP/UFSM) desenvolveu um equipamento chamado evaporímetro ventilado, que possibilita o registro da

evaporação de água em função da UR e temperatura do ar, entretanto há necessidade de uma calibração do equipamento na condição em que são armazenadas as maçãs mutantes da ‘Gala’. Além disso, é importante avaliar a influência da indução da perda de massa dos frutos, no período inicial ou durante todo o período de armazenamento, no aumento na difusão de gases. Isso poderia possibilitar o uso de pressão parcial de CO<sub>2</sub> acima do recomendado para o armazenamento, e baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> durante o armazenamento em atmosfera controlada e atmosfera controlada dinâmica. E ainda, se a perda de massa ocorre de forma heterogênea na câmara de armazenamento comercial de maçã, devido a haver um padrão desuniforme de circulação de ar dentro da câmara (HELLICKSON; BASKINS, 2003; DELETE et al., 2009a).

### **1.1 Hipóteses**

As hipóteses deste trabalho são:

- (1) O evaporímetro ventilado pode ser utilizado para monitorar a umidade relativa e manejar a umidificação da câmara de armazenamento;
- (2) A indução da perda de massa pela redução na umidade do ar aumenta a difusão de gases na polpa de maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Galaxy’;
- (3) A indução de perda de massa somente no início do período de armazenamento em atmosfera controlada (AC) é eficiente para manter a qualidade e reduzir distúrbios fisiológicos de maçãs;
- (4) A perda de massa permite utilizar pressões parciais de CO<sub>2</sub> mais elevadas e de O<sub>2</sub> mais reduzidas durante o armazenamento em AC;
- (5) A perda de massa ocorre de forma heterogênea entre diferentes posições da câmara comercial.

### **1.2 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho foram:

- (1) Calibrar o evaporímetro ventilado na temperatura de 1°C em diferentes níveis de umidade relativa;
- (2) Avaliar se a indução da perda de massa aumenta a difusão de gases na polpa de maçãs ‘Royal Gala’ e ‘Galaxy’ e se contribuiu para manutenção da qualidade e redução da ocorrência de distúrbios fisiológicos;

(3) Avaliar se a perda de massa somente no período inicial de armazenamento é suficiente para manter a qualidade da maçã e se permite utilizar pressões parciais de CO<sub>2</sub> mais elevadas durante o armazenamento em AC;

(4) Avaliar a perda de massa dos frutos em diferentes posições no interior de uma câmara comercial de armazenamento de maçãs.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Armazenamento de maçãs

O amadurecimento é uma fase do ciclo de desenvolvimento do fruto que representa a transição para a senescência, sendo imprescindível retardar este processo quando se deseja conservá-lo por longos períodos. Com o avanço no amadurecimento ocorre o envelhecimento das células e aumento na ocorrência de desordens fisiológicas e podridões (HO et al., 2010a), com redução da qualidade.

Algumas técnicas são utilizadas para prolongar a vida pós-colheita de maçãs, como a baixa temperatura, atmosfera controlada, inibidores da síntese ou ação do etileno, aumento da umidade relativa, entre outras (BRACKMANN et al., 2009a e 2009b; WRIGHT et al., 2012). No entanto, ainda ocorrem perdas que podem atingir, em determinados anos, 35% do volume total, tendo como principais causas a ocorrência de desordens fisiológicas, podridões e amadurecimento avançado (CURRENT et al., 2009; ANTONIOLLI et al., 2011). Estas perdas podem ser reflexos da falta de utilização de tecnologias apropriadas na pós-colheita (NETO et al., 2006). Além disso, as perdas em função da umidade relativa (podridões, excesso de perda de massa e distúrbios fisiológicos) podem ser devido à falta de tecnologia apropriada para medição e manejo da umidade relativa em câmaras frigoríficas.

Um dos métodos para conservação de frutas *in natura* é o armazenamento refrigerado, o qual combina redução da temperatura e controle da UR. O manejo da temperatura é o fator mais importante que mantém a qualidade dos frutos (EKMAN et al., 2005), pois com redução da temperatura também ocorre redução na velocidade das reações bioquímicas no fruto, como respiração, transpiração e produção de etileno, as quais são responsáveis pela maturação e senescência. Outra técnica de armazenamento, complementar ao armazenamento refrigerado, amplamente utilizada em maçãs é a atmosfera controlada (AC), na qual, além do manejo da



temperatura e UR, se reduz a pressão parcial de O<sub>2</sub> e aumenta a de CO<sub>2</sub> (CORRÊA et al., 2010). Uma nova forma para o controle do O<sub>2</sub> na câmara de armazenamento está sendo utilizada, a atmosfera controlada dinâmica (ACD) (WRIGHT et al., 2012).

Na ACD a concentração de O<sub>2</sub> varia durante o armazenamento em função do limite mínimo deste gás tolerado pelo fruto, o que reduz a ocorrência de distúrbios fisiológicos e mantém a qualidade dos frutos (PRANGE et al., 2003; ZANELLA et al., 2005; WRIGHT et al., 2012). Os métodos para determinar o limite mínimo de O<sub>2</sub> são: a quantificação do nível de etanol no fruto (VELTMANN et al., 2003), monitoramento da fluorescência da clorofila (PRANGE et al., 2007) e mais recentemente a determinação através do quociente respiratório (QR) (BRACKMANN et al., 2013). O QR é a razão entre a produção de CO<sub>2</sub> e o consumo de O<sub>2</sub> na respiração (BOERSIG et al., 1988). Esta metodologia está sendo testada em nível comercial no Brasil (BRACKMANN et al., 2013), cujo objetivo é detectar a pressão parcial de O<sub>2</sub> no qual ocorre um aumento no QR, o qual é em função do aumento na produção de CO<sub>2</sub> oriundo da fermentação. Posteriormente, a pressão parcial de O<sub>2</sub> é aumentada a fim de manter o valor de QR previamente estabelecido, mantendo o mínimo de fermentação, sem causar danos aos frutos.

Em função do fruto apresentar resistência à difusão dos gases, ocorre a formação de um gradiente entre a atmosfera da câmara e a atmosfera interna do fruto, e dentro do fruto (VERBOVEN et al., 2008). A utilização de baixas pressões parciais de O<sub>2</sub> e elevadas de CO<sub>2</sub> durante o armazenamento em AC e ACD, onde o O<sub>2</sub> varia entre 0,1 a 0,4 kPa na ACD (GASSER et al., 2010), a magnitude desse gradiente é maior. Isso eleva o risco da ocorrência de acúmulo e redução excessiva de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, respectivamente, o que pode causar distúrbios e perda de qualidade dos frutos (FRANCK et al., 2007; HO et al., 2013). Para reduzir o gradiente de gases, uma possível maneira seria aumentar a difusão, através da redução da umidade dos espaços intercelulares do fruto e, com isso, liberar espaços para troca de gases. Portanto, haveria menor resistência do fruto à troca de gases. Resultados indicam que a alta umidade relativa da câmara causa aumento da degenerescência da polpa (LIDSTER, 1990; BRACKMANN; BORTOLUZZI, 1996; BRACKMANN et al., 1999 e 2007), possivelmente pelo acúmulo de CO<sub>2</sub> no fruto, já que o excessivo acúmulo de CO<sub>2</sub> na polpa causa a ocorrência este distúrbio (FRANCK et al., 2007).

## 2.2 Umidade relativa no armazenamento de maçã

A umidade relativa é a razão entre a quantidade atual de vapor de água num determinado volume de ar pela quantidade máxima de vapor que este volume poderia conter na mesma temperatura (THOMPSON, 2010). Por exemplo, quando o ar está com 50% de UR, quer dizer que contém metade da massa de vapor de água da sua capacidade total. Esta capacidade do ar em conter vapor de água aumenta conforme aumenta a temperatura do ar (THOMPSON, 2010). Por exemplo, a saturação do ar a 0°C é atingida com uma massa de vapor de água de 4,84 g m<sup>-3</sup> de ar, já em 5°C essa massa aumenta para 6,80 g m<sup>-3</sup>, isto demonstra que somente o valor de UR não é o mais adequado para manejo da UR.

A UR ideal para o armazenamento de frutos não deve ser excessivamente alta, a ponto de causar distúrbios fisiológicos e podridões, nem muito baixa, pois pode causar elevada perda de massa com murchamento do fruto, o que deprecia a qualidade visual e reduz a massa final de frutos para comercialização (SCHWARZ, 1994; VERAVERBEKE et al., 2003a; BRACKMANN et al., 2005). Além disso, a perda de massa excessiva pode causar estresse hídrico e acelerar a síntese de etileno e degradação de membranas celulares, acelerando o amadurecimento e a senescência (BEN-YEHOSHUA, 1987).

A utilização da baixa UR (90%) em maçãs ‘Gala’ durante o armazenamento refrigerado e em AC foi eficiente na redução de podridões e rachadura na polpa, entretanto causou desidratação e amarelecimento nos frutos (BRACKMANN et al., 2005). Estes autores reportam que a UR não afetou a ocorrência de degenerescência senescente, firmeza da polpa, acidez e sólidos solúveis. Lunardi et al. (2004) encontraram que a UR na faixa de 90 a 96%, não afeta a suculência, firmeza de polpa, conteúdo de pectina solúvel e a atividade da pectinametilesterase (PME) da maçã ‘Gala’ armazenadas em AC. Afirmam ainda que na UR de 90% a atividade da enzima poligalacturonase (PG) é maior, porém, também não altera a suculência dos frutos. Entretanto, Kader (1986) reporta que a perda de massa de até 5%, induz o aumento da atividade da PG, estimula a produção de CO<sub>2</sub>, etileno e acelera o amadurecimento. Em outro trabalho, a alta UR resultou em frutos com maior firmeza, no entanto, aumentou a incidência de degenerescência em maçã ‘McIntosh’, sendo a UR de 89 a 94% a melhor para os armazenamento desta cultivar (LIDSTER, 1990).

A umidade relativa, juntamente com a temperatura durante o armazenamento exerce influência na desidratação de frutos e, conseqüentemente, causam a perda de massa (VERAVERBEKE et al., 2003a). O valor de UR utilizado isoladamente como forma de manejar a umidificação da câmara frigorífica não tem muito significado no que se refere à

desidratação de frutas (THOMPSON, 2002). Desta forma, a quantificação da perda de massa, resultado do efeito da UR e temperatura, possibilitaria um melhor manejo da umidificação.

### **2.3 Mensuração da umidade relativa em câmaras frigoríficas**

A mensuração da UR em câmaras comerciais de armazenamento de frutos muitas vezes não é realizada ou é feita com equipamentos pouco precisos. Há basicamente dois aspectos que dificultam a medição precisa da UR em câmaras frigoríficas, um referente a equipamentos e outro à rápida variação do valor de UR num curto período de tempo. Isso contribui para que a UR em muitas câmaras de armazenamento não seja controlada (NGCOBO et al., 2013). O controle da umidade relativa implica primeiramente em mensurar com precisão satisfatória (SCHWARZ, 1994).

A mensuração precisa da UR em baixas temperaturas é difícil com os equipamentos disponíveis no mercado. Os sensores têm dificuldade de mensurar com acurácia variações numa magnitude de 1% de UR a 0°C, o que representa variação em torno de 5 mg de água por metro cúbico de ar (SCHWARZ, 1994). Além disso, há grande variação na pressão de vapor de água durante curto período de tempo, o que contribui para uma determinação de UR imprecisa e não representativa de um maior período.

O nível de UR isolado não tem muito significado no que diz respeito à desidratação, este deve estar associado à temperatura de armazenamento, pois a transpiração está relacionada ao déficit de pressão de vapor, que é estritamente influenciado pela temperatura. Por exemplo, 80% de UR a 0°C ( $e = 0,61$  kPa) é diferente de 80% de UR a 20°C ( $e = 2,34$  kPa) no que diz respeito à transpiração, devido ao déficit de pressão de vapor ser maior na temperatura de 20°C (PAULL 1999; THOMPSON, 2002). Outra evidencia de que o valor de UR isolado não é a maneira mais eficiente para o seu manejo é apresentado por Bryant (2012), que reporta que a corrente de ar dentro da câmara tem potencial para aumentar a taxa de perda de água no mínimo sete vezes em lichia, na mesma UR. Isso se deve ao fato do movimento do ar desfazer o gradiente de umidade da região próxima a epiderme.

Existem vários equipamentos com diferentes princípios para medição da UR, como higrômetros mecânicos, medidores de impedância elétrica, eletrolítico e psicrômetro de bulbo seco e molhado, entre outros (DIAS, 2001). Higrômetros mecânicos que utilizam fio de cabelo possuem resposta lenta à variação da UR e também não são precisos em valores elevados de umidade relativa e baixa temperatura (SCHWARZ, 1994). Medidores de impedância elétrica também são utilizados, no entanto não toleram a condensação de água no

sensor. Os sensores eletrolíticos são utilizados para medir baixos níveis de umidade (DIAS, 2001).

O psicrômetro é o equipamento mais confiável, o qual é constituído por dois termômetros, sendo que um é coberto por uma mecha (barbante) molhado com água. Porém é impreciso para medir altos níveis de UR, pela pequena diferença psicrométrica, que em 99% de UR a diferença é de  $0,13^{\circ}\text{C}$  entre o bulbo seco e o molhado a  $25^{\circ}\text{C}$  (MONTEITH; OWEN, 1958). Em temperaturas próximas de  $0^{\circ}\text{C}$ , uma diferença psicrométrica de apenas  $0,2^{\circ}\text{C}$  corresponde à variação de 4% no valor de UR. Portanto, pequena alteração na temperatura do bulbo seco acarretará em alteração no valor de UR, sem variar o conteúdo de água no ar. Hoang et al. (2004) reportam que a maioria dos sensores são precisos para 2% de UR. Em câmaras frigoríficas a mensuração com o psicrômetro é ainda mais dificultada visto à necessidade de abrir a porta da câmara para fazer a determinação. Além disso, a temperatura atinge o ponto de orvalho com frequência, o que causa condensação de água no bulbo seco, conduzindo a erros na terminação da UR. Equipamentos eletrônicos que utilizam o princípio psicrométrico, em condições de saturação do bulbo seco, se descalibram e entram frequentemente em estado de alarme. Alguns defeitos do psicrômetro são: dificuldade de medição em temperatura próxima de  $0^{\circ}\text{C}$ , devido ao congelamento da mecha pela oscilação de temperatura; exige habilidade para seu uso e manutenção; e impurezas na água ou no ar podem contaminar a mecha, exigindo limpezas e trocas regulares (DIAS, 2001).

Fatores inerentes a mudanças na pressão parcial de vapor de água e variação da temperatura da câmara provocam grande oscilação na UR durante um curto período de tempo, como é o caso do degelo do evaporador, o acionamento dos evaporadores (PAULL, 1999) ou do sistema de umidificação. Estes fatores fazem com que o valor de UR, que é determinado diariamente, não represente a UR e um maior período de tempo e sim daquele instante, podendo variar de 85% até 100% num período de 30 minutos (ANESE et al., 2012).

O degelo do evaporador, que em determinadas situações é realizado até quatro vezes por dia, aumenta a temperatura da câmara e a mantém mais elevada até que o sistema de refrigeração retire o calor fornecido pelo degelo, deste modo, causa redução na UR pelo aumento do déficit de pressão de vapor. Com acionamento dos evaporadores, devido à diferença de temperatura entre o ar da câmara e a temperatura do evaporador ocorre condensação de água na serpentina do evaporador (PAULL, 1999), o que também altera a UR da câmara. Outro fator que interfere é o acionamento do sistema de umidificação, que aumenta a UR, podendo saturar o ar da câmara momentaneamente. Como a tomada de

decisão em alterar o período e/ou frequência de umidificação da câmara tem como base a UR, incorre-se no erro de alterar baseado em valores pouco precisos.

Linke et al. (2008) reportam que não existe uma ferramenta simples para medir a perda por transpiração, a qual depende predominantemente da diferença de pressão de vapor entre o produto e o ambiente. Desta forma, a utilização do evaporímetro ventilado, desenvolvido pelo NPP/UFSM, seria uma forma de reduzir os problemas associados à medição da UR. Este equipamento se baseia no princípio da evaporação da água, a qual ocorre em função da UR e temperatura, e tem relação direta com o potencial de transpiração e perda de massa dos produtos armazenados. Para a utilização do evaporímetro ventilado em nível comercial, há necessidade de calibrá-lo em diferentes níveis de umidade relativa na temperatura de 1°C, a qual é a mais recomendada e utilizada comercialmente para o armazenamento de maçãs mutantes da 'Gala' (WEBER et al., 2013).

## **2.4 Perda de massa em maçã**

Em função da dificuldade da quantificação precisa da umidade relativa (UR) com os equipamentos existentes, uma das possibilidades é induzir e quantificar a perda de massa dos frutos durante o armazenamento, uma vez que a indução da perda de massa, através da baixa UR, apresentou resultados positivos na conservação da qualidade de maçãs (SCOTT; ROBERTS 1968; BRACKMANN et al., 2007; WEBER et al., 2013). Com a perda de massa, provavelmente ocorre a perda de umidade dos espaços intercelulares e a difusão dos gases entre os espaços intercelulares do fruto e o ambiente da câmara aumente, reduzindo a ocorrência de distúrbios fisiológicos, pois a demasiada redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> ou excessivo aumento do CO<sub>2</sub> no interior do fruto causam distúrbios fisiológicos (LARRIGAUDIÈRE et al., 2001; SAQUET; STREIF, 2008; CASTRO et al., 2008; HERREMANS et al., 2013).

A perda de massa ocorre em função da transpiração e respiração, sendo a magnitude de cada uma dependente da umidade relativa e temperatura. Uma UR em torno de 95% e temperatura de 0°C, cerca de 20% da perda de massa que ocorre é devido à respiração, o restante pela transpiração (MAGUIRE et al., 2000). A transpiração, que é a perda de água dos tecidos para a atmosfera, ocorre por estruturas como estômatos, lenticelas, cutícula, pedúnculo e região de inserção do pedúnculo (MONTERO et al., 2010; TURKETTI et al., 2012). Maguire et al. (1999) encontraram que micro rachaduras na cutícula aumentam a permeabilidade ao vapor de água. As rachaduras na cutícula aumentam em largura durante o

armazenamento, sendo uma característica importante na pós-colheita, pois propiciam maior perda de água e podem favorecer a penetração de patógenos (MONTERO et al., 2010). Também ocorrem alterações nas propriedades da cera da cutícula e na sua composição química durante o armazenamento (VERAVERBEKE et al., 2001a). Alterações na estrutura da cera e morfologia da célula são, provavelmente, proteção contra perda de água durante o armazenamento e período de *shelf life* (VERAVERBEKE et al., 2001b). As lenticelas quando abertas levam a maior perda de massa, comparado com as mesmas fechadas (VERAVERBEKE et al., 2003a). A transpiração envolve três fases: (1) o movimento da água na forma líquida e vapor dos espaços intercelulares para a cutícula; (2) a solubilização e difusão de moléculas de água dentro e através da membrana cuticular; e (3) evaporação da água da superfície externa do fruto (VERAVERBEKE et al., 2003b). O movimento de água envolve ainda difusão capilar e osmose (NGUYEN et al., 2006). A força motriz da difusão de água, que resulta na perda de massa, é a diferença de potencial ou concentração de vapor entre a atmosfera da câmara e atmosfera interna do fruto, sendo que a taxa de difusão é dependente da força motriz das moléculas e das propriedades da membrana (VERAVERBEKE et al., 2003b). Estes autores também afirmam que os estômatos em frutos, diferentemente de outras estruturas vegetais, tem pequena contribuição na perda de água em maçãs, e que as lenticelas e rachaduras na cutícula são os caminhos mais importantes no movimento da água.

A velocidade com que ocorre a perda de água diária e, conseqüentemente, a perda de massa é diferente entre espécies, sendo maior em maçã, seguido de uva, tangor ‘Murcott’, goiaba e pêssago (PINTO, 2012), além disso, há variação na permeabilidade ao vapor de água entre frutos da mesma espécie (MAGUIRE et al., 2000). O coeficiente de difusão de água é ligeiramente maior em peras colhidas tardiamente comparado com frutos colhidos antes do ponto de maturação comercial (NGUYEN et al., 2006). Maguire et al. (2000) também encontraram maior permeabilidade ao vapor de água em maçã ‘Braeburn’ colhida tardiamente, sendo que estas são mais suscetíveis ao murchamento do que as colhidas antes da maturação comercial. Outro fator que interfere na difusão de água é a temperatura, a qual pode dobrar a difusão na cutícula e aumentar na proporção de 3,6 a 9,6 no córtex com o aumento de 1°C para 20°C (NGUYEN et al., 2006).

Scott; Roberts (1968) encontraram que a perda de massa de 1% em resposta à baixa UR foi suficiente para reduzir a incidência de degenerescência em maçã ‘Jonathan’. Estes autores recomendam 4% de perda de massa para controlar a degenerescência, sem causar murchamento, o qual é perceptível a partir de 5% de perda de massa em maçãs (HATFIELD; KNEE, 1988). Weber et al. (2013) afirmam que 3,5% de perda de massa pode ser uma

alternativa para melhorar a conservação da maçã ‘Maxi Gala’, pois proporcionou maior firmeza e menor respiração e produção de etileno. Maçãs ‘Royal Gala’ armazenadas com perda de massa, entre 1,6% e 3,2% durante o armazenamento prolongado em atmosfera controlada, reduziu a ocorrência de podridões, de degenerescência senescente e de polpa farinácea, sem causar murchamento nos frutos (BRACKMANN et al., 2007). Pinto (2012) encontrou menor degenerescência em maçã ‘Royal Gala’ com 4% de perda de massa quando utilizou alto CO<sub>2</sub> e baixo O<sub>2</sub>. A perda de massa aumenta a coesão entre as células e a compressibilidade das células, o que reduz a ocorrência de polpa farinácea ou favorece a menor percepção deste distúrbio (HATFIELD; KNEE, 1988).

A indução da perda de massa durante o período inicial de armazenamento para maçãs ‘Gala’ e mutantes foi pouco estudada, uma vez que a sensibilidade dos tecidos ao alto CO<sub>2</sub> e baixo O<sub>2</sub> é maior no início do que no final do período de armazenamento (BRACKMANN et al., 1999). Em maçã ‘Gala’, o baixo O<sub>2</sub> e o alto CO<sub>2</sub> foram mais prejudiciais quando utilizados no início do período de armazenamento (CERETTA et al., 2010). Bortoluzzi-Maag; Brackmann (2001) reportam que a redução da UR e elevação da temperatura no período inicial do armazenamento, diminui a incidência de degenerescência da polpa em maçã ‘Fuji’.

#### 2.4.1 Difusão de gases na polpa

Com a perda de massa através da transpiração ocorre redução da umidade dos espaços intercelulares e da água aderida a parede celular das células. Isso facilitaria a difusão dos gases na polpa e contribuiria na redução de distúrbios fisiológicos e manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs. Pois durante o amadurecimento ocorre extravasamento do conteúdo da célula em função da perda de integridade das membranas, o que preenche os espaços intercelulares, constituindo-se numa barreira para a difusão do CO<sub>2</sub> para o exterior e do O<sub>2</sub> para o interior do fruto (RAJAPAKSE et al., 1990; HERREMANS et al., 2013). O aumento da resistência à difusão do CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em abacate é relacionado ao entupimento dos espaços de ar entre as células por exsudatos (BEN-YEHOSHUA et al., 1963). Durante a secagem de fatias de maçãs, a porosidade aumentou linearmente com a redução da umidade durante a secagem (BAI et al., 2002).

Em função dos processos metabólicos é necessária a difusão do O<sub>2</sub> para o interior e do CO<sub>2</sub> para o exterior do fruto para não haver acúmulo e redução excessiva de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, respectivamente, o que causa distúrbios fisiológicos (SAQUET et al., 2000; 2001; 2003; LARRIGAUDIERE et al., 2001; CASTRO et al., 2008; HERREMANS et al., 2013; HO et al.,

2013). Quando a pressão parcial de  $O_2$  é insuficiente no interior do fruto, ocorre redução na produção de ATP, causando menor reparação nas membranas, levando a célula ao colapso (SAQUET et al., 2000; 2001; 2003; HO et al., 2013). Além disso, a redução do  $O_2$  provoca fermentação, que produz acetaldeído e etanol (SAQUET; STREIF, 2008), os quais, quando em excesso, causam uma cadeia de reações que conduz a morte da célula (FRANCK et al., 2007).

Após atravessar a epiderme, o  $O_2$  é transportado no tecido do fruto através do espaço intercelular e penetra através da membrana celular para o citoplasma. Posteriormente, difunde-se dentro do citoplasma para mitocôndria, sendo reduzido à água pela respiração, onde é produzido  $CO_2$ , que segue o caminho inverso para o exterior do fruto (SCHOTSMANS et al., 2002). A taxa de transporte do  $O_2$  e  $CO_2$  é quatro vezes maior no ar do que na água, o que pode implicar que estes gases se difundem mais pelos espaços intercelulares do que pela célula (HO et al., 2011). Estes autores afirmam que o  $O_2$  difunde-se principalmente através dos espaços intercelulares e por conexões na parede celular e em menor escala pelo citoplasma, ao passo que a difusão do  $CO_2$  ocorre em taxa similar por cada um desses caminhos. A solubilidade do  $CO_2$  em água é maior do que o  $O_2$  (HO et al., 2009), sendo que o transporte do  $CO_2$  é mais complexo do que o  $O_2$ , pois conforme o pH, o  $CO_2$  está em equilíbrio com  $HCO_3^-$  no líquido celular (HO et al., 2011). Estes autores afirmam que difusividade do  $CO_2$  no tecido seria menor do que o  $O_2$ , entretanto, Ho et al. (2010b) encontraram resultado oposto. Thewes et al. (2013) reportam que a difusão do  $CO_2$  é cinco vezes maior do que a do  $O_2$  em polpa de maçãs. Essa troca de gases entre o fruto e a atmosfera da câmara é crucial para manutenção dos processos vitais da célula (VERBOVEN et al., 2008).

Existem métodos para avaliar a difusão, como o reportado por Rabus (2002), que avaliaram um que utiliza gás neon para estimar a difusão. Neste, o fruto é exposto a uma alta concentração do gás e posteriormente é colocado em recipiente com atmosfera isenta de neon. À medida que vai se difundindo do tecido para a atmosfera de um recipiente, sua concentração é mensurada. Este método apresenta a vantagem de não danificar o tecido pelo corte de uma fatia do fruto. Outro método é proposto por Schotsmans et al. (2003), onde uma fatia do fruto é acondicionada entre duas pequenas câmaras de um equipamento desenvolvido para medir difusão. Em cada câmara circulam  $O_2$  e  $CO_2$  com pressões parciais conhecidas, os quais se difundem pela polpa, sendo possível quantificar o volume que difunde pela polpa para a câmara oposta ao fluxo. Comparando os dois métodos, este último tem a desvantagem de poder obstruir poros com líquido celular na região do corte. Porém, no outro método a



utilização de um gás inerte pode não representar a condição real do armazenamento (SCHOTSMANS et al., 2003), visto que a estrutura molecular do neon, por exemplo, é diferente da estrutura do CO<sub>2</sub>, o que poderia trazer imprecisão na avaliação.

A difusão de gases é dependente do período de colheita, cultivar, região de cultivo do fruto e período de armazenamento (SCHOTSMANS et al., 2004; HO et al., 2006a e 2010b, THEWES et al., 2013). No entanto, com relação ao período de colheita, Verboven et al. (2008) não encontraram diferença na porosidade de maçã e pera colhidas em três pontos de maturação. A porosidade está relacionada com a difusão de gases. Maçã 'Fuji' com alta severidade de pingo-de-mel apresentou menor difusão e espaço intercelular, aumento da pressão parcial interna de CO<sub>2</sub> e redução da de O<sub>2</sub>, o que causou aumento da concentração de etanol e acetaldeído no fruto (ARGENTA et al., 2002). Baumann; Henze (1983) encontraram que o volume do espaço intercelular é diferente entre cultivares de maçãs e varia entre os anos, o que tem influência na tolerância às condições de atmosfera controlada (alto CO<sub>2</sub> e baixo O<sub>2</sub>). Temperaturas médias mais baixas durante o desenvolvimento dos frutos aumentam a suscetibilidade de maçãs 'Fuji' à degenerescência de polpa, durante o armazenamento em atmosfera controlada (CORREA et al., 2010), o que pode estar relacionado ao maior adensamento das células (LAU, 1997), que provavelmente tenha reduzido os espaços intercelulares e, conseqüentemente, a difusão dos gases durante o armazenamento.

Diferença entre cultivares na difusão de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> no mesmo tecido foi relacionado à diferença no volume do espaço intercelular e forma das células (SCHOTSMANS et al., 2004). Ho et al. (2013) encontraram que a maçã 'Jonagold' tem grande potencial para ser armazenada em baixo O<sub>2</sub>, ao passo que 'Braeburn' e 'Kanzi' necessitam ser armazenadas em alto O<sub>2</sub>. Estes autores recomendam a pressão parcial de 2,0 e 2,5 kPa de O<sub>2</sub> para 'Kanzi' e 'Braeburn', respectivamente, para maior segurança durante o armazenamento comercial. A eficiência dos espaços intercelulares em aerar o tecido depende não somente no volume de espaço intercelular, mas também da continuidade dos poros, do grau em que estão preenchidos com gás ou líquido e do nível de demanda de O<sub>2</sub> e saída de CO<sub>2</sub> (BURTON, 1982).

A principal barreira para difusão de gases são a epiderme, devido à sua estrutura densa, e a cutícula (VERBOVEN, et al., 2008). A difusividade do O<sub>2</sub> no córtex da maçã é maior na direção radial do que na axial, estando em conformidade com a orientação preferencial das redes de espaços intercelular obtidos por imagem de tomografia (VERBOVEN, et al., 2008). A maneira como os poros estão interconectados pode ser mais importante do que o número e tamanho dos poros (VOGEL, 2002). Herremans et al. (2013)

afirmam que o total de poros permanece mais ou menos estável durante o armazenamento e que tecidos velhos apresentaram alto volume de poros.

Diversos trabalhos foram realizados para caracterizar a difusão de gases e gerar modelos de transporte de água no tecido de frutos (SCHOTSMANS et al., 2003 e 2004; HO et al., 2006a e 2006b; 2010b; PHAM et al., 2008 e 2009; VERBOVEN et al., 2008; FANTA et al., 2013), no entanto, não foi encontrado trabalho objetivando testar técnica para aumentar a difusão de gases. Como a perda de massa ocorre principalmente por transpiração, o possível efeito da perda de massa seria causar a redução da umidade dos espaços intercelulares e da água aderida à parede celular das células, o que aumentaria a difusão dos gases na polpa e contribuiria na redução de distúrbios fisiológicos e manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs.

## **2.5 Perda de massa em diferentes posições na câmara frigorífica**

Pela disposição dos *bins* na câmara de armazenamento e pelo grande volume de frutos armazenados, em torno de 800 toneladas, não ocorre uma homogeneização do ar frio, gerado pelo sistema de refrigeração, entre os frutos, o que acarreta em locais da câmara com variações na temperatura. Existe um padrão desuniforme de circulação de ar dentro da câmara, que pode proporcionar a existência de áreas com maior temperatura no interior da pilha de *bins* (HELLICKSON; BASKINS, 2003; NAHOR et al., 2005; DELETE et al., 2009a). Existindo também diferenças na UR em posições diferente da câmara, o que implicaria em desuniformidade de níveis de perda de massa e ocorrência de problemas em maçãs associados à UR. Se existir grande diferença na perda de massa entre as posições da câmara, isso deve ser considerado na avaliação da perda de massa na câmara comercial ou no local da instalação do evaporímetro ventilado e monitoramento da evaporação.

No armazenamento de batatas, a distribuição irregular do fluxo de ar entre as sacas pode resultar na não uniformização da UR, o que pode levar à condensação de água onde a UR atinge a saturação ou a desidratação excessiva onde esta permanece abaixo de 80% (CHOURASIA; GOSWAMI, 2007). Estes autores afirmam que a perda de água depende do local da câmara onde a saca de batata está posicionada em relação à estrutura de refrigeração, sendo maior quanto mais distante estiver do sistema de refrigeração, provavelmente devido a maior temperatura neste local.

Delete et al. (2009b) observaram que no interior da pilha de caixas a temperatura é mais elevada e a UR é menor nas primeiras horas após o início da redução da temperatura.

Na parte superior da pilha de *bins* e no piso da câmara ocorre acúmulo de gelo, devido a não circulação homogênea do ar úmido (DELETE et al., 2009a), fato também frequentemente observado em câmaras de armazenamento de maçãs. Delete et al. (2009a) também encontraram diferença de  $1,7^{\circ}\text{C}$  entre o ponto mais quente e o mais frio de uma câmara com  $300\text{ m}^3$  regulada na temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$ , sendo que a diferença de UR foi de 11,2% entre os dois pontos, favorecendo maior heterogeneidade na desidratação. Diante disso, é importante avaliar se a perda de massa ocorre de forma heterogênea em diferentes posições da câmara comercial de armazenamento de maçãs.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Experimento I - Calibração do evaporímetro ventilado**

O evaporímetro ventilado, desenvolvido pelo NPP/UFSM, constitui-se de um tubo quadrado ( $8 \times 8 \times 20\text{ cm}$ ), de chapa de ferro galvanizada, o qual possui um miniventilador, marca Adda, modelo AA8382HB-AW, em uma das extremidades, que mantém um fluxo de ar constante de  $3,7\text{ m s}^{-1}$  sobre uma superfície de  $32\text{ cm}^2$  de água. A profundidade do nível da água do reservatório é de  $3,5\text{ cm}$ . No centro do tubo existe um orifício, onde o ar em movimento entra em contato com a superfície de água depositada em um reservatório, que dispõe de um dispositivo de autorregulação do nível. Esta estrutura é instalada no lado interno da câmara (Figura 1). Com a evaporação da água do reservatório pelo fluxo constante de ar no interior do tubo, ocorre alteração do nível de uma coluna de água, constituída de mangueira transparente fixada do lado externo da câmara frigorífica, de modo que a evaporação de água pode ser registrada, através de leituras (diárias ou semanais) do nível da coluna, que pode ser expressa em centímetros por dia ou semana, que indica a necessidade de aumentar ou diminuir a umidificação da câmara.

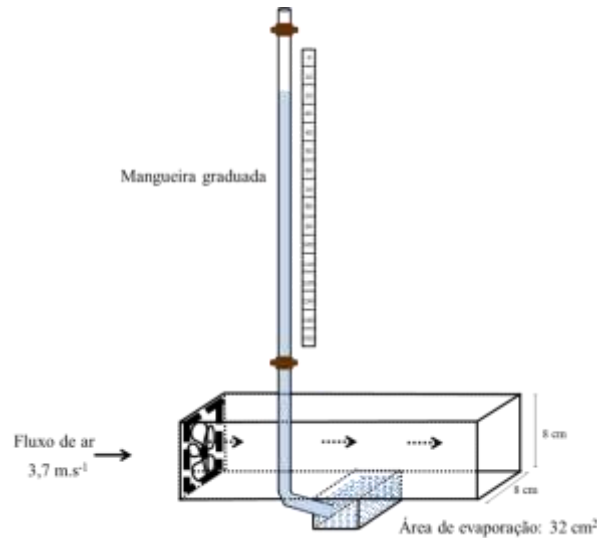


Figura 1 - Evaporímetro ventilado desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da UFSM.

A calibração foi realizada em uma câmara frigorífica de  $20 \text{ m}^3$ , onde foram alocados quatro evaporímetros ventilados. Os equipamentos foram fixados em estruturas de madeira, a  $0,5 \text{ m}$  de altura do piso da câmara, posicionados na parte central da mesma. Entre os evaporímetros, foram dispostos os psicrômetros e o sensor de UR do umidostato. A temperatura de calibração do equipamento foi de  $1^\circ\text{C}$  nos níveis de UR de 85, 90, 95 e 100%. No interior da câmara, a UR e temperatura eram homogêneas entre as posições da câmara, devido ao forçador de ar do sistema de refrigeração proporcionar movimentação do ar.

O controle da temperatura foi realizado por meio de termômetro eletrônico, marca Full Gauge<sup>®</sup>, modelo MT 516C, com resolução de  $0,1^\circ\text{C}$  e termômetros com bulbo de mercúrio de alta precisão. Para manter cada nível de UR na câmara foi realizado a umidificação com sistema que utiliza o princípio Venturi, com reservatório de  $20 \text{ l}$  de água, o qual era reabastecido diariamente. Foi utilizado ar comprimido na tubulação do tudo de Venturi para pulverizar a água no interior da câmara. A UR foi monitorada com umidostato eletrônico, marca Full Gauge<sup>®</sup>, modelo AHC 80 plus, o qual realizava o acionamento do ar comprimido quando a UR baixava do estabelecido para calibração do equipamento (85, 90, 95 e 100%), com histerese de 1% de UR. Assim, a faixa de variação da UR foi de no máximo 2% em torno do valor estabelecido para calibração. O valor utilizado para controle da UR foi o obtido através da média de dois psicrômetros não aspirados, com resolução de  $0,2^\circ\text{C}$ . Em virtude dos problemas na determinação da UR com os equipamentos disponíveis, apresentados no capítulo anterior, a determinação da mesma foi realizada de forma que o erro de leitura do psicrômetro fosse minimizado. A determinação da evaporação de água pelo evaporímetro

ventilado, bem como o monitoramento da UR e temperatura, foi realizada durante o período de 15 dias em cada um dos níveis de UR, com determinações a cada 8 horas.

Os dados foram submetidos à análise de regressão com nível de significância de 5%.

### 3.2 Experimento II - Perda de massa em maçãs ‘Royal Gala’ durante o armazenamento em atmosfera controlada

O experimento II foi realizado no ano de 2012 com maçã ‘Royal Gala’ proveniente de um pomar comercial de Vacaria, RS. Antes do armazenamento foi realizada a seleção dos frutos e a homogeneização das amostras experimentais, sendo eliminados os frutos com lesões e com baixo calibre. No momento da colheita, esses apresentavam as seguintes características de maturação: firmeza de polpa de 83,7 N, acidez de 4,85 meq 100mL<sup>-1</sup>, sólidos solúveis (SS) de 11,6 °Brix, ACC oxidase de 24,4 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, produção de etileno de 0,35 µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respiração de 7,77 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e índice iodo-amido de 6,1.

Os tratamentos avaliados estão apresentados na tabela 1. Todos os tratamentos foram armazenados em AC com 1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub> na temperatura de 1°C, onde cada um possuía cinco repetições de 30 frutos cada.

Tabela 1 - Tratamentos do experimento II.

Tratamento	Perda de Massa (%) <sup>*</sup>	Período de perda de massa
1	Natural <sup>**</sup>	Linear <sup>***</sup> (durante 8 meses)
2	3	Linear (durante 8 meses)
3	3	Inicial (durante os 2 meses iniciais)
4	1	Inicial (durante o 1º mês)

\* Indução da perda de massa por meio da baixa umidade relativa.

\*\* Natural = 0,9% de perda de massa (sem indução).

\*\*\* Linear = perda de massa natural ou a indução da perda de massa foi durante todo período de armazenamento.

#### 3.2.1 Instalação e controle das condições de armazenamento

Os frutos foram armazenados em minicâmaras experimentais com volume de 0,232 m<sup>3</sup> e acondicionados em uma câmara frigorífica na temperatura 1°C (±0,1). O controle da

temperatura foi realizado por meio de termômetros eletrônicos, sendo diariamente monitorado com termômetros de mercúrio de alta precisão introduzidos na polpa de frutos.

Nos primeiros cinco dias de armazenamento os frutos ficaram sob refrigeração na temperatura de 5°C. Após, foi realizado a redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> até 5 kPa, por meio da injeção de N<sub>2</sub>, e da temperatura até 1°C. Posteriormente, houve redução gradativa da pressão parcial de O<sub>2</sub>, devido ao consumo deste gás pela respiração dos frutos, até atingir a pressão parcial pré-estabelecida. A pressão parcial de CO<sub>2</sub> foi obtida pelo acúmulo deste gás oriundo da respiração. Devido ao processo respiratório dos frutos, houve consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub>, sendo que o monitoramento e a correção diária destes gases foram realizados através de equipamento para controle automático de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> da marca Siemens®/Valis, modelo Ultramat 23. Para a correção do O<sub>2</sub> consumido pela respiração dos frutos, foi injetado ar atmosférico no interior das minicâmaras. O CO<sub>2</sub> em excesso, resultante do processo respiratório, foi eliminado com o auxílio de um absorvedor, contendo hidróxido de cálcio.

### 3.2.2 Indução da perda de massa

A indução da perda de massa foi induzida através da absorção da umidade do interior da minicâmara com sílica gel. Com auxílio de uma bomba, o ar da minicâmara foi circulado através de um recipiente contendo sílica gel, que absorvia a umidade contida no ar. Esse recipiente foi pesado antes e após a absorção da umidade e, por diferença, obteve-se a quantidade de massa de água absorvida. Esse procedimento foi realizado até os frutos perderem a quantidade de massa pré-estabelecida em cada tratamento. Os frutos dos tratamentos com perda de massa inicial perderam as quantidades de massa pré-estabelecidas até o primeiro e segundo mês, para os tratamentos 4 e 3, respectivamente, no experimento II. Já os frutos com perda de massa linear perderam as quantidades pré-estabelecidas durante todo o período de armazenamento (oito meses). A perda de massa no tratamento com perda de massa natural foi de 0,9%.

### 3.2.3 Variáveis analisadas

As análises laboratoriais foram realizadas aos oito meses de armazenamento. Para variáveis em que os frutos não foram destruídos, as avaliações foram realizadas na saída da

câmara, sendo que as demais após o período de armazenamento mais sete dias de exposição à temperatura de 20°C. As variáveis analisadas foram as seguintes:

a) Difusão de gases: determinada através da quantificação da difusão do CO<sub>2</sub> em uma fatia de polpa com 0,5 cm de espessura e 2,17 cm de diâmetro, retirada longitudinalmente na região equatorial do fruto, a qual foi colocada em um aparelho que contém duas câmaras, as quais são separadas e vedadas pela amostra de polpa (Figura 2), adaptado da metodologia de Schotsmans et al. (2003). Em uma das câmaras foi injetado CO<sub>2</sub> na concentração de 20,0 kPa e, após o período de uma hora, o CO<sub>2</sub>, que difundiu pela polpa e se acumulou na outra câmara, foi quantificado com um cromatógrafo a gás, marca Dani<sup>®</sup>, modelo Master GC, equipado com coluna capilar Carboxen<sup>™</sup> 1006 Plot. A produção de CO<sub>2</sub> pela fatia de polpa (amostra) foi desprezível, o que não causou alteração no resultado da difusão. O resultado foi expresso em mL CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

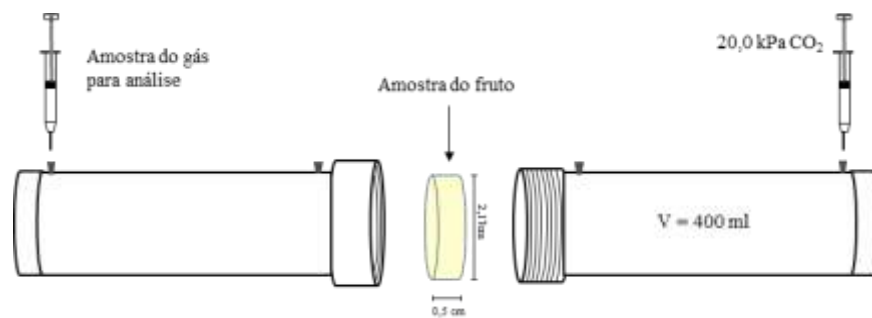


Figura 2 - Aparelho para medir difusão de gases em frutos.

b) Concentração interna de etileno (CIE): a atmosfera do interior do fruto foi extraída com uma bomba de vácuo, a qual aplicava pressão de sucção de 75 kPa. A bomba de vácuo removeu o ar de um dessecador, o qual continha água e um funil invertido com uma amostra de três frutos. O funil estava com um septo de borracha na extremidade mais fina, permitindo que o ar removido do interior dos frutos ficasse acumulado neste funil, conforme Mannapperuma et al. (1991). Uma amostra de 1mL deste ar foi injetado em um cromatógrafo a gás, marca Varian<sup>®</sup> modelo Star 3400CX, equipado com um detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. A temperatura da coluna, injetor e detector foi de 90, 140 e 200°C, respectivamente. A CIE foi expressa em  $\mu\text{L L}^{-1}$ .

c) Espaço intercelular: obtido com a mesma bomba de vácuo utilizada para quantificar a CIE. Uma amostra de aproximadamente 50g de polpa obtida da região equatorial de 10 maçãs foi submersa em água destilada e submetida ao vácuo por aproximadamente dois minutos, até que todo o ar dos espaços intercelulares saísse, possibilitando a infiltração de água no espaço intercelular. Com a diferença de peso da amostra, antes e após a infiltração, foi obtido o espaço intercelular, sendo expresso em porcentagem.

d) Concentração interna de CO<sub>2</sub> (CICO<sub>2</sub>): duas amostras de 1 mL do mesmo ar extraído dos frutos para quantificar a CIE foi injetado no mesmo cromatógrafo usado para difusão de gases. O resultado foi expresso em mL CO<sub>2</sub> 100 mL<sup>-1</sup> de ar do fruto;

e) Degenerescência interna: foi avaliada através da realização de cortes transversais nos frutos. Após o corte, foi realizada uma avaliação visual do escurecimento na polpa. Esses cortes expuseram totalmente a polpa para a observação visual, sendo determinada a porcentagem de frutos com sintomas do distúrbio.

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

g) Podridões: foram avaliadas pela contagem dos frutos que apresentaram lesões com diâmetro superior a 5mm, características de ataque de fungos ou bactérias. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos podres.

h) Rachadura: foi determinada através da contagem de frutos com a epiderme e/ou polpa rachados. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos rachados.

i) Frutos sadios: obtido pela contagem de frutos sem podridões, rachaduras, degenerescência e polpa farinácea, sendo expresso em porcentagem;

j) Suculência: foi determinada através da prensagem de 20g de polpa de maçã durante um minuto. A amostra, obtida de 10 frutos, foi submetida ao peso de 1,5 t, numa prensa pneumática, desenvolvida pelo NPP/UFSM (LUNARDI, 2003). A quantidade de suco foi obtida pela diferença do peso inicial da amostra e o peso final (após a prensagem). A suculência foi expressa em porcentagem, que representa gramas de suco por 100 gramas de polpa;

k) Sólidos solúveis (SS): obtido por refratometria a partir do suco extraído de cada amostra de 20 frutos. Os valores foram expressos em °Brix;

l) 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. O pH foi determinado por um medidor marca Digimed<sup>®</sup>. A acidez foi expressa em meq 100mL<sup>-1</sup>.



m) Firmeza da polpa: após a retirada de parte da epiderme, os frutos foram avaliados em lados opostos, na região equatorial, com um penetrômetro manual, marca Effegi, com ponteira de 11mm, sendo que os valores foram expressos em Newton (N).

n) Atividade da ACC oxidase: de acordo com a metodologia proposta por Bufler (1986), foram retiradas algumas amostras de epiderme da região equatorial dos frutos de cada unidade experimental, totalizando 3g. Estas foram imediatamente incubadas numa solução contendo 0,1mM de ACC em 10mM do tampão MES (ácido 2 (N-morfolino)etanossulfônico) em pH 6,0. Após 30 minutos, as amostras foram acondicionadas em seringas herméticas de 50ml, nas quais foi adicionado 2% de CO<sub>2</sub>. Depois de 30 minutos, a concentração de etileno presente nas seringas foi determinada e os dados foram expressos em nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

o) Produção de etileno: foi determinada com a utilização de aproximadamente 1500g de frutos, colocados em recipientes com volume de 5000ml, fechados hermeticamente durante aproximadamente 1,5 hora. Para a análise da produção de etileno foram injetadas duas amostras de gás de 1ml, provenientes de cada recipiente, no mesmo cromatógrafo utilizado para quantificar a CIE. A síntese de etileno foi calculada em µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> por meio da concentração de etileno determinada pelo cromatógrafo, da massa do fruto, do volume do espaço livre no recipiente e do tempo de fechamento.

p) Respiração: determinada pela quantificação da produção de CO<sub>2</sub> pelos frutos. O volume de 1 ml de ar do mesmo recipiente utilizado para a determinação do etileno foi injetado no mesmo cromatógrafo utilizado para difusão de gases. A partir da concentração de CO<sub>2</sub>, do espaço livre do recipiente, do peso do fruto e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração em mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

#### 3.2.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Antes da análise de variância (ANOVA), os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros, pelo teste de Shapiro-wilk. As variáveis que não apresentaram normalidade dos erros foram transformadas pela fórmula  $\text{arc.sen} \sqrt{(x+0,5)/100}$  para normalização dos erros. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Para a realização das análises estatísticas foram utilizados os programas Microsoft Office Excel<sup>®</sup> e o SisVar da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2000).

### 3.3 Experimento III - Perda de massa em maçãs ‘Galaxy’ com utilização de pressão parcial de CO<sub>2</sub> elevada durante o armazenamento

O experimento III foi realizado com maçã ‘Galaxy’ durante o ano de 2013. A origem dos frutos e os procedimentos antes do armazenamento foram idênticos ao realizado para o experimento II. Na análise inicial os frutos apresentavam as seguintes características de maturação: firmeza de polpa de 78,6 N, acidez de 5,22 meq 100mL<sup>-1</sup>, SS de 11,4 °Brix, ACC oxidase de 27,9 nL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, produção de etileno de 1,01 µL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respiração de 18,0 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e índice iodo-amido de 6,9.

Os tratamentos avaliados (Tabela 2) foram armazenados em atmosfera controlada e atmosfera controlada dinâmica com quociente respiratório (QR) 1,5. Cada tratamento possuía quatro repetições de 40 frutos cada.

Tabela 2 - Tratamentos do experimento III.

Tratamento	O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa (%)	Período de perda de massa
1	0,4 + 1,2	Natural*	Linear*** (durante todo período)
2	0,4 + 3,0	Natural	Linear (durante todo período)
3	0,4 + 1,2	3	Inicial (durante os 2 meses iniciais)
4	0,4 + 3,0	3	Inicial
5	0,4 + 1,2	3	Linear (durante 9 meses)
6	0,4 + 3,0	3	Linear
7	Variável** + 1,2	3	Linear
8	Variável** + 3,0	3	Linear

\* Natural = 0,9% de perda de massa (sem indução da perda de massa).

\*\* Atmosfera controlada dinâmica (ACD) com quociente respiratório (QR) 1,5.

\*\*\* Linear = perda de massa natural ou a indução da perda de massa foi durante todo período de armazenamento.

#### 3.3.1 Instalação e controle das condições de armazenamento

A instalação e controle das condições de armazenamento do experimento III foram idênticas ao experimento II. A determinação do QR foi realizado duas vezes por semana. Para isso o O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> foram mensurados e em seguida a minicâmara foi fechada hermeticamente durante aproximadamente 14 horas. Após este período, o consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> foram quantificados, sendo possível calcular o QR, que é a razão entre a produção de CO<sub>2</sub>

pelo consumo de O<sub>2</sub> no período. Quando o QR estava acima de 1,5 a pressão parcial de O<sub>2</sub> foi aumentada e quando estava abaixo foi reduzido, afim de manter o QR desejado.

O tratamento com QR 1,5 e 1,2 kPa CO<sub>2</sub> apresentou pressão parcial média de O<sub>2</sub> durante o armazenamento de 0,32 kPa, já o com QR 1,5 e 3,0 kPa CO<sub>2</sub> o nível médio de O<sub>2</sub> foi de 0,16 kPa. Houve uma tendência de redução da pressão parcial de O<sub>2</sub> durante o armazenamento nos tratamentos com QR, sendo que o tratamento QR 1,5 e 1,2 kPa CO<sub>2</sub> foi de 0,23 kPa O<sub>2</sub> no último mês e o QR 1,5 e 3,0 kPa CO<sub>2</sub> apresentou O<sub>2</sub> médio no último mês de 0,10 kPa.

### 3.3.2 Indução da perda de massa

No experimento III, a indução da perda de massa foi realizada através da absorção da umidade com cloreto de cálcio, o qual foi colocado numa bandeja no interior da minicâmara. Para o monitoramento do nível de perda de massa foi realizado a pesagem dos frutos. Através do manejo da ventilação da minicâmara por um miniventilador foi possível acelerar ou não a velocidade de perda de massa dos frutos. Neste experimento, a perda de massa inicial foi até o segundo mês e a linear durante o período de nove meses de armazenamento.

### 3.3.3 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram as mesmas do experimento II, além das seguintes:

a) CO<sub>2</sub> na célula: imediatamente após a saída da câmara uma amostra de dois frutos de cada repetição foi triturada, sendo 10 ml de suco acondicionado em um recipiente hermético de 20 ml de volume. Após 12 horas, o CO<sub>2</sub> contido no suco acumulou no *headspace*, o qual foi quantificado com o mesmo cromatógrafo utilizado para difusão de gases. O resultado foi expresso mL CO<sub>2</sub> 100 mL<sup>-1</sup>.

b) Etanol: de acordo com Saquet et al. (2001), uma amostra de 10 mL de suco foi colocada num frasco de 20 mL posteriormente foi aquecida em banho-maria durante 30 minutos a 70°C. Em seguida uma alíquota de 0,1 mL de ar do *headspace* do frasco foi injetado num cromatógrafo a gás marca Dani<sup>®</sup>, modelo Master GC, equipado com coluna DN-WAX de 60 metros de comprimento. A temperatura da coluna, injetor e detector foi de 60, 160 e 250°C, respectivamente. O resultado foi expresso em µL etanol L<sup>-1</sup> de suco.

c) Permeabilidade da membrana da célula: de acordo com Saquet et al. (2001), foram retirados 10 discos da região equatorial dos frutos de 0,5 cm de espessura e 1,0 cm de

diâmetro. Em seguida estes foram encubados em solução de manitol 0,4 M. Após 3 horas foi determinado a condutividade elétrica com auxílio de um condutivímetro manual digital, marca Digimed<sup>®</sup>, modelo DM 20. Posteriormente a amostra foi fervida durante 30 minutos e imediatamente congelada a -30°C, objetivando o total extravasamento do conteúdo celular. Depois do congelamento, as amostras foram acondicionadas na temperatura ambiente até completo descongelamento e novamente foi determinada a condutividade elétrica. O resultado foi expresso em porcentagem.

A avaliação dos experimentos ocorreu aos nove meses de armazenamento em AC mais sete dias de exposição à temperatura de 20°C. As variáveis difusão de gases, CICO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> na célula e rachadura foram avaliadas somente na saída da câmara após os nove meses. As variáveis CICO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> na célula também foram avaliadas aos dois meses de armazenamento.

#### 3.3.4 Análise estatística

Foi realizada conforme descrito para o experimento II, no entanto, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-knott ( $p < 0,05$ ) devido ao maior número de tratamentos.

### **3.4 Experimento IV – Perda de massa em diferentes posições de uma câmara comercial**

O experimento foi realizado em uma câmara frigorífica da Agropecuária Schio, localizada em Vacaria, RS, no ano de 2012. A câmara, com capacidade de 800 t, tinha dimensões de 15 x 12 x 9 m, equipada com sistema de refrigeração que utilizava etilenoglicol como elemento refrigerante. As maçãs armazenadas na câmara eram de cultivares mutantes da ‘Gala’ com coloração vermelha menos intensa. A temperatura de armazenamento foi de 1°C em atmosfera controlada dinâmica com detecção do estresse por fluorescência de clorofilas. O sistema de umidificação era por sistema pressurizado, com oito bicos, os quais possuíam vazão de 160 ml min<sup>-1</sup> cada. Durante o enchimento da câmara e após o fechamento da mesma, o tempo com a umidificação acionada era de 10 minutos para cada minuto desligada. Posteriormente, após a elevação da UR, através da visualização da deposição da umidade no piso na câmara e nos *bins*, o tempo com a umidificação foi de 10 minutos ligada para cada 60 minutos desligada.

Os tratamentos objetivaram avaliar se ocorrem diferentes níveis de UR em diferentes locais de uma câmara frigorífica, portanto, os tratamentos foram amostras de frutos colocadas em diferentes posições da câmara. Cada tratamento era composto por três repetições de 3 kg

de frutos cada, os quais foram colocados dentro de *bins*, com capacidade aproximada de 380 kg. As amostras, colocadas em redes plásticas, ficaram posicionadas na parte superior do *bin*, cobertas por uma camada de maçãs.

#### 3.4.1 Variáveis analisadas

Após dez meses de armazenamento, os frutos foram analisados quanto à perda de massa, firmeza da polpa, degenerescência e polpa farinácea, de acordo com metodologia descrita no experimento II.

#### 3.4.2 Tratamentos e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros, pelo teste de Shapiro-wilk. As médias que não apresentaram normalidade dos erros foram transformadas pela fórmula  $\text{arc.sen} \sqrt{(x + 0,5)/100}$  para ser submetida à análise da variância. Posteriormente foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Foi utilizado, como complementar, o teste de Scheffé, para testar os contrastes de perda de massa entre a posição superior com inferior (contraste X1), meio com fundo (contraste X2), meio com frente (contraste X3) e fundo com frente (contraste X4), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos tratamentos e definição dos contrastes pelo método de Scheffé com os seus respectivos coeficientes, para maçãs 'Royal Gala' em diferentes posições da câmara comercial, armazenadas em atmosfera controlada dinâmica a 1°C durante oito meses. Vacaria, RS, 2012.

Posição na câmara	Descrição	Contrastes e Coeficientes			
		X1=comparação de Superior com Inferior	X2=comparação de Meio com Fundo	X3=comparação de Meio com Frente	X4=comparação de Fundo com Frente
1	Superior <sup>I</sup> -Fundo-Esq. <sup>II</sup>	1	1	0	1
2	Superior-Fundo-Dir.	1	1	0	1
3	Superior-Meio	1	-2	-2	0
4	Superior-Frente-Esq.	1	0	1	-1
5	Superior-Frente-Dir.	1	0	1	-1
6	Inferior <sup>I</sup> -Fundo-Esq.	-1	1	0	1
7	Inferior-Fundo-Dir.	-1	1	0	1
8	Inferior-Meio	-1	-2	-2	0
9	Inferior-Frente-Esq.	-1	0	1	-1
10	Inferior-Frente-Dir.	-1	0	1	-1

<sup>I</sup> Superior corresponde ao último *bin* da pilha (10° *bin*), inferior corresponde ao primeiro *bin* da pilha; <sup>II</sup> Refere-se ao sentido (esquerda ou direita) do tratamento na câmara;

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento I - Calibração do evaporímetro ventilado

Diante das dificuldades da mensuração precisa da UR em câmaras comerciais de armazenamento de maçãs foi desenvolvido pelo NPP/UFSM o evaporímetro ventilado, que para o seu uso no armazenamento de maçãs necessitava de uma calibração na temperatura de 1°C. Para isso, os níveis de UR durante a calibração foram regulados em 85, 90, 95 e 100% na câmara frigorífica, mas devido à grande dificuldade de manter a UR com acurácia num valor programado, houve pequenas alterações nos níveis previamente estabelecidos, conforme pode ser visto na Figura 3. Os valores médios avaliados em cada ponto, bem como sua respectiva variância, foram 85,2% ( $\pm 5,72$ ), 89,9% ( $\pm 3,32$ ), 95,6% ( $\pm 2,00$ ) e 98,9% ( $\pm 3,55$ ). A UR de 100% não foi possível de ser mantida em virtude da dificuldade de manter o ar saturado e medir altos níveis de UR em baixa temperatura, o que confirma o reportado por Schwarz (1994) e Thompson (2002).

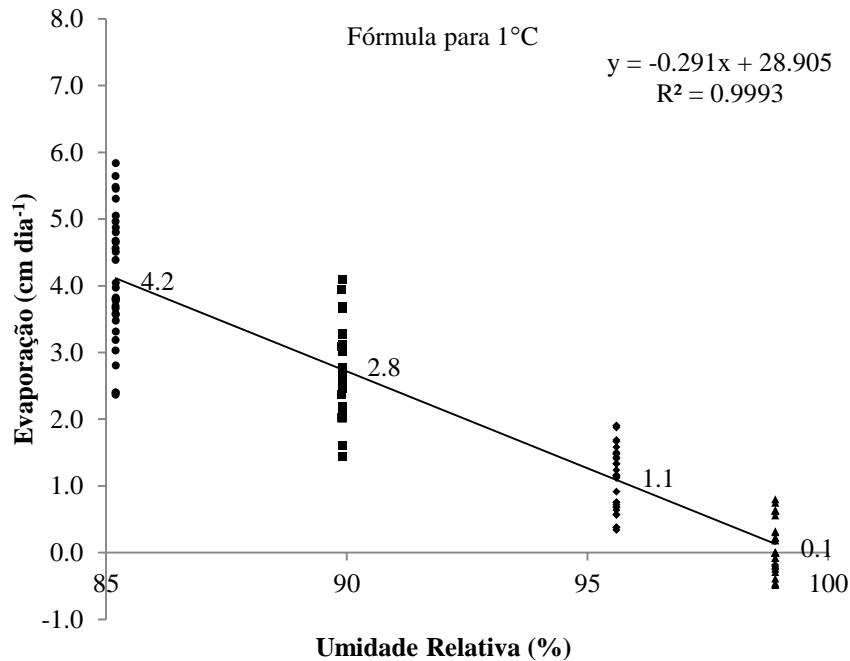


Figura 3 – Curva e equação para determinação da umidade relativa em função da evaporação de água no evaporímetro ventilado para temperatura de 1°C. Santa Maria, RS, 2012.

A evaporação de água pelo evaporímetro ventilado foi crescente com a redução da UR, obedecendo à lógica para uma mesma temperatura, pois quanto menor a UR menor é a quantidade de vapor de água presente no ar. Quanto menor o conteúdo de vapor de água no ar maior é o gradiente entre a superfície evaporante da água com o ar, causando maior liberação de moléculas de água da fase líquida para gasosa (DELETE et al., 2009b). A equação ajustada pelo modelo tem alta correlação ( $R^2 = 0,99$ ) com os dados coletados.

O evaporímetro ventilado fornece um valor de evaporação que representa a média de UR de um período e não um valor pontual de UR, como os demais equipamentos. A evaporação está diretamente atrelada ao déficit de pressão de vapor e transpiração do fruto, o que é de extrema relevância para o manejo da umidificação da câmara e redução da transpiração e perda de massa dos frutos em pós-colheita. Além disso, a evaporação pelo equipamento está também relacionada à temperatura, a qual, quando sofre oscilação, aumenta ou reduz a capacidade do ar em reter vapor de água (SCHWARZ, 1994), o que está atrelado à transpiração do fruto. Desta forma, o equipamento contorna o problema reportado por Thompson (2002), que o nível de UR isolado não tem muito significado no que diz respeito à desidratação.

Apesar do evaporímetro ventilado não informar ao técnico armazenador um valor direto de UR (em porcentagem), este informa um valor de evaporação, que está atrelado a UR e temperatura, média de um período. Este valor servirá de base para a tomada de decisão em aumentar ou reduzir a umidificação da câmara. Além disso, a praticidade do equipamento reduz a dificuldade de manejo da umidificação, o que contribui para expansão do uso desta prática, que na maioria das câmaras frigoríficas comerciais de armazenamento não é utilizado, conforme reportado por Ngcobo et al. (2013). Assim, o evaporímetro ventilado contorna o problema levantado por Linke et al. (2008), que afirmam não existir uma ferramenta simples para medir a perda por transpiração, a qual depende predominantemente da diferença de pressão de vapor entre o produto e o ambiente.

Por meio desta calibração, o ideal para o armazenamento de maçãs mutantes da ‘Gala’ é uma evaporação de em torno de  $1,5 \text{ cm dia}^{-1}$ , a qual reflete um valor de UR médio ao redor de 95%, na temperatura de  $1^{\circ}\text{C}$ . Com esse nível de UR, provavelmente a perda de massa da maçã fica próximo de valores adequados para conservação da qualidade de maçãs, conforme observado no experimento IV. Brackmann et al. (2007) reportam que a perda de massa entre 1,6 e 3,2% reduz a ocorrência de podridões, de degenerescência senescente e de polpa farinácea, sem causar murchamento nos frutos.

#### 4.1.1 Considerações finais do experimento I

Por meio da calibração do evaporímetro ventilado é possível, através da evaporação diária de água, obter um valor de evaporação médio, em  $\text{cm dia}^{-1}$ , para temperatura de  $1^{\circ}\text{C}$  em diferentes UR, que através do uso da equação permite calcular a UR média do período. Além disso, dá uma ideia sobre a real perda de água por transpiração do fruto.

## **4.2 Experimento II - Difusão de gases na polpa em função da perda de massa em maçãs ‘Royal Gala’**

Na saída da câmara, todos os tratamentos com indução da perda de massa apresentaram maior difusão de gases na polpa (Figura 4A). Após sete dias de exposição a  $20^{\circ}\text{C}$  somente os frutos submetidos a 3% de perda de massa inicial apresentaram maior difusão, a qual está maior difusão está associada ao aumento do espaço intercelular nos frutos com perda de massa, principalmente com 3% inicial (Figura 4B), evidenciado pela correlação positiva entre os dois parâmetros (Tabela 4). O grande volume de espaço intercelular



geralmente proporciona alta difusividade de gás no tecido do fruto (RAJAPAKSE et al., 1990; ARGENTA et al., 2002; SCHOTSMANS et al., 2004; HERREMANS et al., 2013). O percentual de espaço intercelular livre foi de 19,2% para a condição com 3% de perda de massa inicial, comparado com 14,5% da condição padrão, comprovando que a indução da perda de massa aumenta os espaços intercelulares e, conseqüentemente, a difusão de gases no tecido. Em peras o percentual de espaço livre é em torno de 8%, maçãs ‘Jonica’ é de 18% e ‘Braeburn’ 15% (SCHOTSMANS et al., 2002), sendo que a diferença na difusão entre a maçã ‘Jonica’ e ‘Braeburn’ é devido ao volume do espaço intercelular e tamanho da célula (SCHOTSMANS et al., 2004). Não há somente variação entre espécies e cultivares, mas também variação quanto à condição de armazenamento a que o fruto foi submetido, como observado nesse trabalho. Uma provável explicação para a maior difusão e espaço intercelular nos frutos com a perda de massa pode ser o fato de haver uma alteração na forma das células (alteração anatômica), devido à perda de água, fazendo com que aumentasse o espaço de ar entre as mesmas. Pois, Schotsmans et al. (2004) afirmam que mudança na difusividade durante o armazenamento coincide com mudança no espaço intercelular e na forma da células, o que provavelmente pode causar um afastamento entre as células, resultado em maior espaço intercelular.

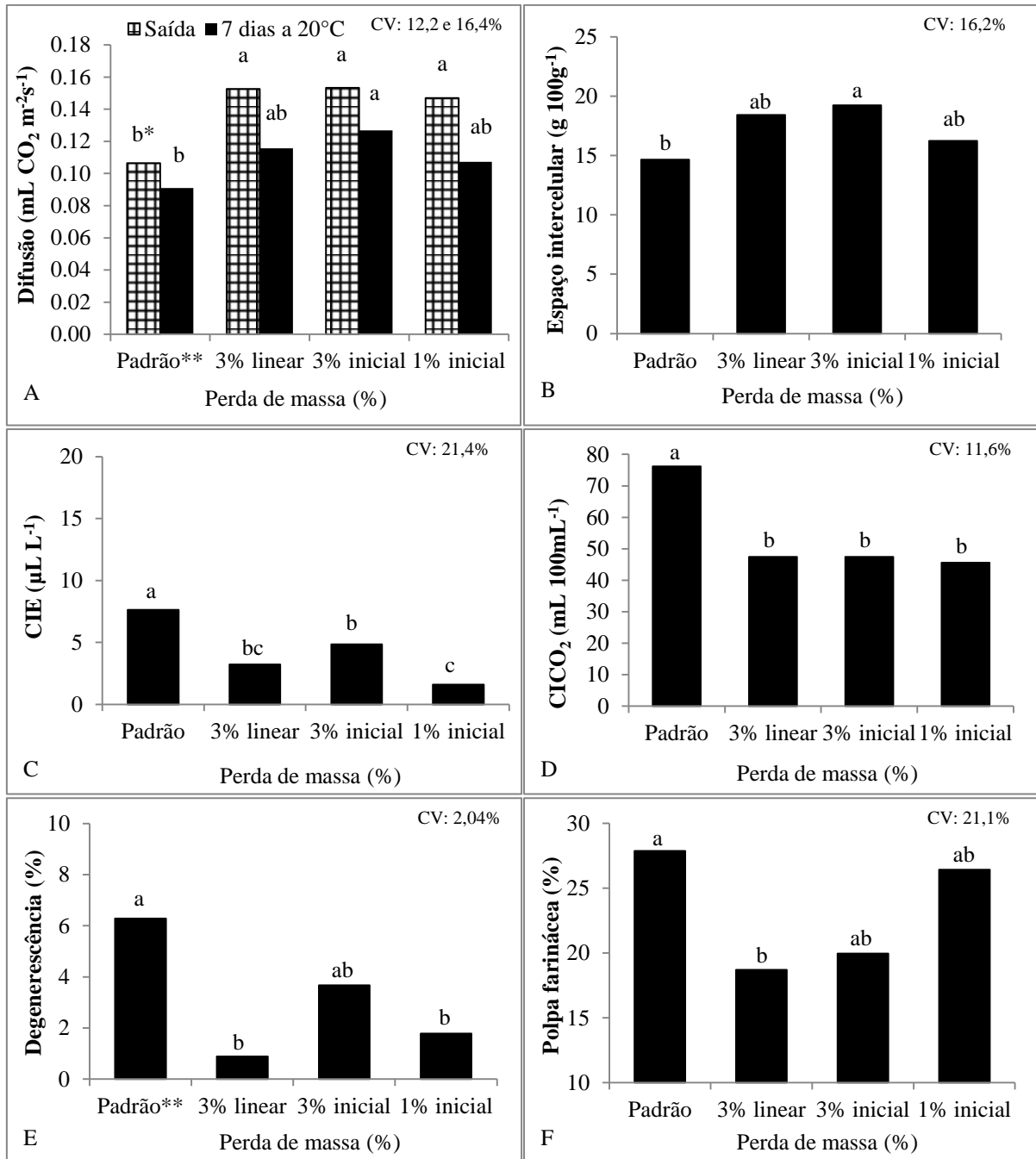


Figura 4 – Difusão (A), espaço intercelular (B), concentração interna de etileno (CIE) (C) e  $\text{CO}_2$  (CICO<sub>2</sub>) (D), degenerescência (E) e polpa farinácea (F) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetidas à indução da perda de massa na temperatura de 1°C.

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* Padrão = Armazenamento em AC com (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) com perda de massa (PM) de 1% linear; 3% linear = AC mais 3% de PM durante o período de armazenamento; 3% inicial = AC mais 3% de PM nos dois primeiros meses; 1% inicial = AC mais 1% de PM no primeiro mês.

Tabela 4 - Correlação de *Pearson* entre as variáveis de maçã ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC com perda de massa na temperatura de 1°C.

Correlação de Pearson	Difusão na polpa	Esp. Int.	CIE	CICO <sub>2</sub>	Polpa farinácea	Degenerescência	Rachadura	Firmeza	Produção C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Frutos Sadios
Difusão na polpa	1									
Esp. Int.*	0.55	1								
CIE	-0.45	<i>ns</i> **	1							
CICO <sub>2</sub>	-0.70	-0.47	0.68	1						
Polpa Farinácea	-0.54	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	1					
Degenerescência	-0.59	<i>ns</i>	0.70	0.52	0.47	1				
Rachadura	-0.70	-0.47	0.76	0.69	0.49	0.79	1			
Firmeza	0.72	0.48	-0.61	-0.71	-0.64	-0.66	-0.85	1		
Produção C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.52	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0.45	-0.53	-0.55	-0.50	0.69	1	
Frutos Sadios	<i>ns</i>	0.51	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0.54	<i>ns</i>	-0.60	0.77	0.75	1

\* Espaço intercelular.

\*\* *ns*: Correlação não significativa ( $p > 0,05$ ).

Como a perda de massa proporcionou maior espaço intercelular e difusão de gases na polpa, os frutos com perda de massa apresentaram menor concentração interna de etileno (CIE) e CO<sub>2</sub> (CICO<sub>2</sub>), o que pode ser evidenciado pela correlação de *Pearson* negativa entre a difusão com CIE e CICO<sub>2</sub> (Tabela 4). Diversos trabalhos reportam que a degenerescência tem relação com acúmulo de CO<sub>2</sub> na polpa (HO et al., 2010b e 2011; HERREMANS et al., 2013), não sendo diferente neste trabalho, o que pode ser confirmado pela correlação positiva entre esses parâmetros (Tabela 4). Como a perda de massa reduziu a CICO<sub>2</sub>, os tratamentos com 3% de perda de massa linear e 1% inicial apresentaram menor incidência de degenerescência, apesar de não diferir do tratamento com 3% inicial. Outra provável explicação é que ocorreu redução da película de água que está aderida à parede celular das células (TAIZ; ZEIGER, 2009), que facilitou que o CO<sub>2</sub> se difundisse para o exterior e o O<sub>2</sub> para o interior da célula reduzindo o gradiente entre os tecidos do fruto e a atmosfera da câmara. A troca de gases entre o fruto e a atmosfera da câmara é crucial para manutenção dos processos vitais da célula, como a respiração (VERBOVEN et al., 2008).

A polpa farinácea está associada ao avanço na produção de etileno e amadurecimento, em que ocorre a degradação da protopectina (PRASANNA et al., 2007) e separação das células na região da lamela média (LUNARDI, 2003), diminuindo a força de coesão entre as células, o que resulta no aspecto seco e farináceo da polpa. Considerando que a perda de

massa proporcionou menor CIE, o tratamento com 3% inicial apresentou menor incidência deste distúrbio, apesar de não diferir das demais condições com perda de massa (Figura 4F).

Na saída da câmara, a incidência de podridões foi menor no tratamento com 3% de perda de massa linear, entretanto, não diferiu da condição padrão e com 1% inicial (Figura 5A). Trabalhando com ‘Royal Gala’, Brackmann et al. (2007) encontraram redução na incidência de podridões com o aumento da perda de massa. Por outro lado, com maçã ‘Maxi Gala’ não foi verificada influência da perda de massa na ocorrência de podridões (WEBER et al., 2013). O desenvolvimento de patógenos causadores de podridões é favorecido por condições de alta umidade (BLEICHER et al., 2006). Após sete dias a 20 °C os tratamentos não apresentaram diferença.

Em maçãs com perda de massa não houve ocorrência de rachadura, sendo que somente na condição padrão (0,9% de perda massa) houve incidência desse distúrbio (Figura 5B). Analisando a correlação entre difusão e rachadura, pode-se afirmar que o aumento da difusão de gases na polpa, induzida pela perda de massa, contribuiu para a não ocorrência de rachadura nos frutos (Tabela 4). Provavelmente, na condição sem a indução da perda de massa, que permaneceu com UR mais elevada, o excesso de turgidez das células, associado ao amadurecimento mais avançado, tenha provocado o rompimento da parede celular das células, causando a rachadura. A ocorrência de rachadura é resultado do aumento do volume dos frutos (SCHWARZ, 1994) e amadurecimento avançado (BRACKMANN; SAQUET, 1995). A utilização da UR de 90% no armazenamento refrigerado e em AC foi eficiente na redução de podridões e rachadura em maçãs ‘Gala’, entretanto causou desidratação e amarelecimento nos frutos (BRACKMANN et al., 2005). Em função da perda de massa causar menor degenerescência, polpa farinácea e rachadura, na condição com 3% de perda de massa linear houve maior porcentagem de frutos sadios (Figura 5C).

Não houve diferença entre os tratamentos na suculência dos frutos (Figura 5D). Os sólidos solúveis também não foram influenciados pela perda de massa. Em lichia, a umidade relativa também não afetou o teor de sólidos solúveis (SOMBOONKAEW; TERRY, 2010). A acidez foi maior com 3% de perda de massa inicial, entretanto diferiu somente da condição com 1% de perda de massa inicial. Estes dois tratamentos apresentaram baixa atividade respiratória, o que provavelmente tenha reduzido o consumo de ácidos, pois os ácidos orgânicos são usados no ciclo dos ácidos tricarbóxicos da atividade respiratória (TAIZ; ZEIGER, 2009).

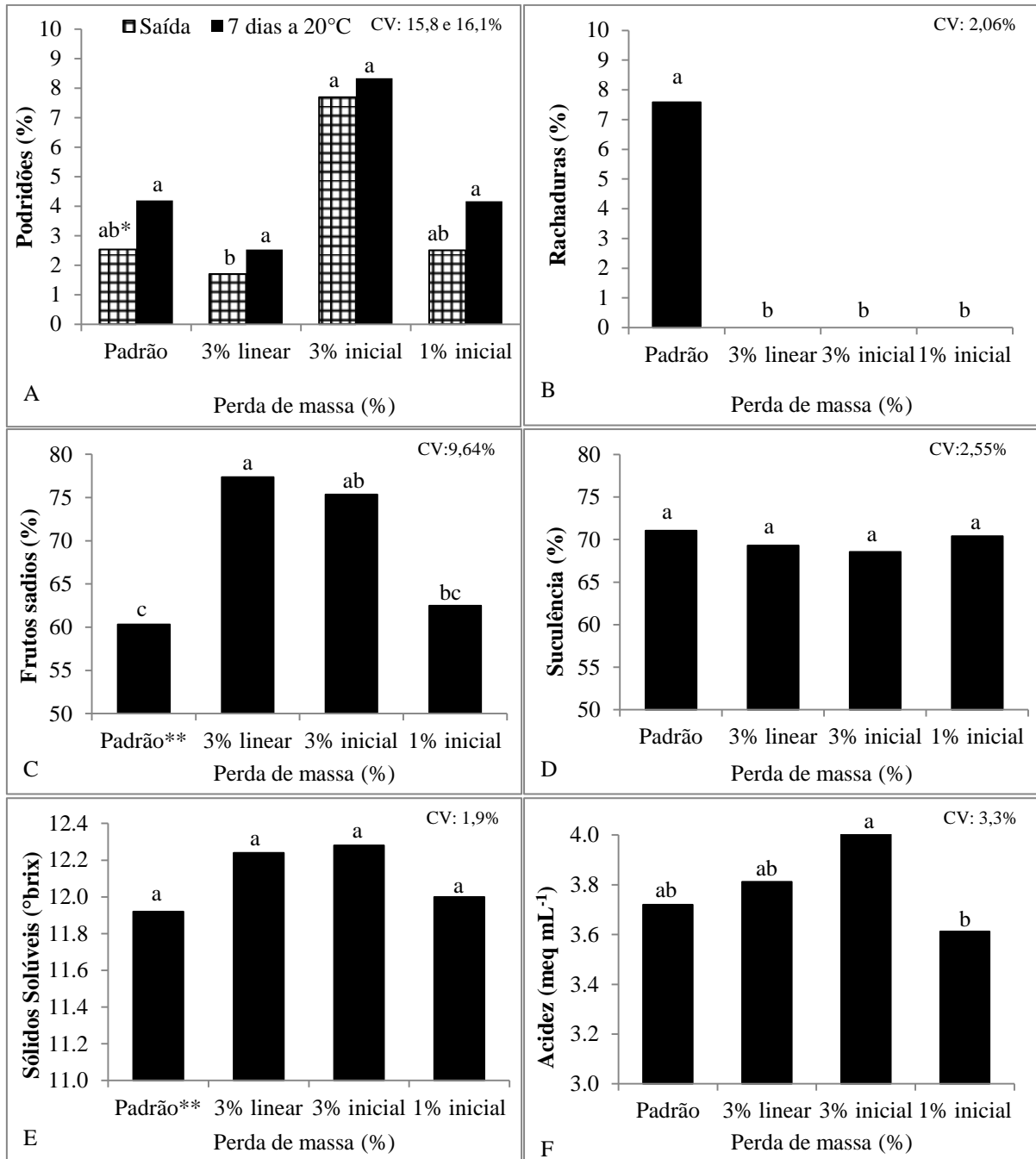


Figura 5 – Podridões (A), rachadura (B), frutos sadios (C), suculência (D), sólidos solúveis (E) e acidez (F) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetida à com perda de massa na temperatura de 1°C.

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* Padrão = Armazenamento em AC com (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) com perda de massa (PM) natural; 3% linear = AC mais 3% de PM durante o período de armazenamento; 3% inicial = AC mais 3% de PM nos dois primeiros meses; 1% inicial = AC mais 1% de PM no primeiro mês.

Todos os tratamentos com perda de massa apresentaram maior firmeza da polpa (Figura 6A). Provavelmente, a pequena desidratação das células tenha aumentado a rigidez dos tecidos, resultando em maior firmeza. Pois, analisando a condição com 3% linear, a

produção de etileno foi maior (Figura 6C), sugerindo que a maior firmeza pode estar atrelada a um maior efeito morfológico em detrimento do fisiológico, pela ação do etileno. Belie et al. (1999) afirmam que com o aumento da perda de massa ocorreu redução da firmeza. Entretanto, estes autores avaliaram duas condições extremas de UR (65 e 95%), sendo que o menor nível de UR, não utilizado na prática para armazenamento de maçãs, poderia ter causado algum estresse que induziu a perda da firmeza, provavelmente, aumento na produção de etileno. Lidster (1990) afirma que a alta UR resulta em frutos com maior firmeza, no entanto aumenta a incidência de degenerescência em maçã ‘McIntosh’ armazenadas em AC, sendo a UR entre 89 e 94% a melhor para os armazenamento desta cultivar. Link et al. (2004) encontraram redução na firmeza com aumento na perda de massa em maçã ‘Delicious’.

O tratamento com 3% de perda de massa linear apresentou maior produção de etileno a partir do segundo dia de exposição a 20°C (Figura 6C). Provavelmente, os frutos deste tratamento estavam menos senescentes. Este resultado contraria o reportado por Brackmann et al. (2007) que encontrou menor produção de etileno com perda de massa. Apesar da perda de massa ter influência na produção de etileno, a atividade da enzima formadora deste fitohormônio, a ACC oxidase, não foi influenciada pelos tratamentos (Figura 6D). A formação do etileno tem a participação da ACC sintase, que produz a molécula do ACC a partir da S-adenosil-metionina, e da ACC oxidase, que oxida a molécula do ACC, formando o etileno (LIEBERMAN, 1979), o qual é responsável pela maioria das transformações bioquímicas e fisiológicas do amadurecimento.

Do mesmo modo que a produção de etileno, a perda de massa de 3% linear causou também maior respiração a partir do segundo dia de avaliação. Em lichia, Somboonkaew; Terry (2010) não encontraram correlação entre perda de peso e taxa respiratória. Já em maçãs ‘Royal Gala’, Brackmann et al. (2007) reportam que o aumento da perda de massa causou menor respiração, a qual causa consumo de substâncias de reserva, como açúcares e ácidos para produção de energia para manutenção dos processos vitais da célula (TAIZ; ZEIGER, 2009).

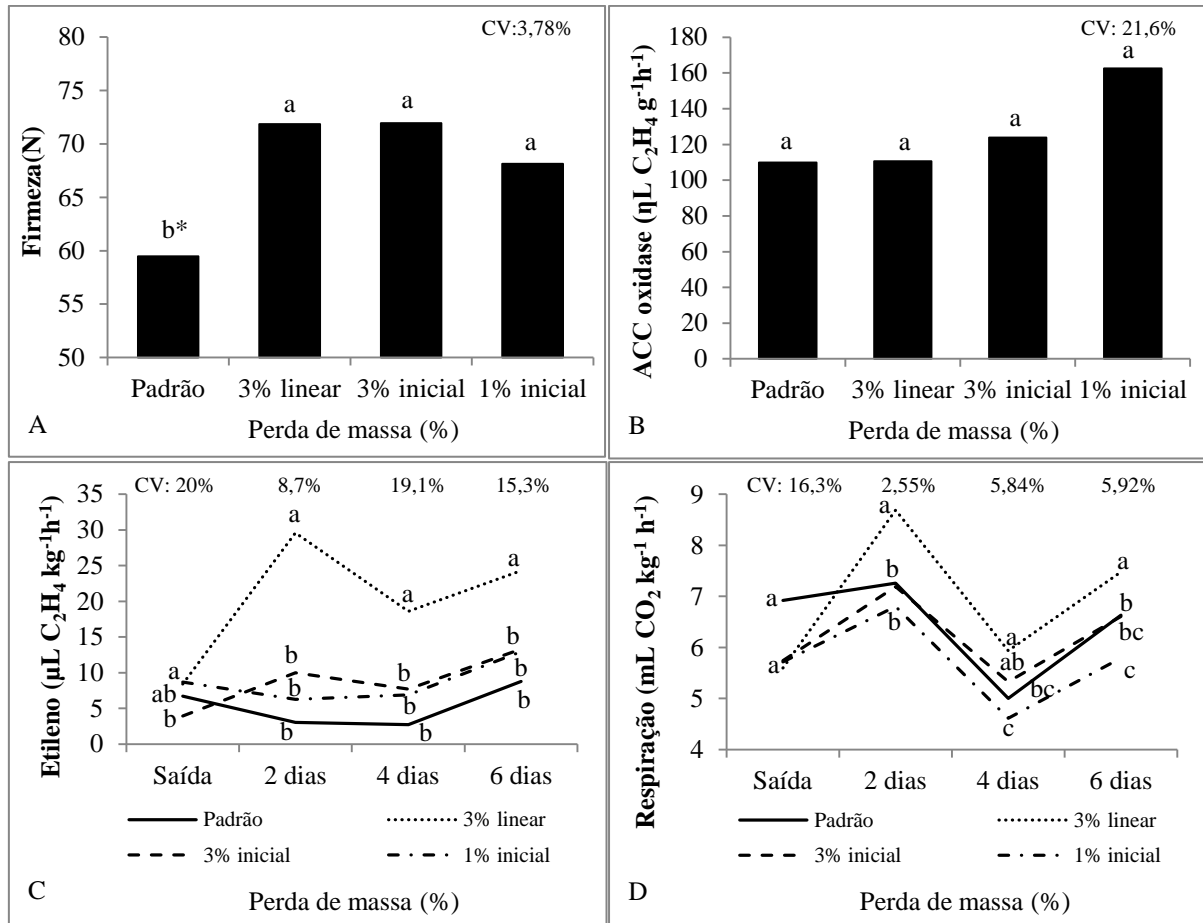


Figura 6 – Firmeza (A), ACC oxidase (B), produção de etileno (C) e respiração (D) de maçãs ‘Royal Gala’ após oito meses de armazenamento em AC submetida à indução da perda de massa na temperatura de 1°C.

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. \*\* Padrão = Armazenamento em AC com (1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) com perda de massa (PM) natural; 3% linear = AC mais 3% de PM durante o período de armazenamento; 3% inicial = AC mais 3% de PM nos dois primeiros meses; 1% inicial = AC mais 1% de PM no primeiro mês.

Correlacionando os parâmetros observa-se que o aumento da difusão de gases na polpa, causado pela indução da perda de massa, teve correlação positiva com espaço intercelular e negativa com CIE e CICO<sub>2</sub>, polpa farinácea, degenerescência e rachaduras (Tabela 4). Além disso, o espaço intercelular, que foi maior no tratamento com 3% de perda de massa inicial, apresentou correlação negativa com CICO<sub>2</sub> e positiva com frutos sadios. Portanto, a perda de massa possibilita aumento na difusão dos gases e, conseqüentemente, melhoria na conservação da qualidade e redução de distúrbios fisiológicos em maçãs ‘Royal Gala’.

#### 4.2.1 Considerações finais do experimento II

A perda de massa aumenta o espaço intercelular e a difusão dos gases na polpa de maçã 'Royal Gala', reduz rachadura, degenerescência e polpa farinácea durante o armazenamento por oito meses em atmosfera controlada.

A indução da perda de massa de 3% inicial ou linear mantém melhor qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' do que 1% de perda de massa inicial.

#### **4.3 Experimento III - Perda de massa possibilita utilizar CO<sub>2</sub> mais elevado durante o armazenamento de maçã 'Galaxy' em atmosfera controlada**

A difusão de gases na maçã 'Galaxy' foi maior na maioria dos tratamentos com indução da perda de massa, o que está de acordo com o experimento II, realizado com maçã 'Royal Gala' (Tabela 5). A maior parte da perda de massa natural (0,9%) provavelmente ocorreu em função da perda de carbono através da respiração do fruto, uma vez que Maguire et al. (2000) observaram que com o aumento da UR aumenta também a participação relativa da respiração na perda de massa. Portanto, isto não contribuiu expressivamente para aumentar a difusão de gases comparados com a indução da perda de massa, onde provavelmente houve redução da umidade dos espaços intercelulares que facilitaram a difusão dos gases.

O espaço intercelular não foi influenciado pela perda de massa, porém, cabe ressaltar, que na média, os valores do espaço intercelular deste experimento são maiores que os valores observados no experimento II (Figura 4B e Tabela 5). Em função da maior difusão, a concentração interna de etileno (CIE) foi menor nos tratamentos com perda de massa, não diferindo da condição padrão com alto CO<sub>2</sub> (Tabela 5). Resultado semelhante ao CIE foi encontrado para produção de etileno, onde a condição padrão com 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> produziu menos etileno do que a condição sem indução da perda de massa em baixo CO<sub>2</sub> (Tabela 10), provavelmente em função do CO<sub>2</sub> inibir a produção de etileno (WILD et al., 2005). Após sete dias de armazenamento, os tratamentos com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa inicial e linear apresentarem maior CIE.



Tabela 5 – Difusão de gases, espaço intercelular e concentração interna de etileno (CIE) de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013.

Tratamento		Difusão de gases (ml CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Espaço intercelular (%)	
O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa*			
0,4 + 1,2	Padrão	0,37 b**	24,9 <sup>ns</sup>	
0,4 + 3,0	Padrão	0,35 b	22,1	
0,4 + 1,2	3% inicial	0,37 b	23,6	
0,4 + 3,0	3% inicial	0,45 a	22,2	
0,4 + 1,2	3% linear	0,49 a	24,2	
0,4 + 3,0	3% linear	0,52 a	23,6	
QR1,5 + 1,2	3% linear	0,49 a	23,3	
QR1,5 + 3,0	3% linear	0,44 a	22,0	
CV (%)		11,5	5,56	
CIE (μL L <sup>-1</sup> )				
		Saída	7 dias a 20°C	
0,4 + 1,2	Padrão	6,20 a	4,64 b	
0,4 + 3,0	Padrão	2,75 b	3,01 b	
0,4 + 1,2	3% inicial	2,95 b	9,99 b	
0,4 + 3,0	3% inicial	0,97 c	10,1 a	
0,4 + 1,2	3% linear	0,60 c	4,77 b	
0,4 + 3,0	3% linear	0,43 c	15,6 a	
QR 1,5 + 1,2	3% linear	0,31 c	1,13 b	
QR 1,5 + 3,0	3% linear	0,12 c	3,05 b	
CV (%)		48,0	81,3	

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Apesar de ocorrer rachadura nos frutos dos tratamentos padrão (sem indução de perda de massa) não houve diferença significativa (Tabela 6). Houve menor incidência de polpa farinácea nos tratamentos com perda de massa inicial, apesar de não diferir do tratamento sem indução de perda de massa com baixo CO<sub>2</sub>. Pinto (2012) encontrou maior rachadura, degenerescência e polpa farinácea com aumento da UR, ou seja, com menor perda de massa. A perda de massa aumenta a coesão entre as células e a compressibilidade das mesmas, o que reduz a ocorrência de polpa farinácea ou diminui a percepção deste distúrbio (HATFIELD; KNEE, 1988).

A incidência de podridões na saída da câmara não apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 6), porém, após sete dias a 20°C, foi maior nos tratamentos sem a

indução da perda de massa. Devido ao maior metabolismo dos frutos dos tratamentos sem indução da perda de massa, evidenciado pela maior respiração e produção de etileno na saída da câmara (Tabela 10), é possível que as barreiras contra a penetração de patógenos estivessem reduzidas, favorecendo a ocorrência de podridões. Bartnicki et al. (2010) reportam que maçãs ‘Maxi Gala’ e ‘Fuji Kiku’ em estágio de maturação mais avançado provavelmente facilitaram a penetração de *Cryptosporiopsis perennans*, causador da podridão-olho-de-boi. Os maiores percentuais de frutos sadios, aqueles que não apresentavam nenhum distúrbio ou podridão, ocorreram nos tratamentos com perda de massa, exceto nas condições com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> e QR1,5 com 3,0 kPa CO<sub>2</sub>, ambas com 3% de perda de massa linear.

Tabela 6– Rachadura, polpa farinácea, podridão e frutos sadios após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa em maçã ‘Galaxy’. Santa Maria, 2013.

Tratamento		Rachadura (%)	Polpa farinácea (%)	
O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa *			
0,4 + 1,2	Padrão	0,61 <sup>ns</sup>	13,6	b <sup>**</sup>
0,4 + 3,0	Padrão	1,25	21,9	a
0,4 + 1,2	3% inicial	0,00	9,3	b
0,4 + 3,0	3% inicial	0,00	9,5	b
0,4 + 1,2	3% linear	0,00	15,1	a
0,4 + 3,0	3% linear	0,00	17,4	a
QR1,5 + 1,2	3% linear	0,00	18,8	a
QR1,5 + 3,0	3% linear	0,00	21,9	a
CV (%)		-	11,9	
		Podridão (%)		Sadios
		Saída	7 dias a 20°C	
0,4 + 1,2	Padrão	2,5 <sup>ns</sup>	19,2	a
0,4 + 3,0	Padrão	4,4	21,3	a
0,4 + 1,2	3% inicial	2,5	7,5	b
0,4 + 3,0	3% inicial	3,8	7,0	b
0,4 + 1,2	3% linear	2,5	3,1	b
0,4 + 3,0	3% linear	2,5	11,6	b
QR 1,5 + 1,2	3% linear	4,4	10,1	b
QR 1,5 + 3,0	3% linear	1,3	7,5	b
CV (%)		56,9	26,6	4,73

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

O alto CO<sub>2</sub> está associado à ocorrência de degenerescência da polpa, fato observado neste experimento. Quando o alto CO<sub>2</sub> foi associado à indução da perda de massa, a degenerescência foi menor ou igual à condição sem indução de perda de massa, exceto nas condições com QR onde ocorreu a maior incidência de degenerescência (Tabela 7). Na condição com QR, provavelmente o baixo O<sub>2</sub> também tenha contribuído para aumentar este distúrbio, uma vez que a pressão parcial de O<sub>2</sub> média foi de 0,16 kPa na condição QR1,5 + 3,0 kPa CO<sub>2</sub>. Apesar de, no final do armazenamento os níveis de CICO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> na célula não apresentarem diferença entre as condições com alto CO<sub>2</sub> com e sem indução da perda de massa, possivelmente o menor acúmulo de CO<sub>2</sub> no início do armazenamento nos frutos com perda de massa, como apresentado na análise aos dois meses de armazenamento (Tabela 7), pode ter contribuído para causar menor degenerescência. Em maçã ‘Gala’, o baixo O<sub>2</sub> e o alto CO<sub>2</sub> foram mais prejudiciais quando utilizados no início do período de armazenamento (CERETTA et al., 2010). Apesar do benefício do alto CO<sub>2</sub> na conservação de frutos, quando excessivamente alto causa estresse oxidativo e acúmulo de peróxido de hidrogênio, o que causa dano à membrana da célula e o escurecimento, sintoma da degenerescência, que pode ser potencializado pelo O<sub>2</sub> excessivamente baixo (LARRIGAUDIÈRE et al., 2001; CASTRO et al., 2008; HERREMANS et al., 2013). A redução da pressão parcial de CO<sub>2</sub> na câmara de armazenamento comercial apresenta alto consumo de energia elétrica, principalmente para manter baixo CO<sub>2</sub>, como por exemplo 1,2 kPa, pois a eficiência do sistema de adsorção reduz conforme a pressão parcial de CO<sub>2</sub> é reduzida. Por isso, a utilização de pressão parcial de CO<sub>2</sub> mais elevada, além de contribuir para maior redução do metabolismo, é importante também para redução do consumo de energia elétrica.

Tabela 7– Degenerescência, concentração interna de CO<sub>2</sub> (CICO<sub>2</sub>) e CO<sub>2</sub> na célula de maçã ‘Galaxy’ após dois e nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013.

Tratamento		Degenerescência (%)	CICO <sub>2</sub> (ml 100ml <sup>-1</sup> )	
O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa*		2 meses	9 meses
0,4 + 1,2	Padrão	4,3 c**	2,62 a	3,16 <sup>ns</sup>
0,4 + 3,0	Padrão	7,5 b	2,50 a	4,19
0,4 + 1,2	3% inicial	1,3 d	2,33 b	3,62
0,4 + 3,0	3% inicial	4,4 c	2,31 b	4,06
0,4 + 1,2	3% linear	7,6 b	2,54 a	3,60
0,4 + 3,0	3% linear	12,4 b	2,47 a	3,86
QR1,5 + 1,2	3% linear	12,5 b	2,23 b	3,18
QR1,5 + 3,0	3% linear	22,5 a	2,22 b	3,87
CV (%)		24,8	6,50	16,5
			CO <sub>2</sub> na célula (ml 100ml <sup>-1</sup> )	
			2 meses	9 meses
0,4 + 1,2	Padrão		8,10 b	7,20 b
0,4 + 3,0	Padrão		14,5 a	14,8 a
0,4 + 1,2	3% inicial		8,37 b	7,90 b
0,4 + 3,0	3% inicial		15,7 a	14,1 a
0,4 + 1,2	3% linear		6,16 b	7,80 b
0,4 + 3,0	3% linear		10,7 b	14,9 a
QR 1,5 + 1,2	3% linear		8,27 b	7,60 b
QR 1,5 + 3,0	3% linear		10,2 b	15,1 a
CV (%)			35,9	10,2

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Após dois meses de armazenamento, a CICO<sub>2</sub> foi menor nos frutos com indução de perda de massa inicial (Tabela 7). Os frutos com perda de massa linear em atmosfera controlada não diferiram da condição padrão. Os frutos em atmosfera controlada dinâmica (QR 1,5) também apresentaram menor CO<sub>2</sub> intercelular aos dois meses, provavelmente pelo menor metabolismo dos frutos devido à baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> para manter o QR de 1,5. Aos nove meses a CICO<sub>2</sub> não apresentou diferença entre os tratamentos. O CO<sub>2</sub> na célula aos nove meses foi maior nos tratamentos com alto CO<sub>2</sub>, sendo que a perda de massa, tanto inicial quanto linear, não causou redução do CO<sub>2</sub> na célula.

A suculência da maçã ‘Galaxy’ com perda de massa foi menor do que as condições sem perda de massa, apesar de diferirem somente do tratamento com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 1,2 kPa CO<sub>2</sub> sem indução da perda de massa (Tabela 8). Como a perda de massa ocorre principalmente pela perda de água, há tendência de haver redução do suco livre do fruto. Utilizando a UR de 90% e 96% em maçã ‘Gala’, Lunardi et al. (2004) reportam que a suculência dos frutos não foi alterada pela UR da câmara. Com este nível de UR, Pinto (2012) encontrou perda de massa de 12% em maçã ‘Fuji’ armazenada em AC durante 9,5 meses. Diferentemente do experimento II, com maçã ‘Royal Gala’, a firmeza da polpa e a acidez não apresentaram diferença entre os tratamentos na cultivar Galaxy. O teor de sólidos solúveis foi maior nos tratamentos com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa inicial ou linear (Tabela 8).

Tabela 8– Suculência, firmeza, sólidos solúveis e acidez de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013.

Tratamento		Suculência	Firmeza (N)
O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa *	(%)	
0,4 + 1,2	Padrão	69,8 a**	68,6 <sup>ns</sup>
0,4 + 3,0	Padrão	63,6 b	71,2
0,4 + 1,2	3% inicial	61,9 b	75,6
0,4 + 3,0	3% inicial	59,0 b	73,7
0,4 + 1,2	3% linear	60,1 b	74,1
0,4 + 3,0	3% linear	57,1 b	73,7
QR1,5 + 1,2	3% linear	60,9 b	72,3
QR1,5 + 3,0	3% linear	60,7 b	73,2
CV (%)		4,68	3,79
		Sólidos Solúveis	Acidez
		(°brix)	(mEq 100ml <sup>-1</sup> )
0,4 + 1,2	Padrão	12,1 b	4,23 <sup>ns</sup>
0,4 + 3,0	Padrão	12,2 b	4,12
0,4 + 1,2	3% inicial	12,3 b	4,43
0,4 + 3,0	3% inicial	12,9 a	4,46
0,4 + 1,2	3% linear	12,5 b	4,17
0,4 + 3,0	3% linear	13,1 a	4,31
QR 1,5 + 1,2	3% linear	12,5 b	4,17
QR 1,5 + 3,0	3% linear	12,4 b	4,06
CV (%)		2,20	4,49

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Apesar da pressão parcial de O<sub>2</sub> ser extremamente baixa nos tratamentos com QR 1,5, não houve maior acúmulo de etanol nestes tratamentos comparado às condições padrão. A redução do O<sub>2</sub> provoca fermentação, que produz acetaldeído e etanol (SAQUET; STREIF, 2008), os quais, quando em excesso, causam uma cadeia de reações que conduz a morte da célula (FRANCK et al., 2007). Ocorreu acúmulo de etanol na condição com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa linear. A permeabilidade da membrana, bem como a atividade da ACC oxidase não foram afetadas pelas condições de armazenamento.

Tabela 9 – Etanol, permeabilidade da membrana e ACC oxidase de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013.

O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Tratamento Perda de massa *	Etanol ( $\mu\text{L L}^{-1}$ )	Permeabilidade da membrana (%)	ACC oxidase ( $\eta\text{L C}_2\text{H}_4 \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )
0,4 + 1,2	Padrão	11,9 b**	24,9 <sup>ns</sup>	44,6 <sup>ns</sup>
0,4 + 3,0	Padrão	6,7 b	19,8	48,4
0,4 + 1,2	3% inicial	29,8 b	20,9	45,9
0,4 + 3,0	3% inicial	10,1 b	21,1	54,9
0,4 + 1,2	3% linear	14,6 b	20,3	70,4
0,4 + 3,0	3% linear	316,2 a	22,4	45,8
QR1,5 + 1,2	3% linear	26,9 b	21,3	23,3
QR1,5 + 3,0	3% linear	4,9 b	20,9	47,9
CV (%)		10,7	9,95	19,5

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; *ns* = não significativo.

Na saída da câmara a produção de etileno foi menor nos tratamentos com perda de massa, exceto para condição com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 1,2 kPa CO<sub>2</sub> com indução da perda de massa inicial, que não diferiu da condição padrão com 3,0 kPa CO<sub>2</sub> (Tabela 10). Após 4 e 6 dias de exposição a 20°C houve maior produção de etileno nas condições com 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa inicial e linear, e 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 1,2 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa linear. Este resultado é semelhante ao encontrado no experimento com maçã ‘Royal Gala’, onde o tratamento com 3% de perda de massa linear também apresentou maior produção de

etileno após a saída da câmara. Provavelmente, este resultado é devido aos frutos estarem menos senescentes. Também não está de acordo com o reportado por Brackmann et al. (2007), que encontraram menor produção de etileno com indução da perda de massa durante a exposição dos frutos a 20°C. A respiração foi maior nos tratamentos sem indução de perda de massa na saída da câmara e após dois dias de exposição a 20°C, apesar do tratamento 0,4 kPa O<sub>2</sub> + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> e QR1,5 + 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa linear também apresentarem maior respiração na saída da câmara. Aos 4 e 6 dias de exposição a 20°C não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 10 – Produção de etileno e respiração de maçã ‘Galaxy’ após nove meses de armazenamento em AC ou ACD em alto CO<sub>2</sub> com perda de massa. Santa Maria, 2013.

Tratamento		Produção de etileno (µL C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )						
O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (kPa)	Perda de massa *	Saída		2 dias a 20°C	4 dias a 20°C	6 dias a 20°C		
0,4 + 1,2	Padrão	0,79	a**	0,40 <sup>ns</sup>	0,62	b	1,52	b
0,4 + 3,0	Padrão	0,43	b	0,15	0,35	b	0,57	b
0,4 + 1,2	3% inicial	0,36	b	0,31	1,26	b	2,15	b
0,4 + 3,0	3% inicial	0,16	c	0,62	2,16	a	4,07	a
0,4 + 1,2	3% linear	0,25	c	0,74	2,10	a	3,37	a
0,4 + 3,0	3% linear	0,18	c	0,50	2,65	a	5,43	a
QR1,5 + 1,2	3% linear	0,12	c	0,10	0,24	b	0,35	b
QR1,5 + 3,0	3% linear	0,08	c	0,13	0,32	b	0,55	b
CV (%)		36,8		74,2	59,9	51,7		
		Respiração (ml CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )						
		Saída		2 dias a 20°C	4 dias a 20°C	6 dias a 20°C		
0,4 + 1,2	Padrão	6,27	a	8,16	6,68 <sup>ns</sup>	7,44 <sup>ns</sup>		
0,4 + 3,0	Padrão	7,42	a	8,70	6,37	6,73		
0,4 + 1,2	3% inicial	4,19	b	5,40	4,51	5,51		
0,4 + 3,0	3% inicial	5,52	b	6,07	5,97	6,01		
0,4 + 1,2	3% linear	5,28	b	6,22	5,56	5,89		
0,4 + 3,0	3% linear	7,29	a	6,87	6,66	7,50		
QR 1,5 + 1,2	3% linear	4,96	b	5,35	4,85	5,04		
QR 1,5 + 3,0	3% linear	6,54	a	6,71	5,90	6,64		
CV (%)		14,2		14,8	15,7	16,4		

\* Padrão = perda de massa natural (0,9%); 3% inicial = perda de massa durante os dois primeiros meses de armazenamento; 3% linear = perda de massa durante todo o período de armazenamento;

\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

#### 4.3.1 Considerações finais do experimento III

A perda de massa do fruto aumenta a difusão de gases de maçã ‘Galaxy’ armazenada em atmosfera controlada.

A utilização 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com QR 1,5 com perda de massa linear não é recomendada, pois causa alta incidência de degenerescência e resulta em menor número de frutos sadios. A pressão parcial de 3,0 kPa CO<sub>2</sub> com perda de massa de 3% inicial pode ser utilizada durante o armazenamento de maçãs ‘Galaxy’ em AC com 0,4 kPa de O<sub>2</sub>.

A perda de massa de 3% no início do período do armazenamento é melhor do que durante todo período, pois reduz a concentração interna de CO<sub>2</sub>, degenerescência e polpa farinácea.

#### 4.4 Experimento IV - Perda de massa em diferentes posições de uma câmara comercial

A perda de massa foi diferente entre as posições dos frutos na câmara (Tabela 11). Definiu-se como frente da câmara o local onde se localiza a porta e o evaporador e o fundo, o lado para onde o evaporador direciona o fluxo de ar frio. Analisando conjuntamente os dados, houve maior perda de massa na parte inferior da câmara, evidenciado pelo contraste X1, que foi significativo. Na comparação entre o meio com o fundo da câmara, o contraste foi não significativo (contraste X2). Entretanto, o meio comparado com a frente da câmara foi significativo, com maior perda de massa na frente da câmara (contraste X3). Novamente, no contraste X4, a parte da frente da câmara apresentou maior perda de massa quando comparada com o fundo da câmara. Provavelmente a parte superior da câmara é onde a temperatura é menor e a UR é maior, pelo fato do sistema de refrigeração e umidificação atuarem primeiramente nestas posições. Chourasia; Goswami (2007) reportam que sacos de batata perderam menos massa na parte superior da câmara devido ao fato de estarem com menor temperatura e maior UR, próximos da serpentina e dos ventiladores. A diferença na perda de massa entre as posições da câmara está de acordo com outros autores quando afirmam haver diferenças na circulação de ar e UR dentro da câmara comercial (HELLICKSON; BASKINS, 2003; NAHOR et al., 2005; DELETE et al., 2009a). Uma possível explicação para a maior perda de massa na parte inferior e na frente da câmara é devido ao sentido da ventilação e umidificação, pois inicialmente o ar frio e úmido atinge a parte superior e fundo da câmara. Então retira calor dos frutos e aumenta sua temperatura, conseqüentemente reduzindo sua UR. A medida que retorna para frente da câmara, por entre as pilhas de *bins*, o processo de retirada



de calor continua, principalmente do piso da câmara que não é isolado termicamente. Além disso, umidade ainda pode ser absorvida pela madeira dos *bins* nas primeiras semanas de armazenamento, o que contribui ainda mais para redução da UR e desidratação da maçãs. A madeira do *bin* pode absorver água até 10% do sua massa (SCHWARZ, 1994).

Todos os contrastes foram não significativos para a firmeza da polpa. Entre as posições, observa-se que houve uma tendência de maior firmeza nos locais com maior perda de massa (4, 5, 8, 9 e 10). Este resultado está de acordo com o encontrado no experimento II, onde a perda de massa resultou em frutos com maior firmeza (Figura 6).

Tabela 11 - Perda de massa, firmeza, degenerescência e polpa farinácea de maçã ‘Royal Gala’ em diferentes posições de uma câmara de armazenamento comercial, armazenadas em atmosfera controlada dinâmica a 1,0°C durante oito meses. Vacaria, RS, 2012.

Posição na câmara	Descrição	Perda de massa (%)	Firmeza (N)	Degenerescência (%)	Polpa farinácea (%)
1	Superior <sup>I</sup> -Fundo-Esq. <sup>II</sup>	2,0 c	76,1 b	4,5 a	4,5 a
2	Superior-Fundo-Dir.	1,9 c	77,5 b	6,0 a	0,0 b
3	Superior-Meio	1,7 c	77,7 b	0,0 b	0,0 b
4	Superior-Frente-Esq.	2,0 c	80,2 a	0,0 b	0,0 b
5	Superior-Frente-Dir.	2,9 a	82,1 a	0,0 b	0,0 b
6	Inferior <sup>II</sup> -Fundo-Esq.	1,8 c	76,0 b	4,6 a	0,0 b
7	Inferior-Fundo-Dir.	1,9 c	75,0 b	0,0 b	0,0 b
8	Inferior-Meio	2,4 b	82,7 a	0,0 b	0,0 b
9	Inferior-Frente-Esq.	2,8 a	79,7 a	0,0 b	0,0 b
10	Inferior-Frente-Dir.	3,0 a	80,8 a	5,6 a	0,0 b
	Média	2,2	78,8	2,1	0,4
	CV(%)	5,97	4,28	39,9	65,2
		X1	-0,31 <sup>*</sup>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	Contrastes <sup>1</sup>	X2	<i>ns</i>	1,40 <sup>*</sup>	<i>ns</i>
		X3	0,63 <sup>*</sup>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
		X4	-0,80 <sup>*</sup>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

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 3.

<sup>(ns)</sup>: não significativo.

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

A degenerescência da polpa foi maior no fundo do que no meio da câmara, onde houve menor perda de massa (contraste X2). Este resultado também condiz com a hipótese,

confirmada pelos experimentos anteriores, em que a menor perda de massa teve associação com a menor difusão de gases na polpa, resultando em acúmulo de CO<sub>2</sub> e maior incidência de degenerescência, uma vez que este distúrbio tem relação com alto CO<sub>2</sub> na polpa (HO et al., 2010b e 2011; HERREMANS et al., 2013). Quanto à polpa farinácea, não houve significância entre os contrastes, apenas a posição 1 apresentou maior ocorrência.

Nesta câmara onde foi avaliada a perda de massa em diferentes posições, foi instalado um evaporímetro ventilado. Os dados da evaporação foram coletados em parte do período de armazenamento, mesmo assim se pode observar que houve uma evaporação média de 1,4 cm dia<sup>-1</sup> de coluna de água (Figura 7), a qual proporcionou média de perda de massa da câmara de 2,2% (Tabela 11). Este nível de perda de massa está próximo do valor ideal para melhor manutenção da qualidade da maçã, de acordo com os dados apresentados nos experimento II e III. Ainda, se pode observar que no início do período de armazenamento a evaporação foi maior, provavelmente devido à madeira dos *bins* absorverem água neste período, o que reduziu o conteúdo de umidade do ar e aumentou a evaporação de água dos frutos.

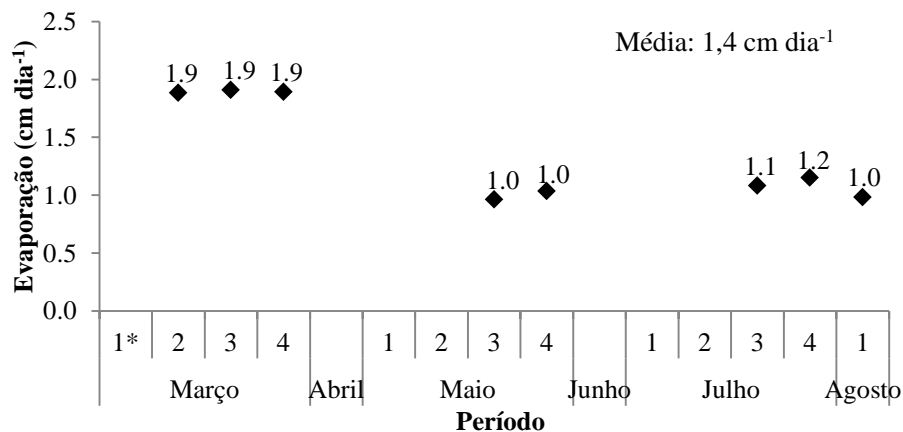


Figura 7 - Evaporação média semanal pelo evaporímetro ventilado em câmara frigorífica de armazenamento comercial com capacidade para 800 t de maçã. Vacaria, RS, 2012. \*Os algarismos referem-se às semanas de cada mês.

#### 4.4.1 Considerações finais do experimento IV

A perda de massa de maçãs ocorre de forma heterogênea numa câmara comercial de armazenamento, sendo que a perda é mais elevada na parte inferior e na frente da câmara, abaixo do evaporador.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O evaporímetro ventilado permite monitorar a perda de massa e a umidade relativa da câmara de forma prática e os resultados são de fácil interpretação pelo técnico armazenador, pois a partir da evaporação média de alguns dias é possível tomar a decisão de aumentar ou reduzir a umidificação da câmara. Além disso, permite a determinação média da umidade ao longo de um determinado período (dia, semana), além de dar uma ideia da real perda de água pelo fruto. Uma evaporação diária de em torno de  $1,5 \text{ cm dia}^{-1}$  de coluna de água é adequada para o armazenamento de maçãs, pois a perda de massa que ocorre fica dentro da faixa ideal.

A indução da perda de massa em maçãs, pela redução umidade relativa da câmara de armazenamento, tem grande influência na conservação da qualidade dos frutos, pois aumenta a difusão de gases na polpa do fruto. Conseqüentemente, reduz distúrbios fisiológicos, principalmente associados ao alto  $\text{CO}_2$  e, desta forma, possibilita a utilização de pressão parcial de  $\text{CO}_2$  mais elevada (3,0 kPa), principalmente quando a perda de massa é induzida no início do período de armazenamento em atmosfera controlada. Entretanto, esta alta pressão parcial de  $\text{CO}_2$  não pode ser utilizada em atmosfera controlada dinâmica com QR 1,5.

A perda de massa ocorre de forma heterogênea nos diferentes pontos da câmara frigorífica comercial, sendo que ocorre mais perda de massa na parte inferior e na frente, abaixo dos evaporadores.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAPOMI. Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã: dados estatísticos – produção de maçã no Rio Grande do Sul safra 2012/2013, 2013. Disponível em: [http://www.agapomi.com.br/arquivos/safra\\_2013.pdf](http://www.agapomi.com.br/arquivos/safra_2013.pdf)

ANESE, R. O. et al. Nova tecnologia para monitoramento da umidade relativa em câmara frigorífica. **Jornal da Fruta**, p. 8-8, 2013.

ANTONIOLLI, L. R. et al. Qualidade de maçãs baseada nas condições nutricionais e meteorológica. In: NACHTIGALL, G. R.; GONÇALVES, B. (Ed.). **Inovações tecnológicas para o setor da maçã – Inovamaçã: relatório técnico**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. p. 275-310.

ARGENTA, L.; FAN, X.; MATTHIES, J. Impact of watercore on gas permeance and incidence of internal disorders in 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, p. 113-122, 2002.

BAI, Y. et al. Structural changes in apple rings during convection air-drying with controlled temperature and humidity, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 50, p. 3179-3185, 2002.

BARTNICKI, V. A. et al. Água aquecida e radiação UV-C no controle pós-colheita de *Cryptosporiopsis perennans* em maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 124-131, 2010.

BAUMANN, H.; HENZE, J. Intercellular space volume of fruit. **Acta Horticulturae**, v. 138, p. 107-112, 1983.

BELIE D. N. et al. Preliminary study on the influence of turgor pressure on body reflectance of red laser light as a ripeness indicator for apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 16, p. 279 – 284, 1999.

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.

BEN-YEHOSHUA, S.; ROBERTSON, R. N.; BIALE, J. B. Respiration and internal atmosphere of avocado fruit. **Plant Physiology**, v. 38, p. 194–201, 1963.

BOERSIG, M. R.; KADER, A.A.; ROMANI, R.J. Aerobic-anaerobic respiratory transition in pear fruit and cultured pear fruit cells. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 113, p. 869-873, 1988.

BORTOLUZZI-MAAG, G.; BRACKMANN, A. Qualidade da maçã 'Fuji' relacionada com a umidade relativa e a temperatura de armazenamento, **Revista Científica Rural**, v. 6, n. 1, p. 01-05, 2001.

BLEICHER, J. et al. Doenças fúngicas dos frutos. In: **A cultura da macieira**. Florianópolis, EPAGRI, 2006. p. 556-566.

BRACKMANN, A. et al. Manejo do etileno e sua relação com a maturação de maçãs 'Gala' armazenadas em atmosfera controlada. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 519-525, 2009a.

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

BRACKMANN, A., BORTOLUZZI, G. Influence of temperature, CA conditions and relative humidity on physiological disorders of 'Fuji' apples. In: PH 96 INTERNATIONAL POSTHARVEST SCIENCE CONFERENCE, 1996, Taupo. **Abstracts...** Taupo: ISHS, 1996. 232 p. p. 90

BRACKMANN, A. et al. Dynamic controlled atmosphere (DCA) monitored by respiration quotient and chlorophyll fluorescence for apple storage. In: **XI International Controlled & Modified Atmosphere Research Conference**, 2013, Trani.

BRACKMANN, A. et al. 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**, v. 29, n. 3, p. 459-463, 1999.

BRACKMANN, A. et al. Indução da perda de massa fresca e a ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 32, n. 2, p. 87-92, 2007.

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

BRACKMANN, A.; SAQUET, A. A. Armazenamento de maçã cv. Gala em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 1, n. 2, p. 55-60, 1995.

BRYANT, P. H. A model of postharvest moisture loss under air currents to reduce pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 73, p. 8-13, 2012.

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.

BURTON W. G. **Post-harvest Physiology of Food Crops**. Longman Scientific and Technical, London, 1<sup>a</sup> ed., 1982. 352p.

CASTRO, E. et al. Biochemical factors associated with a CO<sub>2</sub>-induced flesh browning disorder of Pink Lady apples, **Postharvest Biology and Technology**, n. 48, p. 182-191, 2008.

CERRETA, M. et al. Tolerância da maçã 'Gala' a pressões parciais extremas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 35, n. 1, p. 60-69, 2010.

CHOURASIA, M. K.; GOSWAMI, T. K. Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store. **International Journal of Refrigeration**, v. 30, p. 672-689, 2007.

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

CORRENT, A. R. et al. Caracterização de genes diferencialmente expressos na interação entre maçã 'Fuji' e *Botryosphaeria dothidea*, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 268-272, 2009.

DELETE, M. A. et al. Evaluation of a chicory root cold store humidification system using computational fluid dynamics. **Journal of Food Engineering**, v. 94 p. 110–121, 2009a.

DELETE, M.A. et al. Optimization of the humidification of cold stores by pressurized water atomizers based on a multiscale CFD model. **Journal of Food Engineering**, v. 91 p. 228–239, 2009b.

DIAS, J. B. **Construção e validade de uma bancada para calibração de sensores para determinação da umidade relativa do ar**. 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EKMAN, J.H.; GOLDING, J.B.; McGLASSON, W.B. Innovation in cold storage technologies. **Stewart Postharvest Review**, v. 1, n. 3, p. 1-14, 2005.

FANTA, S. W. et al. Microscale modeling of water transport in fruit tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 118, p. 229-237, 2013.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows: versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. 2000, São Carlos, SP. **Resumos...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 235.

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

GASSER, F. et al. Dynamic Ca storage of apples: monitoring of the critical oxygen concentration and adjustment of optimum conditions during oxygen reduction. **Acta Horticulturae**, v. 876, p. 39-46, 2010.

HATFIELD, S. G. S., KNEE, M. Effects of water loss on apples in storage. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 23, n. 6, 575-583, 1988.

HERREMANS, E. et al. Characterisation of 'Braeburn' browning disorder by means of X-ray micro-CT. **Postharvest Biology and Technology**, v. 75, p. 114-124, 2013.

HELLICKSON, M. L.; BASKINS, R. A. Visual documentation of air flow patterns in a controlled atmosphere storage. **Acta Horticulturae**, v. 600, p. 173-179, 2003.

HOANG, M. L. et al. Sensitivity of temperature and weight loss in the bulk of chicory roots with respect to process and product parameters **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 233-243, 2004.

HO, Q. T. et al. A permeation-diffusion-reaction model of gas transport in cellular tissue of plant materials, **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 15, p. 4215-4224, 2006a.

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

HO, Q. T. et al. Microscale mechanisms of gas exchange in fruit tissue. **New Phytologist**, v. 182, p. 163-174, 2009.

HO, Q. T. et al. A model for gas transport in pear fruit at multiple scales. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 8, p. 2071-2081, 2010a.

HO, Q. T. et al. Genotype effects on internal gas gradients in apple fruit **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 10, p. 2745-2755, 2010b.

HO, Q. T. et al. A 3-D multiscale model for gas exchange in fruit. **Plant Phytology**, v. 155, n. 3, p. 1158-1168, 2011.

HO, Q. T. et al. Controlled atmosphere storage may lead to local ATP deficiency in apple. **Postharvest Biology and Technology**, v. 78, p. 103–112, 2013.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, v. 25, n. 02, p. 1-88, 2012.

Disponível em:

[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201202.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf)

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

LARRIGAUDIÈRE, C. et al. Involvement of oxidative processes in the development of core browning in controlled atmosphere stored pears. **Journal of Horticultural Science Biotechnology**, n. 76, p. 157–162, 2001.

LAU, O. L. Influence of climate, harvest maturity, waxing, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on browning disorders of Braeburn apples. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 7, 1997, Davis. **Proceedings**. Davis: University of California, 1997. v.2, p. 132-137.

LIEBERMAN, M. Biosynthesis and action of ethylene. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 30, p. 533-591, 1979.

LIDSTER, P. D. Storage humidity influences fruit quality and permeability to ethane in ‘McIntosh’ apples stored in diverse controlled atmospheres. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 114, n. 1, p. 94-96, 1990.

LINKE, M.; SCHLÜTER, O.; GEYER, M. A simple atmospheric evaporation device as a useful tool for validation of air flow models and for process control applications. **Acta Horticulturae**, v. 802, p. 105-110, 2008.

LINK, S. O.; DRAKE, S. R.; THIEDE, M. E. Prediction of apple firmness from mass loss and shrinkage. **Journal of Food Quality**, v. 27, n. 1, p. 13-26, 2004.

LUNARDI, R. et al. Suculência e solubilização de pectinas em maçãs ‘Gala’, armazenadas em atmosfera controlada, em dois níveis de umidade relativa. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 743-747, 2004.



LUNARDI, R. **Suculência e solubilização de pectinas em maçãs ‘Gala’ após o armazenamento refrigerado ou atmosfera controlada.** 2003. 67 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

MAGUIRE, K. M. et al. Relationship between water vapour permeance of apples and micro-cracking of the cuticle. **Postharvest Biology and Technology**, v. 17, p. 89-96, 1999.

MAGUIRE, K. M. et al. Harvest date, cultivar, orchard and tree effects on water vapor permanence in apples. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v. 125, n. 1, p. 100-104, 2000.

MAIA, G. B. S. et al. **Fruticultura: a produção de maçãs no Brasil**, Informativo técnico Seagri – BNDES, n. 2, 2010.

MANNAPPERUMA, J. D.; SINGH, R. P.; MONTERO, M. E. Simultaneous gas diffusion and chemical reaction in food stored in modified atmosphere, **Journal Food Engineering**, n. 14, p. 167-183, 1991.

MONTEITH, J. L. OWEN, P. C. A thermocouple method for measuring relative humidity in the range 95-100%. **Journal of Scientific Instruments**, v. 35, p. 443-446, 1958.

MONTERO, C. R. S. et al. Alterações na cutícula de maçãs ‘Fuji’ e ‘Gala’ em função do tratamento térmico e da armazenagem refrigerada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 441-447, 2010.

NAHOR, H. B. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. **International Journal of Refrigeration**, v. 28, p. 368–380, 2005.

NETO, J. F. Avaliação das câmaras frias usadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 832-839, 2006.

NGCOBO, M. E. K. Investigating the potential of a humidification system to control moisture loss and quality of ‘Crimson Seedless’ table grapes during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 201–211, 2013.

NGUYEN, T. A. et al. Estimation of effective diffusivity of pear tissue and cuticle by means of a numerical water diffusion model. **Journal of Food Engineering**, v. 72 p. 63–72, 2006.

PAULL, R. E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 263-277, 1999.

PHAM, Q. T. et al. Simultaneous measurement of neon diffusivity and skin resistance of 'Braeburn' and 'Jonica' apples, **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 53-63, 2008.

PHAM, Q. T. et al. Simultaneous measurement of ethane diffusivity and skin resistance of 'Jonica' apples by efflux experiment, **Journal of Food Engineering**, v. 95, p. 471-478, 2009.

PINTO, J. A. V. **Manejo da umidade relativa do ar durante o armazenamento e sua relação com o amadurecimento e distúrbios fisiológicos em frutas**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PRANGE, R. K. et al. Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll containing fruit and vegetables. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, p. 603-607, 2003.

PRANGE, R. et al. Method and apparatus for monitoring a condition in chlorophyll containing matter. **U.S. Patent**, n.WO/2002/006795, 2007.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, n. 1, p. 1-19, 2007.

RABUS, C. **Entwicklung eines Simulationsmodells zur Berechnung von fruchtinternen Atmungs - und Diffusionsvorgängen am Beispiel der Apfelsorte Braeburn**. 2002.168 f. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart, 2002.

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.

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, n.2, p.243-249, 2000.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. BANGERTH, F. Effect of various CA-storage conditions on ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in Conference pears. **Acta horticulturae**, v.1, n.553, p.275-278, 2001.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. BANGERTH, F Energy metabolism and membrane lipid alterations related to the incidence of brown heart in Conference pears during delayed controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.30, p.123-132, 2003.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in Jonagold apples under controlled atmosphere storage. **European Journal of Horticultural Science**, v. 73, p. 43-46, 2008.

SCHWARZ, A. Relative humidity in cool store: measurement control and influence of discreet factors. **Acta Horticulturae**, v. 368, p. 687-692, 1994.

SCHOTSMANS, W. et al. Factors affecting skin resistance measurements in pipfruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 25, p. 169-179, 2002.

SCHOTSMANS, W. et al. Simultaneous measurement of oxygen and carbon dioxide diffusivity in pear fruit tissue. **Postharvest Biology and Technology**, v. 29, p. 155-166, 2003.

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, n., p. 1131-1140, 2004.

SCOTT, K. J.; ROBERTS, E. A. The importance of weight loss in reducing breakdown of Jonathan apples. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 8, p. 377-379, 1968.

SOMBOONKAEW, N.; TERRY, L. A. Altered physiology and biochemistry of imported litchi fruit held under different vapor pressure deficits. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, p. 6209–6218, 2010.

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

THEWES, F. R. et al. Difusão de gases na polpa de maçãs varia entre cultivares. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO - ENFRUTE, 13, Fraiburgo - SC, 2013. **Anais...** Caçador: Epagri, v. 2, 2013. 224 p.

THOMPSON, J. F. Psicrometría y productos percederos. In: KADER, A.A. (Ed.). **Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas**. 3<sup>rd</sup> ed. Davis: University of California, 2002. p.149-155.

THOMPSON, A. K. **Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables**. Preston: Ed. Shankari Wilford, 2010. 289p.

TURKETTI, S. S.; CURRY, E.; LÖTZE, E. Role of lenticel morphology, frequency and density on incidence of lenticel breakdown in ‘Gala’ apples. **Scientia Horticulturae**, v. 138, p. 90-95, 2012.

VELTMAN, R. H. et al. Internal browning in pear fruit (*Pyrus communis* L. cv Conference) may be a result of a limited availability of energy and antioxidants. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, p. 295-302, 2003.

VERAVERBEKE, E. A. et al. Changes in chemical wax composition of three different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 23, p. 197-208, 2001a.

VERAVERBEKE, E. A. et al. Non destructive analysis of the wax layer of apple (*Malus domestica* Borkh.) by means of confocal laser scanning microscopy. **Planta**, v. 213, p. 525-533, 2001b.

VERAVERBEKE, E. A. et al. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* subsp. *mitis* (Wallr.)) during storage: part 2. Model simulations and practical applications. **Postharvest Biology and Technology**, v. 30, p. 89-97, 2003a.

VERAVERBEKE, E. A. et al. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* subsp. *mitis* (Wallr.)) during storage. Part 1. Model development and determination of diffusion coefficients. **Postharvest Biology and Technology**, v. 30, p. 75-88, 2003b.

VERBOVEN, P. et al. Three-dimensional gas exchange pathways in pome fruit characterized by synchrotron X-ray computed tomography, **Plant Physiology**, v. 147, n. 2, p. 518-527, 2008.

VOGEL, H. J. Topological characterization of porous media. In: Mecke, K.R., Stoyan, D. (Eds.), **Morphology of Condensed Matter: Physics and Geometry of Spatially Complex Systems**. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, p. 75–92, 2002.

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

WILD, H. P. J. et al. The action site of carbon dioxide in relation to inhibition of ethylene production in tomato fruit, **Postharvest Biology and Technology**, v. 36, n. 2, p. 273-280, 2005.

WRIGHT, A. H. Dynamic controlled atmosphere (DCA): Does fluorescence reflect physiology in storage? **Postharvest Biology and Technology**, v. 64, p. 19-30, 2012.

ZANELLA, A. et al. Fruit fluorescence response to low-oxygen stress: modern storage technologies compared to 1-MCP treatment of apple. **Acta Horticulturae**, v. 682, p. 1535-1542, 2005.