

RESPIRAÇÃO DE FRUTOS E PERMEABILIDADE DE FILMES POLIMÉRICOS

por

Cristiano André Steffens

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

PPGA

Santa Maria, RS, Brasil

2006

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

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

**RESPIRAÇÃO DE FRUTOS E PERMEABILIDADE DE FILMES
POLIMÉRICOS**

elaborada por

Cristiano André Steffens

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Auri Brackmann
Prof. Dr. - UFSM
(Presidente/Orientador)

Nereu Augusto Streck
Prof. Dr. – UFSM

César Valmor Rombaldi
Prof. Dr. – UFPel

Sidinei José Lopes
Prof. Dr. – UFSM

Tatiana Emanuelli
Prof^ª. Dr.^a. - UFSM

Santa Maria, 03 de fevereiro de 2006.

**A minha esposa Andrea e meu filho Andreos,
com todo meu amor e gratidão,
em consideração pela sua constante presença e
estímulo ao meu empenho.**

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao completar mais uma etapa em minha formação, presto o meu sincero agradecimento a pessoas que contribuíram para o alcance desta, especialmente:

A minha esposa Andrea e filho Andreos, presença constante em minha vida, pelo apoio, dedicação e amor.

Aos meus pais Ary (*in memorian*) e Sofia, e irmãos Elaine, Elene, Luiz Carlos, Paulo e Jeferson pelo incentivo, ajuda e carinho.

Aos meus sogros e cunhados(as), pela convivência e ajuda.

Ao meu orientador Auri Brackmann, pela ajuda, confiança e colaboração no decorrer da minha vida acadêmica e na construção deste trabalho.

A todos os professores, que de alguma forma contribuíram na minha formação acadêmica.

Aos meus colegas e integrantes do Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita pela feliz convivência e troca de experiências.

Aos meus amigos pelo incentivo e convivência constante.

Enfim, a todos que de alguma forma interferiram de forma positiva em minha vida e neste estudo.

Obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Armazenamento em atmosfera modificada	14
2.2. A respiração de frutos armazenados em atmosfera modificada	15
2.3. Efeitos da atmosfera modificada na manutenção da qualidade de frutas	18
2.4. Atmosfera modificada e a ocorrência de distúrbios fisiológicos	20
2.5. Filmes poliméricos usados no armazenamento em atmosfera modificada	20
2.6. Permeabilidade de filmes poliméricos	22
3. CAPÍTULO 1.....	23
3.1. Escurecimento da polpa e respiração de pêssegos em função das condições de armazenamento.....	23
3.1.1. Resumo	23
3.1.2. Abstract.....	24
3.1.3. Introdução.....	24
3.1.4. Material e métodos	26
3.1.5. Resultados e discussão	28
3.1.6. Conclusão	32
4. CAPÍTULO 2	33
4.1. Degenerescência da polpa e respiração de quivi cv.Bruno em função das condições de armazenamento.....	33
4.1.1. Resumo	33
4.1.2. Abstract.....	33
4.1.3. Introdução.....	34
4.1.4. Material e métodos	36

4.1.5. Resultados e discussão	37
4.1.6. Conclusão	40
5. CAPÍTULO 3	41
5.1. Respiração de frutas de clima temperado	41
5.1.1. Resumo	41
5.1.2. Abstract.....	42
5.1.3. Introdução.....	42
5.1.4. Material e métodos	43
5.1.5. Resultados e discussão	46
5.1.6. Conclusão	54
6. CAPÍTULO 4	54
6.1. Metodologia para determinação da permeabilidade de filmes para uso em atmosfera modificada	54
6.1.1. Resumo	54
6.1.2. Abstract.....	55
6.1.3. Introdução.....	56
6.1.4. Material e métodos	57
6.1.5. Resultados e discussão	60
6.1.6. Conclusão	65
7. CAPÍTULO 5	66
7.1. Permeabilidade de filmes de polietileno e sua utilização no armazenamento de frutas	66
7.1.1. Resumo	66
7.1.2. Abstract.....	67
7.1.3. Introdução.....	68
7.1.4. Material e métodos	69

7.1.5. Resultados e discussão	72
7.1.6. Conclusão	77
8. CONCLUSÕES GERAIS	78
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

RESPIRAÇÃO DE FRUTOS E PERMEABILIDADE DE FILMES POLIMÉRICOS

Autor: Cristiano André Steffens

Orientador: Prof. Dr. Auri Brackmann

Santa Maria, 3 de fevereiro de 2006

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a respiração e o quociente respiratório de frutos de diversas espécies em função da cultivar, ponto de maturação, temperatura e condições de atmosfera, durante o armazenamento, para obter dados sobre a possibilidade de ocorrer fermentação e distúrbios fisiológicos em frutos armazenados em atmosfera modificada. Também, objetivou-se desenvolver uma metodologia para avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos ao O₂ e CO₂ sob condições experimentais de armazenamento que produzam resultados que possam ser utilizados na escolha de um filme para o armazenamento de frutas em atmosfera modificada. Para tanto, avaliou-se a respiração de frutos de algumas cultivares de maçã, quivi, caqui e pêsego, em dois estádios de maturação, diferentes temperaturas de armazenamento (0, 10 e 20°C) e condições de armazenamento (armazenamento refrigerado e atmosfera modificada). Também avaliou-se o efeito de condições de armazenamento sobre a incidência de degenerescência da polpa, de sabor e de aroma alcoólico em pêsegos 'Jubileu' e quivi 'Bruno' e a relação destes parâmetros com a respiração. Para o estudo da permeabilidade dos filmes poliméricos, foi avaliado o efeito da umidade relativa, da temperatura (0, 5, 10, 15 e 20°C) e do gradiente da concentração de gases (10, 15 e 20% de O₂ e 5, 10 e 15% de CO₂) sobre a permeabilidade de diferentes filmes poliméricos (celofane permeável e impermeável ao vapor d'água, policloreto de vinila, náilon, polipropileno biorientado, polietileno de baixa e de alta densidade). Também avaliou-se o efeito da espessura, da densidade, da presença de aditivos, da temperatura e do gradiente de concentração de gases sobre a permeabilidade de filmes de polietileno. Segundo os resultados, a incidência de degenerescência da polpa e a presença de sabor alcoólico em pêsego 'Jubileu' e quivi 'Bruno' foi menor nos níveis de CO₂ mais baixos (5 e 8kPa de CO₂), independentemente do nível de O₂, respectivamente. A ocorrência destes distúrbios fisiológicos, em ambas espécies, apresentou correlação positiva com o quociente respiratório

e negativa com a respiração dos frutos. As cultivares de maçã, Gala a 0°C e Fuji a 0 e 10°C, não apresentaram pico respiratório característico de frutos climatéricos. O estágio de maturação influenciou a taxa respiratória nas duas cultivares de maçã e no caqui 'Giombo' a 0°C, e nos caquis 'Fuyu' e 'Rama Forte' armazenados a 10°C. O aumento da temperatura exerceu forte efeito sobre o incremento na taxa respiratória. O valor Q_{10} variou de acordo com a espécie e com a faixa de variação da temperatura. A modificação da atmosfera, em média, reduziu a taxa respiratória em 14,3%, em frutos armazenados a 0°C. A câmara de permeação projetada e construída permitiu avaliar filmes poliméricos quanto à permeabilidade aos gases e a sua determinação deve ser realizada em condições semelhantes as utilizadas no armazenamento comercial. Os resultados de permeabilidade aos gases, obtidos pela metodologia descrita, podem ser utilizados para a escolha de um filme adequado ao armazenamento de determinado fruto em atmosfera modificada.

Palavras-chave: armazenamento, atmosfera modificada, distúrbios fisiológicos, pós-colheita.

ABSTRACT

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

RESPIRATION OF FRUITS AND PERMEABILITY OF POLYMERIC FILMS

Author: Cristiano André Steffens

Adviser: Prof. Dr. Auri Brackmann

Santa Maria, February 3th, 2006.

The objective of this work was to evaluate the respiration and respiratory quotient of fruits of several species with respect to cultivars, ripening stage, temperature and atmosphere conditions during storage, to obtain information about the possibility of fermentation and physiological disorders occurrence in fruits stored in modified atmosphere. Also, we aimed at developing a methodology to evaluate the permeability to O₂ and CO₂ of polymeric films under experimental storage conditions in order to provide results that could be used to choose film for storing fruits in modified atmosphere. Respiration of fruits of some cultivars of apple, kiwifruit, persimmon and peach, in two ripening stages at harvest, different temperatures (0, 10 and 20°C) and storage conditions (cold storage and modified atmosphere) were evaluated. The effect of storage conditions on the internal breakdown, alcoholic taste and the relation of these parameters with respiration in 'Jubileu' peach and 'Bruno' kiwi was evaluated. For the study of permeability of polymeric films, the effect of relative humidity, temperature (0, 5, 10, 15, and 20°C) and concentration gradient of gases (10, 15, and 20% of O₂ and 5, 10, and 15 of CO₂) on the permeability of different polymeric films (cellophane permeable and impermeable to water vapour, polyvinyl chloride, nylon, polypropylene bi-oriented, low and high density polyethylene) was evaluated. The effect of thickness, density, presence of additives, temperature and concentration gradient of gases on the permeability of polyethylene films was also determined. Internal breakdown incidence and presence of alcoholic taste in 'Jubileu' peach and 'Bruno' kiwi were lower at the lowest levels of CO₂ (5 and 8kPa), independently of O₂ level, respectively. The incidence of these physiological disorders, in both species, showed positive correlation with respiratory quotient and negative with respiration of fruits. 'Gala' apple, stored at 0°C, and 'Fuji' apple, at 0 and 10°C, did not show a characteristic of climacteric respiratory rise. Fruit ripening stage at harvest influenced

the respiration rate at two apple cultivars and at 'Giombo' persimmon at 0°C and at 'Fuyu' and 'Rama Forte' persimmons stored at 10°C. The respiration rate was influenced by cultivars in all species of evaluated fruits. The increase of temperature had a strong effect on the increment in respiration rate. Q_{10} value ranged according to species and with range of temperature. The modification of atmosphere, on average, reduced the respiration rate in 14.3%, at 0°C. The permeation chamber projected and constructed permitted to evaluate polymeric films in relation to gases permeability and its determination must be done under conditions like those used in commercial storage. Results of gases permeability, obtained by the methodology described could be used for choosing a suitable film to the store fruits in modified atmosphere.

Key words: storage, modified atmosphere, physiological disorders, postharvest.

1. INTRODUÇÃO

As perdas pós-colheita de frutos e hortaliças, tanto qualitativas como quantitativas, são significativas, principalmente, em países em desenvolvimento. A redução destas perdas pode ser alcançada com a colheita do produto em seu ponto ótimo de maturação, sem danos mecânicos e livres de pragas e doenças. Entretanto, mesmo com o manejo correto durante a colheita e classificação do produto, consideráveis perdas ocorrem durante o transporte e comercialização, devido ao amadurecimento e senescência do produto.

Muitas tecnologias têm sido propostas para retardar o processo de amadurecimento e prolongar a vida pós-colheita de frutos, destacando-se os armazenamentos refrigerado, em atmosfera controlada e modificada. Dentre estes sistemas, a atmosfera controlada apresenta maior efeito sobre o controle do amadurecimento dos frutos. No entanto, no Brasil, devido ao elevado custo de implantação, o mesmo é utilizado em grande escala somente por grandes empresas produtoras de maçã.

Uma alternativa mais simples e econômica para melhorar a conservação de frutos, durante o transporte e armazenamento, é a utilização da atmosfera modificada, que pode ser utilizada para a maioria dos frutos. O uso desta técnica consiste basicamente no envolvimento do produto em um filme plástico, geralmente polietileno de baixa densidade, que oferece barreira à passagem da água e dos gases. Esta propriedade de barreira, juntamente com o processo respiratório dos frutos, ou pela adição de mistura de gases, reduz o O_2 e aumenta o CO_2 no interior da embalagem, causando uma modificação da atmosfera e mantendo uma alta umidade relativa.

A atmosfera modificada pode ser uma ótima complementação à refrigeração, resultando em grandes benefícios durante toda a cadeia de comercialização. Dentre os efeitos benéficos deste sistema de armazenamento destacam-se a redução na sensibilidade ao etileno, o controle direto e indireto de patógenos e o retardamento do amadurecimento. Por outro lado, o uso de filmes muito espessos em grandes volumes de frutos e, principalmente, em temperaturas mais elevadas pode causar falta de O_2 e aumento de CO_2 , que leva à ocorrência de desordens fisiológicas, amadurecimento irregular dos frutos, respiração anaeróbica e aumento na suscetibilidade às podridões.

Tradicionalmente, os trabalhos de pesquisa voltados ao transporte e armazenamento de frutos em atmosfera modificada buscam o tipo de filme polimérico (polietileno de baixa, média ou alta densidade, policloreto de vinila, celofane, entre outros) e a espessura mais

convenientes para a conservação de frutos de uma espécie vegetal (ou cultivar) específica. Entretanto, outros fatores influenciam na escolha do filme ideal para a conservação de frutos.

Considerando que frutos colhidos em um estágio de maturação mais avançado, ou submetidos a temperaturas mais elevadas de armazenamento, apresentam uma atividade respiratória muito mais elevada, a intensidade da modificação da atmosfera no interior da embalagem poderá ser bem diferente, podendo até proporcionar condições de anaerobiose devido à grande redução do O_2 ou aumento do CO_2 em embalagens contendo frutos mais maduros ou armazenados em temperaturas mais elevadas. No entanto, de acordo com MAHAJAN & GOSWANI (2001), a respiração é mais influenciada pela temperatura de armazenamento, pelos níveis de O_2 e CO_2 e pelo etileno, do que pelo estágio de maturação dos frutos.

Assim, outros critérios devem ser considerados na escolha do filme ideal, como o estágio de maturação do material vegetal que será armazenado, o efeito da temperatura de armazenamento e da composição da atmosfera sobre a respiração, o efeito da composição química do filme plástico sobre a sua permeabilidade, o tamanho da embalagem e sua relação com a massa de frutos nela contida, tempo de armazenamento, espécie e cultivar da fruta.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a respiração e o quociente respiratório de frutos de diversas espécies em função da cultivar, ponto de maturação, temperatura e condições de atmosfera durante o armazenamento para obter dados sobre a possibilidade de ocorrer fermentação e distúrbios fisiológicos em frutos armazenados em atmosfera modificada. Também, objetivou-se desenvolver uma metodologia para avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos sob condições experimentais que produzam resultados que possam ser utilizados na escolha de um filme para o armazenamento de frutas em atmosfera modificada, assim como avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos aos gases O_2 e CO_2 .

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Armazenamento em atmosfera modificada

As tecnologias disponíveis para o transporte e armazenamento de frutas são diversas. Normalmente, a escolha do método de armazenamento é realizada em função da disponibilidade de recursos econômicos (LUENGO & CALBO, 2001). Dentre os métodos disponíveis, aqueles com maior capacidade de conservação e utilização comercial são o armazenamento em atmosfera controlada e em atmosfera modificada (GÜRAKAN & BAYINDIRH, 2005). Segundo BRACKMANN et al. (2004) e NEUWALD et al. (2005), a atmosfera modificada é uma alternativa que visa incrementar o efeito do frio no armazenamento de frutos, sendo uma técnica bastante prática e menos onerosa que a atmosfera controlada.

O armazenamento em atmosfera modificada consiste no envolvimento de frutos com uma embalagem polimérica, a qual é posteriormente fechada para ocorrer a modificação das pressões parciais dos gases em seu interior (THOMPSON, 2002). Esta modificação da atmosfera ocorre devido ao balanço entre o consumo de O_2 mais a liberação de CO_2 , ambos decorrentes do processo respiratório dos frutos, e a permeabilidade do filme polimérico a estes gases. Assim, a intensidade da modificação da atmosfera depende da atividade respiratória do produto armazenado e da permeabilidade do filme polimérico (FONSECA et al., 2002a). NEUWALD et al. (2005) observaram que caquis 'Fuyu' colhidos em diferentes estádios de maturação e armazenados em atmosfera modificada, com uma embalagem de polietileno de 62 μ m apresentaram diferenças na intensidade da modificação da atmosfera. Estes autores verificaram que a atmosfera da embalagem com frutos do estágio de maturação mais avançado (epiderme totalmente amarela) foi 3,5kPa de CO_2 maior e 5,5kPa de O_2 menor do que a atmosfera das embalagens com frutos do estágio de maturação menos avançado (epiderme verde-amarela).

No entanto, apesar de ser uma tecnologia utilizada comercialmente, a sua adoção restringe-se ao armazenamento e transporte de um número limitado de frutos (KADER & WATKINS, 2000). Para estes autores, a falta de informações sobre a taxa respiratória de frutos em condições de atmosfera modificada e sobre a permeabilidade de filmes em temperatura e umidade relativa do ar semelhantes as que ocorrem durante o armazenamento, constituem alguns dos fatores responsáveis pelo uso limitado desta técnica.

A atmosfera modificada pode ser de dois tipos: ativa e passiva (BRACKMANN & CHITARRA, 1998; KADER, 2002; GÜRAKAN & BAYINDIRH, 2005). A atmosfera modificada passiva é aquela resultante da atmosfera que é criada passivamente dentro da embalagem através da respiração do produto, o que se caracteriza pelo consumo de oxigênio e liberação de dióxido de carbono (BRACKMANN & CHITARRA, 1998). A atmosfera modificada ativa consiste no ajuste da atmosfera próximo ao ideal, através de um leve vácuo e injetando-se imediatamente a atmosfera desejável no interior da embalagem (KADER & WATKINS, 2000). Na atmosfera modificada ativa, também utiliza-se absorvedores de O₂, CO₂ e etileno, permitindo um melhor ajuste da atmosfera de acordo com as características do produto (BRACKMANN & CHITARRA, 1998; GÜRAKAN & BAYINDIRH, 2005). Além disso, a atmosfera modificada ativa permite o armazenamento em condições de oxigênio superatmosféricos (>21kPa) (KADER, 2002), condição que tem demonstrado ótimos resultados no armazenamento de morangos (WSZELAKI & MITCHAM, 2000; KADER & BEN-YEHOSHUA, 2000).

Atualmente, o armazenamento em atmosfera modificada, na maioria das situações, vem sendo utilizado indiscriminadamente de maneira que os produtores podem experimentar grandes perdas dos produtos armazenados. O sucesso da atmosfera modificada está no planejamento de um sistema que consiga atingir uma atmosfera ideal de armazenamento. A atmosfera ideal para o armazenamento é aquela que atinge níveis de O₂ e CO₂ que minimizam a taxa respiratória sem causar alterações metabólicas que desencadeiam distúrbios fisiológicos (BRACKMANN & CHITARRA, 1998). Esta atmosfera ideal de armazenamento pode ser alcançada conhecendo-se os limites de O₂ e CO₂ que o produto suporta, a taxa respiratória do produto e a permeabilidade aos gases do filme polimérico. O planejamento do sistema de armazenamento é geralmente baseado na escolha do filme, em função de resultados de pesquisa que definem a espessura de determinado filme polimérico mais adequado para determinada cultivar.

2.2. A respiração de frutos armazenados em atmosfera modificada

A respiração aeróbica pode ser dividida em três rotas metabólicas inter-relacionadas: a glicólise, o ciclo dos ácidos tricarboxílicos e a fosforilação oxidativa (PEPPELENBOS, 1996; FONSECA et al., 2002a). A glicólise é formada por um conjunto de reações que convertem glicose, ou frutose, em piruvato, sendo que, nesta rota metabólica, duas moléculas de ATP e

NADH são produzidas por glicose (TAIZ & ZEIGER, 2004). O piruvato é utilizado em um ciclo de reações chamado de ciclo dos ácidos tricarboxílicos, onde ocorre a remoção de alguns dos elétrons dos ácidos orgânicos intermediários que são transferidos para o NAD^+ ou FAD, gerando para cada molécula de piruvato, quatro NADH e um FADH_2 e um ATP (PEPPELENBOS, 1996). De acordo com este autor, a rota final envolvida na respiração é a fosforilação oxidativa, onde o NADH e o FADH_2 , produzidos no ciclo dos ácidos tricarboxílicos, são oxidados para a produção de ATP.

KADER (2002) e FONSECA et al. (2002a) resumem a respiração como sendo o processo pelo qual reservas orgânicas (carboidratos, proteínas e lipídios) são quebradas em moléculas simples com liberação de energia. Durante o processo respiratório, o oxigênio é consumido e o dióxido de carbono é produzido, podendo a atividade respiratória ser determinada pela quantificação destes dois gases (MAHAJAN & GOSWAMI, 2001; KADER, 2002). De acordo com MAHAJAN & GOSWAMI (2001), a respiração é o principal fator que contribui para as perdas pós-colheita dos produtos perecíveis. MANOLOPOULOU & PAPADOPOULOU (1998) e CHITARRA (1998) afirmam que a intensidade da taxa respiratória está relacionada com a capacidade de armazenamento do produto, sendo que, quanto maior a taxa respiratória, menor é o tempo de armazenamento.

A respiração é um bom indicador das taxas metabólicas de frutas, sendo que seu controle pode ser um efetivo meio de regular todo o metabolismo vegetal e estender a vida pós-colheita destes produtos (MATHOOKO, 1996). A taxa respiratória depende da temperatura do ar e da composição da atmosfera em termos de O_2 , CO_2 e etileno (MAHAJAN & GOSWAMI, 2001), sendo que frutos armazenados em armazenamento refrigerado e em atmosfera modificada ou controlada apresentam maior vida pós-colheita (PEPPELENBOS, 1996; SHIINA et al., 1997; BRACKMANN & CHITARRA, 1998; CHITARRA, 1998; KADER, 2002; LIU et al., 2004; THÉ et al., 2005). De acordo com GÜRAKAN & BAYINDIRH (2005), a atmosfera modificada pode reduzir a atividade respiratória dos frutos armazenados. Isto ocorre devido a diminuição na atividade de enzimas, envolvidas na respiração, pela baixa temperatura, baixo O_2 e alto CO_2 , o que reduz, em geral, a taxa de utilização de substratos de reserva e aumenta a vida pós-colheita dos frutos (MAHAJAN & GOSWAMI, 2001).

No entanto, uma diminuição na respiração, que não é acompanhada na mesma magnitude pela demanda energética, isto é, a demanda energética é maior que a quantidade de ATP fornecida pela respiração aeróbica, pode causar graves problemas na conservabilidade de produtos armazenados. Segundo SAQUET & STREIF (2000) e SAQUET et al. (2003), a

respiração aeróbica apresenta papel fundamental na manutenção da integridade e funcionamento celular, através do fornecimento de energia. De acordo com SIRIPHANICH & KADER (1986), o alto CO_2 pode limitar o suprimento de energia necessário para a sobrevivência dos tecidos. Assim, quando a respiração aeróbica é reduzida drasticamente, o tecido vegetal aumenta a respiração anaeróbica para aumentar o nível de energia disponível (PEPPELENBOS, 1996). Para este autor, a glicólise pode funcionar bem sem oxigênio, no entanto a oxidação do piruvato e do NADH necessitam deste gás.

TAIZ & ZEIGER (2004) citam que, em situações de deficiência de oxigênio, o NADH, produzido na glicólise, é regenerado a NAD^+ através da fermentação alcoólica, permitindo o funcionamento da glicólise e o suprimento de energia. KADER (1986) afirma que, na respiração anaeróbica, a glicólise fornece mais energia do que o ciclo dos ácidos tricarboxílicos, sendo a principal rota de fornecimento de energia. No entanto, durante a fermentação, principalmente em períodos prolongados de deficiência de O_2 , pode ocorrer o acúmulo de etanol, acetaldeído e lactato (MATHOOKO, 1996; TAIZ & ZEIGER, 2004), os quais podem favorecer o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e a formação de sabor e aroma alcoólico (WATKINS et al., 1997), o que muitas vezes impossibilita a comercialização do produto.

O baixo O_2 reduz a taxa respiratória devido à redução da atividade das enzimas citocromo oxidase, polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase (KADER, 1986). Já o efeito do alto CO_2 ainda não está totalmente esclarecido, mas algumas hipóteses têm sido formuladas. KAYS (1991) afirma que o papel do CO_2 na regulação do metabolismo respiratório é bastante complexo. A exposição do tecido vegetal ao CO_2 elevado inibe a atividade de várias enzimas envolvidas no metabolismo respiratório (KE et al., 1995), podendo reduzir a produção de CO_2 diretamente, inibindo a rota glicolítica, agindo na fosfofrutoquinase, e o ciclo dos ácidos tricarboxílicos, agindo na succinato oxidase e na isocitrato desidrogenase, e indiretamente, reduzindo a ação do etileno sobre algumas enzimas envolvidas no processo respiratório (MATHOOKO, 1996; FONSECA et al., 2002a; LIU et al., 2004). KUBO et al. (1990) verificaram que a taxa respiratória em frutos climatéricos e em brócolis foi reduzida pela exposição a uma atmosfera contendo 60kPa de CO_2 .

No entanto, o CO_2 também pode atuar como um indutor da respiração, dependendo da sua pressão parcial, da pressão parcial interna de O_2 e da duração de exposição ao alto CO_2 (KADER, 1986; MATHOOKO, 1996). KUBO et al. (1990) constataram que a taxa respiratória foi estimulada em uma atmosfera contendo 60kPa de CO_2 em relação ao armazenamento refrigerado em alguns produtos vegetais (espinafre e alface). LIU et al.

(2004) afirmam que este mecanismo de ativação da atividade respiratória não está plenamente entendido. A resposta dos frutos ao CO₂ muito alto pode incluir a indução da rota glicolítica e da rota fermentativa, além do acúmulo de succinato e/ou alanina e decréscimo no pH e nos níveis de ATP (KE et al., 1995; SAQUET et al., 2003).

2.3. Efeitos da atmosfera modificada na manutenção da qualidade de frutas

Diversos são os efeitos da atmosfera modificada sobre a qualidade de frutas armazenadas neste sistema. A atmosfera modificada pode reduzir a respiração, retardar o amadurecimento, diminuir a produção de etileno, retardar a perda de textura da polpa e, conseqüentemente, aumentar a vida pós-colheita do produto (ZAGORY & KADER, 1988; WANG, 1993; GÜRAKAN & BAYINDIRH, 2005). Segundo KADER (2002), os efeitos da atmosfera modificada se traduzem em redução das perdas qualitativas e quantitativas durante o armazenamento e/ou transporte. De acordo com este autor, os benefícios da atmosfera modificada são:

- retardamento da senescência devido a menor atividade respiratória e produção de etileno;
- redução da sensibilidade do fruto à ação do etileno em níveis de O₂ abaixo de 8kPa ou de níveis de CO₂ acima de 1kPa;
- minimização de certas desordens fisiológicas, como dano por frio em várias frutas e escaldadura em maçãs;
- redução direta ou indireta da infecção por fungos patogênicos; e
- alternativa como ferramenta para controle de insetos em pressões parciais abaixo de 1kPa de O₂ e de CO₂ acima de 40kPa.

Segundo BEN-YOHOSHUA et al. (1983), a atmosfera modificada retarda a senescência e mantém a firmeza e a turgescência dos frutos. KAWADA (1982) verificaram que caquis 'Fuyu' responderam bem ao armazenamento prolongado quando acondicionados no interior de filmes de polietileno de baixa densidade com espessura de 60µm. De acordo com BRACKMANN et al. (1999a), o efeito da atmosfera modificada sobre a manutenção da qualidade dos frutos está relacionado à ação inibitória do baixo O₂ e alto CO₂ sobre a taxa respiratória. Além disso, também diminui a desidratação dos frutos devido à redução da taxa transpiratória (MEHERIUK et al., 1995; BRACKMANN & DONAZZOLO, 1996; CERETTA et al., 1999).

Vários trabalhos têm demonstrado o efeito da atmosfera modificada sobre a manutenção da qualidade de frutas, como a redução da perda de peso em morangos (BRACKMANN et al., 1999a), laranja (CERETTA et al., 1999), nêspera (BRACKMANN et al., 2004), carambola (ALI et al., 2004) e abacaxi (THÉ et al., 2005). A atmosfera modificada também manteve maior firmeza de polpa em caqui 'Fuyu' (BRACKMANN et al., 1999b) e em carambola (ALI et al., 2004), menor incidência de podridões em romã (HESS-PIERCE & KADER, 1997) e em caqui 'Fuyu' (BEN-ARIE & ZUTKHI, 1992), menor escurecimento da epiderme em caqui 'Fuyu' (NEUWALD et al., 2005) e escurecimento interno em abacaxi (THÉ et al., 2005).

De acordo com ITAMURA et al. (1991), a exposição dos frutos a altas pressões parciais de CO₂ inibe a perda de firmeza de polpa e a evolução da produção de etileno, diminuindo o metabolismo do fruto e, conseqüentemente, prolongando o período de armazenamento. BEN-ARIE & ZUTKHI (1992) obtiveram redução na taxa de amolecimento de caqui 'Fuyu', tanto a 0°C quanto a 20°C. Em mamão, LAZAN et al. (1993) verificaram que a menor perda de firmeza de polpa dos frutos, armazenados em atmosfera modificada, ocorreu devido a menor atividade das enzimas poligalacturonase, pectinesterase e β-galactosidase. Com relação à redução na incidência de escurecimentos em frutos, PARK (1997) afirma que a redução da pressão parcial de O₂ para o intervalo de 4 a 6kPa pode provocar uma menor afinidade da polifenoloxidase por seus substratos.

KADER (2002) afirma que o uso da atmosfera modificada pode dispensar certas substâncias químicas usadas para o controle de distúrbios fisiológicos, como a escaldadura em maçã, e também reguladores de crescimento utilizados para retardar o amadurecimento de frutas. Este autor também comenta que a atmosfera modificada pode apresentar efeito na redução da respiração e na produção de etileno após o armazenamento, quando os frutos são expostos à atmosfera normal, mantendo a cor, a firmeza de polpa e reduzindo a ocorrência de podridões.

Entretanto, a atmosfera modificada também pode apresentar efeitos indesejáveis na qualidade dos frutos. BEN-YEHOSHUA (1979) cita que o uso de sacos de polietileno aumenta a ocorrência de podridões devido à condensação de água no interior da embalagem. Além disso, uma demasiada redução do O₂ e/ou elevação do CO₂ pode resultar no amadurecimento irregular, no desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e aumento da suscetibilidade à incidência de podridões em frutos afetados com distúrbios fisiológicos (KADER, 2002; PETRACEK et al., 2002).

2.4. Atmosfera modificada e a ocorrência de distúrbios fisiológicos

De acordo com WILLS et al. (1981), distúrbio fisiológico é o colapso do tecido que não é causado por patógenos. Alguns destes danos modificam a aparência e o sabor da polpa, sendo que outros alteram o aspecto da epiderme (EBERT, 1986). A atmosfera modificada pode retardar ou inibir o desenvolvimento de certos distúrbios fisiológicos (KADER, 2002). Alguns trabalhos têm demonstrado que a atmosfera modificada reduz o desenvolvimento de escaldadura em maçãs (KADER, 2002) e o escurecimento da epiderme em caquis (KIM et al., 1989; NEUWALD et al., 2005). LAZAN et al. (1993) e ALI et al. (2004) afirmam que a atmosfera modificada diminui a incidência de dano pelo frio em mamão e carambola, sendo que este resultado é devido ao efeito combinado da alta umidade relativa com o alto CO₂ e baixo O₂ dentro da embalagem. No entanto, os distúrbios fisiológicos mais importantes, neste tipo de armazenamento, são a degenerescência da polpa e a presença de sabor e aroma relacionados com a respiração anaeróbica. Isto é devido ao fato de que, na atmosfera modificada, não existe o controle dos níveis de gases, podendo acontecer uma excessiva redução do O₂ e aumento do CO₂. Nesta situação, ocorre uma indução da respiração anaeróbica e a formação e o acúmulo de etanol e acetaldeído, os quais são compostos tóxicos que podem desencadear o escurecimento da polpa dos frutos e o desenvolvimento de aroma e sabor alcoólico (PEPPELENBOS, 1996; SAQUET et al, 2000).

SAQUET et al. (2000) e SAQUET et al. (2003) afirmam que, em condições de armazenamento que induzem ao escurecimento da polpa de maçãs e pêras, a ocorrência deste distúrbio fisiológico pode ser decorrente da redução no metabolismo energético e no conteúdo de fosfolipídios, com conseqüente descompartimentalização das estruturas intracelulares (VELTMAN et al., 2003). Segundo PEPPELENBOS (1996), alguns trabalhos têm demonstrado que a ocorrência de distúrbios fisiológicos está diretamente relacionado com o metabolismo fermentativo.

2.5. Filmes poliméricos usados no armazenamento em atmosfera modificada

Os filmes poliméricos comumente utilizados no armazenamento em atmosfera modificada são o polietileno, policloreto de vinila, polipropileno e poliamidas (náilons) (KADER & WATKINS, 2000; BRACKMANN & STEFFENS, 2001). Entretanto, o celofane também pode ser utilizado no armazenamento e transporte de frutos sensíveis à ocorrência de

podridões, pois este filme evita a condensação de água na superfície interna do mesmo.

O polietileno, resina mais utilizada, pode ser de baixa, média ou alta densidade, de cadeias lineares ou ramificadas, ou ainda linear de baixa densidade, com cadeias lineares, sendo $(-CH_2-)_n$ a estrutura básica, podendo ter também na sua constituição aditivos antioxidantes, estabilizante térmico, estabilizante ao ultra-violeta e desluzantes (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

O policloreto de vinila (PVC), segunda resina mais utilizada, é obtido a partir da polimerização do cloreto de vinila, sendo um polímero derivado 43% do petróleo e 57% da fonte inorgânica NaCl. No processo de polimerização, ocorre a formação de um polímero linear e amorfo, possuindo, em sua constituição, além de cloretos de vinila, aditivos como estabilizantes térmicos, estabilizantes ao ultra-violeta e plastificantes (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

O polipropileno é uma poliolefina obtida da polimerização do propileno, sendo um polímero linear, o qual pode apresentar orientação das cadeias moleculares, que reduzem a permeabilidade aos gases, constituindo os polipropilenos orientados e biorientados. Estes filmes também podem apresentar em sua constituição aditivos como antioxidantes, estabilizante ao ultra-violeta e desluzantes (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

Os filmes de poliamida são polímeros que apresentam uma seqüência de carbonil-nitrogênio na cadeia, podendo ser orientados ou amorfos. Os filmes de poliamida orientados apresentam elevada permeabilidade ao vapor d'água e absorvem umidade, que exerce um efeito plastificante no polímero e aumenta a permeabilidade aos gases. No entanto, em filmes de poliamida amorfos, a umidificação leva à redução da taxa de permeabilidade aos gases, especialmente o oxigênio, o que ocorre devido à água ocupar o volume livre na cadeia polimérica. Este tipo de filme polimérico também apresenta aditivos como estabilizantes térmicos e estabilizantes ao ultra-violeta (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

O celofane é um polímero derivado de fibras de celulose e possui a capacidade de incorporar a sua matriz polimérica a água livre no interior da embalagem, o que lhe confere excelente propriedade de barreira a gases (DEL NOBILE et al., 2002). O celofane apresenta na sua constituição, além de fibras celulósicas, estabilizante ao ultra-violeta e impermeabilizantes, os quais podem ser aplicados em uma ou nas duas superfícies do filme (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

2.6. Permeabilidade de filmes poliméricos

Os filmes poliméricos diferenciam-se, entre outros aspectos, quanto a sua permeabilidade aos gases O_2 e CO_2 . No armazenamento de frutas em atmosfera modificada, a permeabilidade é um fator que contribui para o estabelecimento dos níveis de O_2 e CO_2 , os quais atingem níveis que diminuem o processo respiratório e retardam o amadurecimento dos frutos (FONSECA et al., 2002a). No entanto, filmes com alta propriedade de barreira podem causar a formação de condições anaeróbicas, podendo, ao invés de manter a qualidade do produto, induzir a formação de acetaldeído e etanol, causando danos aos tecidos e ocasionando sabor e odor estranhos ao produto.

A escolha do filme polimérico é um fator muito importante no planejamento do sistema, pois, como argumentado anteriormente, a sua permeabilidade, juntamente com a taxa respiratória dos frutos, irá estabelecer a intensidade da modificação da atmosfera. A permeabilidade do filme polimérico é definida pela solubilidade dos gases e pela difusão dos mesmos através da matriz polimérica (RHARBI et al., 1999; PAPIERNIK et al., 2001). ULLSTEN & HEDENQVIST (2003) citam que, para manter uma atmosfera ideal dentro da embalagem, é indispensável conhecer a permeabilidade das embalagens aos gases.

Segundo SARANTÓPOULOS et al. (2002), a permeabilidade de filmes poliméricos ocorre em três etapas: na primeira, ocorre a sorção e a solubilização do gás; na segunda, a difusão do gás através do material, devido a um gradiente de concentração, entre o interior da embalagem e o exterior; e na terceira, a dessorção e a difusão do gás na face oposta do filme polimérico onde ocorreu a sorção e a solubilização. Estes mesmos autores salientam que a difusão ocorre através dos espaços amorfos do filme polimérico. Já a primeira e a terceira etapa do processo de permeabilidade ocorrem através da interação entre as moléculas do gás com a fase cristalina do filme polimérico, através de forças de Van der Waals. Desta forma, a relação fase cristalina/fase amorfa do filme polimérico pode influenciar grandemente na permeabilidade deste aos gases. MARAIS et al. (2002) e LEWIS et al. (2003) observaram que filmes com estruturas amorfas apresentam maior permeabilidade ao O_2 e CO_2 do que filmes com estruturas orientadas (fase cristalina). SARANTÓPOULOS et al. (2002) citam que este mesmo comportamento pode ocorrer nos filmes de polietileno com diferentes proporções entre as fases amorfa e cristalina.

No entanto, apesar de existirem dados da permeabilidade dos filmes poliméricos, estes, normalmente, foram obtidos em condições padrões de temperatura, umidade relativa e

gradiente de concentração de gases, os quais normalmente diferenciam das condições de armazenamento (TADLAOUI et al., 1993). Alguns trabalhos têm demonstrado que a permeabilidade de um mesmo filme pode variar em função da temperatura (TADLAOUI et al., 1993), umidade relativa (NOBILE et al., 2002), composição da atmosfera (LEWIS et al., 2003) e a presença de aditivos e plastificantes na matriz do filme polimérico (FELISBERTI, 1985).

3. CAPITULO 1

3.1. Escurecimento de polpa e respiração de pêssegos em função das condições de armazenamento (Internal browning and respiration of peaches in function of storage conditions) Cristiano André Steffens, Auri Brackmann, Josuel Alfredo Vilela Pinto, Ana Cristina Eisermann (Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, RS)

3.1.1. Resumo

Avaliou-se o efeito da atmosfera sobre a ocorrência do escurecimento da polpa e de sabor alcoólico em cultivares de pêssego e a relação entre o escurecimento, a taxa respiratória e o quociente respiratório da polpa no pêssego 'Jubileu'. No experimento 1, os tratamentos foram: 1 e 2kPa O₂ combinados com 5, 10 e 15kPa CO₂, a 0 e 10°C. No experimento 2, avaliou-se as cultivares Maciel, Jubileu e Eldorado, armazenadas em 1kPa O₂ + 10kPa CO₂. Nesses experimentos, foram avaliados o escurecimento e sabor alcoólico da polpa. No experimento 3, avaliou-se a respiração quanto à produção de CO₂, das cultivares Maciel, Jubileu e Eldorado em refrigeração, e a respiração quanto à produção de CO₂ e consumo de O₂ e o quociente respiratório da cultivar Jubileu nas condições de 1 e 5kPa O₂ combinados com 5, 10 e 15kPa CO₂. As combinações de 1 e 2kPa O₂ com 5 e 10kPa CO₂ proporcionaram menor incidência de escurecimento da polpa. No entanto, os frutos armazenados a 10°C e em 1kPa O₂ + 10kPa CO₂ a 0°C apresentaram sabor alcoólico. As atmosferas contendo 1 e 5kPa O₂, combinadas com 10 e 15kPa CO₂ apresentaram menor produção de CO₂. Os tratamentos com 1kPa O₂ + 10 e 15kPa CO₂ apresentaram menor consumo de O₂ e os maiores valores de

quociente respiratório. Observou-se que houve uma correlação positiva entre a incidência do escurecimento da polpa e o quociente respiratório e uma correlação negativa entre o consumo de O₂ e a incidência do escurecimento da polpa.

Palavras-chave: *Prunus persica*, pós-colheita, distúrbios fisiológicos.

3.1.2. Abstract

The objective this work was to evaluate the effect of atmosphere on the internal browning and alcoholic taste incidence in peach cultivars and the relation between internal browning and respiratory rate and quotient in 'Jubileu' peach. In experiment 1, the evaluated treatments were: 1 and 2kPa O₂ combined with 5, 10 and 15kPa CO₂, at 0 and 10°C. In experiment 2 Maciel, Jubileu and Eldorado cultivars were stored at 1kPa O₂ + 10kPa CO₂. In both experiments the internal browning incidence and the presence of alcoholic taste were evaluated. In experiment 3, the respiration in terms of CO₂ production, of the Maciel, Jubileu and Eldorado cultivars in cold storage were evaluated, and the respiration, in terms of O₂ consume and CO₂ production, and respiratory quotient of the Jubileu cultivar stored at 1 and 5kPa of O₂, combined with 5, 10 and 15kPa of CO₂ were also determined. Fruits at 1 and 2kPa of O₂ combined with 5 and 10kPa of CO₂ showed lower internal browning incidence. However, the fruits stored at 10°C and the treatment with 1kPa O₂ + 10kPa CO₂ at 0°C showed alcoholic taste. The atmospheres with 1 and 5kPa O₂ combined with 10 and 15kPa CO₂ showed lower CO₂ production than combined with 5kPa CO₂. Treatments with 1kPa O₂ combined with 10 and 15kPa CO₂ showed lower O₂ consume and higher values of respiratory quotient. There was a positive correlation between the internal browning incidence and the respiratory quotient and negative correlation between the O₂ consume and the internal browning incidence.

Key words: *Prunus persica*, postharvest, physiological disorders

3.1.3. Introdução

A redução da temperatura, a diminuição da pressão parcial de O₂ e o aumento da pressão parcial de CO₂, através da atmosfera controlada ou modificada, são os principais fatores que contribuem na manutenção da qualidade do produto e, conseqüentemente, na

redução de perdas pós-colheita. Esse efeito é devido à redução nos processos metabólicos que culminam no amadurecimento dos frutos, principalmente a respiração celular.

O processo respiratório envolve uma série de reações de oxi-redução, onde compostos orgânicos são oxidados a CO_2 , sendo este considerado o principal fator que contribui para as perdas pós-colheita de produtos perecíveis (MAHAJAN & GIOSWAMI, 2001). De acordo com esses autores, a diminuição da atividade enzimática pela baixa temperatura, baixo O_2 e/ou alto CO_2 , em geral, reduz a utilização de substratos e aumenta a vida pós-colheita dos frutos. No entanto, SAQUET & STREIF (2000) afirmam que nem sempre frutos com baixa taxa respiratória, durante o armazenamento, apresentam um maior tempo de conservação. Isso ocorre devido ao fato de que o uso de pressões parciais de O_2 excessivamente baixas ou altas de CO_2 pode induzir a respiração anaeróbica, levando a formação e acúmulo de etanol e acetaldeído, os quais são compostos tóxicos que podem desencadear o escurecimento da polpa dos frutos e o desenvolvimento de aroma e sabor alcoólico (SAQUET et al, 2000). Este problema torna-se ainda mais grave no armazenamento em atmosfera modificada, onde normalmente o O_2 pode atingir níveis muito baixos ($< 2\text{kPa}$) e o CO_2 muito altos ($>10\text{kPa}$). Assim, para manter a qualidade dos frutos, durante o armazenamento, é muito importante conhecer a taxa respiratória e a sensibilidade dos frutos ao O_2 e CO_2 , principalmente para o armazenamento em atmosfera modificada, pois, em função destes dados e da permeabilidade do filme, é possível escolher um material que permita uma atmosfera de armazenamento que diminua o metabolismo dos frutos sem induzir o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos decorrente da respiração anaeróbica.

FONSECA et al. (2002a) citam que, no metabolismo fermentativo, a produção de etanol envolve a descarboxilação do piruvato a CO_2 sem consumo de O_2 . SAQUET & STREIF (2002) obtiveram resultados que sustentam esta afirmação, onde as cultivares de maçã Gala, Jonagold e Fuji apresentaram redução no consumo de O_2 , em condições de anaerobiose, sem ocorrer redução na produção de CO_2 . Assim, esses autores citam que o quociente respiratório, relação entre produção de CO_2 e consumo de O_2 , é um parâmetro utilizado para melhor observar a provável ativação das vias fermentativas durante o armazenamento. KADER (1987) cita que frutos desenvolvendo respiração aeróbica apresentam valores de quociente respiratório entre 0,7 e 1,3, dependendo do substrato que está sendo predominantemente utilizado no processo (FONSECA et al., 2002a). SAQUET & STREIF (2002) verificaram que diversas cultivares de maçãs já iniciaram a respiração anaeróbica em pressões parciais de O_2 abaixo de $1,5\text{kPa}$, atingindo valores de quociente respiratório de 2,5. No entanto, esses autores também observaram que existe um

comportamento diferenciado entre as cultivares, quanto à taxa respiratória e à sensibilidade ao baixo O₂, porém não houve correlação entre maior sensibilidade ao O₂ e maior taxa respiratória. Segundo KADER & MITCHELL (1989), pêssegos toleram uma pressão mínima de 2kPa de O₂ e máxima de 5kPa de CO₂. No entanto, CERETTA et al. (2000) verificaram que a cultivar Eldorado pode ser armazenada em 21kPa de O₂ + 10kPa de CO₂ e 1kPa de O₂ + 3kPa de CO₂ sem causar problemas de escurecimento da polpa, na temperatura de -0,5°C. Assim, devido à falta de informações sobre o armazenamento de pêssegos de polpa amarela, é de extrema importância conhecer a combinação de O₂ e CO₂ que reduza mais acentuadamente a respiração, porém, sem induzir o desenvolvimento de escurecimento da polpa e de sabor alcoólico nos frutos.

Dessa forma, o objetivo foi de avaliar o efeito de níveis de O₂ e CO₂ sobre a ocorrência do escurecimento da polpa e de sabor alcoólico nas cultivares de pêssego Maciel, Jubileu e Eldorado e a relação entre escurecimento, taxa respiratória e quociente respiratório da polpa de pêssego cultivar Jubileu.

3.1.4. Material e métodos

Os experimentos foram desenvolvidos com pêssegos (*Prunus persica*) das cultivares Jubileu, Maciel e Eldorado, no ano de 2004. Os frutos, provenientes de pomares comerciais localizados no município de Canguçu, após colhidos, foram transportados ao Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita da Universidade Federal de Santa Maria, onde se descartou os frutos feridos e procedeu-se a homogeneização e separação das amostras experimentais.

No experimento 1, os tratamentos foram: 1 e 2kPa de O₂ combinados com 5, 10 e 15kPa de CO₂, a 0 e 10°C, utilizando-se a cultivar Jubileu. No experimento 2, avaliou-se as cultivares Maciel, Jubileu e Eldorado armazenadas em 1kPa de O₂ + 10kPa de CO₂, a 0 e 10°C. No experimento 3, avaliou-se a respiração a 0°C, em armazenamento refrigerado, das cultivares estudadas e a respiração em termos de produção de CO₂ e consumo de O₂ e o quociente respiratório da cultivar Jubileu em diferentes níveis de O₂ e CO₂ a 0°C.

Nos experimentos 1 e 2, os frutos foram acondicionados em recipientes de vidro, hermeticamente fechados, com capacidade de 5000mL, sendo utilizadas três repetições com unidade experimental composta por 15 frutos. No experimento 3, as cultivares Jubileu, Maciel e Eldorado, mantidas a 0°C, também foram acondicionadas em recipientes de vidro com capacidade de 5000mL para determinar a respiração em atmosfera normal (21kPa O₂ +

0,03kPa CO₂). Já os frutos mantidos nas condições de armazenamento de 1kPa O₂ + 5kPa CO₂, 1kPa O₂ + 10kPa CO₂, 1kPa O₂ + 15kPa CO₂, 5kPa O₂ + 5kPa CO₂, 5kPa O₂ + 10kPa CO₂ e 5kPa O₂ + 15kPa CO₂ foram acondicionados em minicâmaras experimentais com capacidade de 60L, hermeticamente fechadas. Em todos os experimentos foram utilizadas três repetições da unidade experimental composta por aproximadamente 1500g de frutos, nos recipientes de vidro, e 10.000g, nas minicâmaras. A temperatura de armazenamento foi de 0°C.

As pressões parciais dos gases nos tratamentos com baixo O₂ e alto CO₂ foram obtidas mediante a diluição do O₂ no ambiente de armazenamento com injeção de N₂, proveniente de um gerador de nitrogênio, que utiliza o princípio “Pressure Swing Adsorption” – (PSA), e posterior injeção de CO₂, provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido no tratamento. A manutenção das pressões parciais desejadas dos gases, nas diferentes condições de armazenamento, que variavam em função da respiração dos frutos, foi realizada duas vezes por dia, nos experimentos 1 e 2, e diariamente, no experimento 3. Essas avaliações foram feitas através de analisadores eletrônicos de CO₂ e O₂, marca Agri-datalog, e com posterior correção, até atingir os níveis preestabelecidos. O O₂, consumido pela respiração, foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras e o CO₂ em excesso foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio (40% p/v), através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento.

Nos experimentos 1 e 2, para avaliar o efeito dos tratamentos, foram realizadas as determinações de escurecimento da polpa e presença de sabor alcoólico nos frutos após dez dias de armazenamento a 10°C e após 30 dias de armazenamento a 0°C, ambos seguidos de dois dias a 20°C em atmosfera normal (21kPa de O₂ + 0,03kPa de CO₂). No experimento 3, foi avaliada a taxa respiratória durante o armazenamento nas condições definidas nos tratamentos.

Para avaliar o escurecimento da polpa, os frutos foram cortados na região equatorial e realizada a contagem dos que apresentavam regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, sendo os resultados expressos em porcentagem de frutos com incidência de escurecimento. Já a presença de sabor alcoólico nos frutos foi determinada através de um painel sensorial composto por seis pessoas não treinadas, as quais provaram um pedaço de, pelo menos, cinco frutos distintos, escolhidos aleatoriamente, de cada tratamento, indicando a presença ou não de sabor alcoólico em pelo menos um dos pedaços provados.

A taxa respiratória foi determinada pelo consumo de O₂ e pela produção de CO₂. O gás do espaço livre do recipiente de vidro ou da minicâmara, utilizados para o acondicionamento

das amostras, foi circulado através de analisadores eletrônicos de O₂ e CO₂, marca Agri-Datalog. Através da concentração de O₂ e CO₂, do volume do espaço livre, da massa de frutos e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração, sendo os valores expressos em mL de O₂ e CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, para o consumo de O₂ e produção de CO₂, respectivamente. O consumo de O₂ foi determinado somente nos frutos mantidos sob as condições de baixo O₂ e alto CO₂, bem como o quociente respiratório, calculado pela razão entre a produção de CO₂ e consumo de O₂. Os recipientes de vidro, utilizados para determinar a respiração dos frutos em atmosfera normal, foram fechados hermeticamente por 24 horas, quando, após determinada a respiração, os mesmos foram abertos. Em todos os tratamentos, a respiração foi determinada a cada três dias, durante 28 dias, e calculada a taxa respiratória média.

A análise de variância seguiu o modelo do delineamento inteiramente casualizado, sendo os dados em porcentagem transformados para $\arcsen\sqrt{x/100}$, antes de proceder a análise da variância. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro. Também foi realizado o teste de correlação de Pearson entre os parâmetros incidência de escurecimento da polpa (experimento 1), produção média de CO₂, consumo médio de O₂ e quociente respiratório (experimento 3), avaliados nos tratamentos com 1kPa de O₂ combinado com 5, 10 e 15kPa de CO₂.

3.1.5. Resultados e Discussão

No experimento 1, observou-se que a 10°C, os tratamentos com 1kPa e 2kPa de O₂ combinados com 5kPa de CO₂ e 2kPa de O₂ + 10kPa de CO₂ apresentaram as menores incidências de escurecimento da polpa. No entanto, nessa temperatura, em todos os tratamentos, desenvolveu-se sabor alcoólico (Tabela 1). Já a 0°C, os frutos mantidos nas atmosferas de 1kPa de O₂ combinado com 5 e 10kPa de CO₂ e 2kPa de O₂ com 5, 10 e 15kPa de CO₂ apresentaram menor incidência de escurecimento da polpa (Tabela 1). De acordo com a análise sensorial dos frutos mantidos a 0°C, os tratamentos com 1kPa de O₂ combinado com 10 e 15kPa de CO₂ e 2kPa de O₂ com 15kPa de CO₂ desenvolveram sabor alcoólico nos frutos (Tabela 1). Assim, verifica-se que, a 0°C, as pressões parciais críticas de O₂ e CO₂ para o pêssego 'Jubileu' são de 1kPa e entre 5 e 10kPa, respectivamente. Já a 10°C, deve-se utilizar uma pressão parcial de O₂ maior que 2kPa de O₂ e/ou de CO₂ menor que 5kPa, o que praticamente impossibilita o armazenamento desta cultivar em atmosfera modificada nesta temperatura. Os resultados concordam com a afirmação de FONSECA et al. (2002a), que

citam que o risco de formação de distúrbios fisiológicos, devido ao baixo O_2 , aumenta com a elevação da temperatura de armazenamento. Esses autores afirmam que, em temperaturas de armazenamento maiores, a pressão parcial crítica de O_2 (pressão parcial mínima que não causa dano nos frutos) deve ser maior.

Na condição de armazenamento de 1kPa de O_2 + 15kPa de CO_2 , houve a maior incidência de escurecimento da polpa (Tabela 1). De acordo com KADER (1987), o CO_2 atua reduzindo a velocidade do ciclo dos ácidos tricarboxílicos e, em níveis excessivamente elevados, esta redução pode causar acúmulo de ácido succínico devido à inibição da enzima succinato desidrogenase, com conseqüente formação de distúrbios fisiológicos (WATKINS et al., 1997). SAQUET et al. (2000) e SAQUET et al. (2003) afirmaram que, em condições de armazenamento que induzem o desenvolvimento de escurecimento da polpa de maçãs e pêras, a ocorrência deste distúrbio fisiológico pode ser decorrente da redução no metabolismo energético e no conteúdo de fosfolipídios, com conseqüente descompartimentalização das estruturas intracelulares (VELTMAN et al., 2003).

Tabela 1. Escurecimento da polpa e presença de sabor alcoólico em pêssego ‘Jubileu’ submetido a diferentes níveis de O_2 e CO_2 . Santa Maria, 2004. (Experimento 1)

O_2+CO_2 (kPa)	10 dias a 10°C + 2 dias a 20°C		30 dias a 0°C + 2 dias a 20°C	
	Escurecimento da polpa (%)	Sabor alcoólico nos frutos	Escurecimento da polpa (%)	Sabor alcoólico nos frutos
1+5	23,3d*	Sim	6,7b	Não
1+10	50,0bc	Sim	17,4b	Sim
1+15	78,9a	Sim	38,6a	Sim
2+5	26,7d	Sim	16,7b	Não
2+10	36,7cd	Sim	22,2b	Não
2+15	67,9ab	Sim	20,0b	Sim
CV (%)	15,09	-	24,80	-

* Médias não seguidas pela mesma letra, na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

No experimento 2, verificou-se, em ambas as temperaturas, que as cultivares Maciel, Jubileu e Eldorado apresentaram um comportamento diferenciado com relação ao baixo O_2 e alto CO_2 (Tabela 2). A cultivar Maciel apresentou os maiores níveis de incidência de escurecimento da polpa, seguido da cultivar Jubileu, sendo que, a 0°C, a cultivar Eldorado não apresentou incidência deste distúrbio fisiológico (Tabela 2). Este resultado está de acordo com os obtidos por STREIF (1992), que verificou que as pressões parciais de O_2 críticas, abaixo das quais a respiração anaeróbica pode ser induzida, variam de acordo com as cultivares. Da mesma forma, a sensibilidade ao CO_2 pode ser dependente da cultivar, conforme observado

nas cultivares de maçã ‘Gala’ e ‘Fuji’ (BRACKMANN & STEFFENS, 2002). A ausência de incidência de escurecimento da polpa na cultivar Eldorado a 0°C está de acordo com os resultados obtidos por CERETTA et al. (2000), que também não verificaram escurecimento desta cultivar armazenada em 10kPa de CO₂. Com relação a estes resultados, pode-se afirmar que, das três cultivares avaliadas, a Eldorado apresenta maior potencial de armazenamento em atmosfera modificada ou controlada, pois suporta baixo nível de O₂ e alto de CO₂.

Tabela 2. Escurecimento da polpa de pêssegos armazenados a 0°C e 10°C com 1kPa de O₂ + 10kPa de CO₂ e taxa respiratória média de pêssegos armazenados em atmosfera normal (21kPa de O₂ + 0,03kPa de CO₂) na temperatura de 0°C. Santa Maria, 2004. (Experimento 2)

Cultivar	Escurecimento da polpa (%)		Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)
	0°C	10°C	
Maciel	65,0a*	94,7a	1,54a
Jubileu	17,4b	50,0b	1,24b
Eldorado	0,0c	20,0c	0,89c
CV (%)	21,90	16,43	5,64

* Médias não seguidas pela mesma letra, na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Observa-se, nas três cultivares, que a redução da temperatura de 10°C para 0°C diminuiu a incidência de escurecimento da polpa, mesmo que os frutos a 0°C ficaram expostos por mais tempo ao baixo O₂ e alto CO₂ (Tabela 2). Este resultado, juntamente com os obtidos no experimento 1, evidencia que a redução da temperatura diminui a sensibilidade dos frutos ao baixo O₂ e/ou alto CO₂. Possivelmente, este resultado esteja relacionado ao fato de que, em temperaturas mais elevadas, todas as rotas metabólicas apresentam uma intensidade maior, necessitando os frutos de uma maior demanda energética pelas reações enzimáticas. Com o abaixamento acentuado do O₂ e elevação do CO₂, diminui-se demasiadamente o fornecimento de energia, prejudicando a manutenção da permeabilidade das membranas com conseqüente descompartimentalização celular (SAQUET et al. 2000), que, juntamente com a formação de etanol e acetaldeído, devido à respiração anaeróbica (FONSECA et al., 2002a), desencadeiam o escurecimento da polpa.

No experimento 3, observou-se que existe diferenças na produção de CO₂ entre as cultivares estudadas, sendo que a cultivar Maciel, de maturação mais precoce, apresentou maior taxa respiratória e a Eldorado, de maturação mais tardia, apresentou menor taxa respiratória (Tabela 2). BRACKMANN & STREIF (1994) e SAQUET & STREIF (2002)

verificaram, em maçã, que cultivares mais tardias, como a Fuji, apresentam taxa respiratória menor que a Gala, de maturação mais precoce. Considerando a taxa respiratória destas cultivares e a incidência de escurecimento da polpa obtida no experimento 2, verificou-se que, quanto maior a taxa respiratória em atmosfera normal a 0°C, mais alta foi a incidência do escurecimento da polpa a 1kPa de O₂ + 10kPa de CO₂, nas duas temperaturas estudadas (Tabela 2).

As atmosferas contendo 1 e 5kPa de O₂ combinado com 10 e 15kPa de CO₂ apresentaram menor produção de CO₂ do que quando combinado com 5kPa de CO₂ (Tabela 3). Os tratamentos com 1kPa de O₂ combinado com 10 e 15kPa de CO₂ apresentaram menor consumo de O₂ do que os demais tratamentos (Tabela 3). Estes resultados evidenciam um efeito combinado do baixo O₂ e do alto CO₂ sobre a produção de CO₂ e consumo de O₂. FONSECA et al. (2002b) também verificaram uma redução na respiração com a redução do nível de O₂ e aumento do CO₂. De acordo com KADER (1996), o baixo O₂ reduz a taxa respiratória devido à redução da atividade das enzimas citocromo oxidase, polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase. Já o efeito do alto CO₂ não está esclarecido, mas várias hipóteses para seu modo de ação foram postuladas, podendo ele reduzir a produção de CO₂ diretamente, inibindo a rota glicolítica e o ciclo dos ácidos tricarbóxicos, e indiretamente, reduzindo a ação do etileno sobre algumas enzimas envolvidas no processo respiratório (MATHOOKO, 1996; FONSECA et al., 2002a).

Tabela 3. Taxa respiratória média, em termos de produção de CO₂ e consumo de O₂, e quociente respiratório de pêssegos ‘Jubileu’ durante o armazenamento em diferentes níveis de O₂ e CO₂ a 0°C. Santa Maria, 2004. (Experimento 3)

O ₂ +CO ₂ (kPa)	Taxa respiratória		Quociente respiratório (CO ₂ /O ₂)
	(mL de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	(mL de O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	
5+5	1,21ab	1,19a	1,02c
5+10	0,94c	0,96b	0,98c
5+15	0,93c	0,93b	1,00c
1+5	1,26a	0,99b	1,27bc
1+10	1,01c	0,72c	1,40b
1+15	1,07bc	0,55d	1,93a
CV (%)	7,92	6,37	15,15

* Médias não seguidas pela mesma letra, na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Os tratamentos com 1kPa de O₂ combinado com 10 e 15kPa de CO₂ apresentaram os maiores valores de quociente respiratório, 1,40 e 1,93, respectivamente (Tabela 3). De acordo com KADER (1987), frutos que apresentam quociente respiratório acima de 1,3 podem

desenvolver respiração anaeróbica, o que está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pois estes tratamentos apresentaram maior incidência de escurecimento da polpa e presença de sabor alcoólico decorrente de metabolismo fermentativo (Tabela 1).

Analisando a correlação entre os parâmetros avaliados no experimento 3 nos tratamentos com 1kPa de O₂ combinado com 5, 10 e 15kPa de CO₂, verificou-se que houve uma correlação positiva (0,7708) entre a incidência do escurecimento da polpa e o quociente respiratório e uma correlação negativa (-0,9376) entre o consumo de O₂ e a incidência do escurecimento de polpa. Estes resultados mostram que uma redução no consumo de O₂ e o aumento no quociente respiratório podem ser indicadores de condições de armazenamento indutoras de distúrbios fisiológicos decorrentes de respiração anaeróbica. Este resultado concorda, em parte, com a afirmação de SAQUET & STREIF (2002), que citam que o quociente respiratório é um parâmetro utilizado para melhor monitorar a indução das vias fermentativas durante o armazenamento em atmosfera controlada.

3.1.6. Conclusões

A melhor condição de atmosfera testada para o armazenamento do pêssego 'Jubileu' a 0°C é de 1kPa de O₂ e 5,0kPa de CO₂, porém a cultivar Eldorado apresenta melhor potencial de armazenamento, podendo ser armazenada com 1kPa de O₂ e 10kPa de CO₂ sem manifestar escurecimento da polpa.

A sensibilidade dos frutos ao baixo O₂ e alto CO₂, durante o armazenamento, é dependente da cultivar e aumenta com a elevação da temperatura de 0° para 10°C.

A incidência de escurecimento da polpa em pêssegos possui correlação positiva com o quociente respiratório e negativa com a respiração dos frutos em termos de consumo de O₂.

4. CAPÍTULO 2

4.1. Degenerescência da polpa e respiração de quivi cv. Bruno em função das condições de armazenamento (Internal breakdown and respiration of ‘Bruno’ kiwifruit in relation to storage conditions) Cristiano André Steffens, Auri Brackmann, Josuel Alfredo Vilela Pinto, Ana Cristina Eisermann (Artigo enviado para publicação na Revista Ciência Rural, Santa Maria, RS)

4.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o efeito da atmosfera sobre a ocorrência da degenerescência da polpa, de sabor e aroma alcoólico no quivi cultivar Bruno e a relação destes parâmetros com a taxa respiratória e o quociente respiratório. Os tratamentos foram 0,5, 1,0 e 1,5kPa O₂, combinados com 8, 12 e 16kPa CO₂. A incidência de degenerescência da polpa e de frutos com aroma alcoólico foi menor nos frutos armazenados com 8kPa de CO₂, independente do nível de O₂. A taxa respiratória dos frutos foi menor nos tratamentos com 16kPa de CO₂ e o quociente respiratório apresentou os maiores valores no tratamento com 0,5kPa de O₂ combinado com 16kPa de CO₂. A taxa respiratória correlacionou-se negativamente com a incidência de degenerescência da polpa e com a presença de aroma alcoólico. O quociente respiratório apresentou uma correlação positiva com a degenerescência da polpa e com a incidência de aroma alcoólico. Segundo a análise sensorial, os tratamentos com 1,0 e 1,5kPa de O₂, combinado com 8kPa de CO₂, não induziram a formação de sabor alcoólico nos frutos.

Palavras-chave: *Actinidia chinensis*, pós-colheita, distúrbios fisiológicos.

4.1.2. Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of atmosphere on the internal breakdown, alcoholic taste and flavor in ‘Bruno’ kiwifruits and the relationship between these parameters and the rate and respiratory quotient. The treatments were 0.5, 1.0 and 1.5kPa O₂ combined with 8, 12 and 16kPa CO₂. The internal breakdown and occurrence of fruits with flavor was lower at 8kPa of CO₂ independent of O₂ level. Respiration rate of fruits was lower

at treatments with 16kPa of CO₂ and the respiratory quotient showed highest values at treatment with 16kPa of CO₂. The respiration rate was negatively correlated with internal breakdown and flavor incidence. The respiratory quotient showed a positive correlation with internal breakdown and alcoholic aroma incidence. According to sensory analysis, the treatments with 1.0 and 1.5kPa of O₂ combined with 8kPa of CO₂ did not induce the of flavor taste in fruits.

Key words: *Actinidia chinensis*, postharvest, physiological disorders

4.1.3. Introdução

A durabilidade de um produto perecível na pós-colheita é dependente da sua sensibilidade à ação de microrganismos patogênicos, da taxa de transpiração e da sua atividade metabólica. Os principais fatores que influenciam a manutenção da qualidade dos frutos, durante o armazenamento e, conseqüentemente, a redução das perdas pós-colheita são a redução da temperatura, a diminuição da pressão parcial de O₂ e o aumento da pressão parcial de CO₂, através da atmosfera controlada ou modificada. Esse efeito é devido à redução nos processos metabólicos, principalmente a respiração celular, que culminam no amadurecimento dos frutos (SHIINA et al., 1997).

O processo respiratório envolve uma série de reações de oxi-redução, onde compostos orgânicos são oxidados a CO₂, sendo este considerado o principal fator que contribui para as perdas pós-colheita de produtos perecíveis (MAHAJAN & GIOSWAMI, 2001). De acordo com esses autores, a diminuição da atividade enzimática pela baixa temperatura, baixo O₂ e/ou alto CO₂, em geral, reduz a utilização de substratos e aumenta a vida pós-colheita dos frutos. No entanto, SAQUET & STREIF (2000) afirmam que nem sempre frutos com baixa taxa respiratória, durante o armazenamento, apresentam um maior tempo de conservação. Isso ocorre devido ao fato de que o uso de pressões parciais de O₂ excessivamente baixas ou altas de CO₂ podem induzir a respiração anaeróbica (SHIINA et al., 1997), levando a formação e acúmulo de etanol e acetaldeído nos tecidos (KE et al., 1993), os quais são compostos tóxicos que podem desencadear o surgimento de degenerescência da polpa dos frutos e o desenvolvimento de aroma e sabor alcoólico (SAQUET et al, 2000). Este problema torna-se ainda mais grave no armazenamento em atmosfera modificada, onde normalmente o O₂ pode atingir níveis muito baixos (< 2kPa) e o CO₂ muito altos (>10kPa).

Segundo PETRACEK et al. (2002), o sucesso da atmosfera modificada, em manter a

qualidade do produto, depende da redução da respiração aeróbica sem ocorrer a indução da respiração anaeróbica. Assim, para manter a qualidade dos frutos, durante o armazenamento, é muito importante conhecer a taxa respiratória e a sensibilidade dos frutos ao O_2 e CO_2 , principalmente para o armazenamento em atmosfera modificada, pois, em função destes dados e da permeabilidade do filme, é possível escolher um material que permita uma atmosfera de armazenamento que diminua o metabolismo dos frutos sem induzir o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos decorrentes da respiração anaeróbica.

FONSECA et al. (2002a) citam que, no metabolismo fermentativo, a produção de etanol envolve a descarboxilação do piruvato a CO_2 sem consumo de O_2 . SAQUET & STREIF (2002) obtiveram resultados que sustentam esta afirmação, onde as cultivares de maçã Gala, Jonagold e Fuji apresentaram redução no consumo de O_2 , em condições de anaerobiose, sem ocorrer redução na produção de CO_2 . Assim, esses autores afirmam que o quociente respiratório, relação entre produção de CO_2 e consumo de O_2 , é um parâmetro utilizado para melhor observar a provável ativação das vias fermentativas durante o armazenamento. Segundo KADER (1987), frutos desenvolvendo respiração aeróbica apresentam valores de quociente respiratório entre 0,7 e 1,3, dependendo do substrato que está sendo predominantemente utilizado no processo (FONSECA et al., 2002a). SAQUET & STREIF (2002) constataram que diversas cultivares de maçãs já iniciaram a respiração anaeróbica em pressões parciais de O_2 abaixo de 1,5kPa, atingindo valores de quociente respiratório de 2,5. BRACKMANN et al. (1995) verificaram que 2kPa de O_2 combinado com 5kPa de CO_2 são boas condições para o armazenamento de quivi.

No entanto, MAZARO et al. (2000) não observaram ocorrência de distúrbios fisiológicos e de sabores e aromas característicos de fermentação em quivis armazenados em 2kPa de O_2 combinado com 7kPa de CO_2 , porém não avaliaram pressões parciais de O_2 menores que 2kPa e de CO_2 maiores que 7kPa. Segundo IDLER (1997), pressões parciais de O_2 inferiores a 1kPa e de CO_2 superiores a 7kPa induzem o surgimento de degenerescência da polpa em quivi. No entanto, ainda não foram avaliados o efeito de pressões parciais de O_2 menor que 2kPa e de CO_2 maior que 7kPa no quivi produzido no Brasil. Assim, é de extrema importância conhecer a combinação de O_2 e CO_2 que reduza mais acentuadamente a respiração, porém, sem induzir o desenvolvimento de degenerescência da polpa e de sabor alcoólico nos frutos.

Dessa forma, o objetivo foi de avaliar o efeito de níveis de O_2 e CO_2 sobre a ocorrência de degenerescência da polpa, de aroma e sabor alcoólico no quivi 'Bruno' e a relação da ocorrência de degenerescência da polpa e aroma alcoólico com a taxa respiratória e

com o quociente respiratório.

4.1.4. Material e métodos

Os experimentos foram desenvolvidos com quiwi (*Actinidia chinensis*) cultivar Bruno, no ano de 2004. Os frutos, provenientes de um pomar comercial localizado no município de Farroupilha, após colhidos, foram transportados ao Núcleo de Pesquisa em Pós-Colheita da Universidade Federal de Santa Maria, onde se descartou os frutos feridos e procedeu-se a homogeneização e separação das amostras experimentais.

Nos dois experimentos, os tratamentos avaliados foram 0,5, 1,0 e 1,5kPa O₂ combinados com 8, 12 e 16kPa CO₂ na temperatura de 0°C, ambos em um arranjo bifatorial. No experimento 1, os frutos foram acondicionados em recipientes de vidro, hermeticamente fechados, com capacidade de 5L. No experimento 2, os frutos foram acondicionados em minicâmaras experimentais com capacidade de 60L, hermeticamente fechadas. A unidade experimental foi de 10 frutos e 5.000g de frutos, no experimento 1 e 2, respectivamente. Em ambos os experimentos, foram utilizadas três repetições. No experimento

As pressões parciais dos gases foram obtidas mediante a diluição do O₂ no ambiente de armazenamento com injeção de N₂, proveniente de um gerador de nitrogênio, que utiliza o princípio “Pressure Swing Adsorption” – (PSA), e posterior injeção de CO₂, provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido no tratamento. A manutenção das pressões parciais desejadas dos gases, nas diferentes condições de armazenamento, que variavam em função da respiração dos frutos, foi realizada duas vezes por dia no experimento 1 e uma vez por dia no experimento 2. Essas avaliações foram feitas através de analisadores eletrônicos de CO₂ e O₂, marca Agri-datalog, e com posterior correção, até atingir os níveis preestabelecidos. O O₂, consumido pela respiração, foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras e o CO₂ em excesso foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio (40% p/v), através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento.

No experimento 1, para avaliar o efeito dos tratamentos, foram realizadas as determinações da ocorrência de degenerescência da polpa e de aroma alcoólico nos frutos e de sabor alcoólico no suco extraído dos frutos, após 3 meses de armazenamento, a 0°C, seguidos de dois dias a 20°C em atmosfera normal (21kPa de O₂ + 0,03kPa de CO₂). No experimento 2, foi avaliada a taxa respiratória, em termos de consumo de O₂ e produção de CO₂, durante o armazenamento nas condições definidas nos tratamentos e calculado o quociente respiratório.

Para avaliar a degenerescência da polpa, os frutos foram cortados transversalmente e realizada a contagem dos que apresentavam regiões internas da polpa com coloração esbranquiçada, sendo os resultados expressos em porcentagem de frutos com incidência de degenerescência de polpa. A presença de aroma alcoólico foi avaliado através de um painel sensorial composto por três pessoas que avaliaram cada fruto, cortado transversalmente, quanto à presença ou não de aroma alcoólico, sendo os resultados expressos em porcentagem de frutos com presença de aroma alcoólico. A presença de sabor alcoólico nos frutos foi determinada através de um painel sensorial composto por seis pessoas, as quais provaram uma amostra de suco extraído dos frutos pertencentes aos tratamentos 0,5kPa O₂+8,0kPa CO₂, 1,0kPa O₂+8,0kPa CO₂ e 1,5kPa O₂+8,0kPa CO₂, indicando a presença ou não de sabor alcoólico.

A taxa respiratória foi determinada pelo consumo de O₂ e pela produção de CO₂. O gás do espaço livre da minicâmara, utilizada para o acondicionamento das amostras, foi circulado através de analisadores eletrônicos de O₂ e CO₂, marca Agri-Datalog. Através da concentração de O₂ e CO₂, do volume do espaço livre, da massa de frutos e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração, sendo os valores expressos em mL de O₂ e CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, para o consumo de O₂ e produção de CO₂, respectivamente. Também foi calculado o quociente respiratório, através da razão entre a produção de CO₂ e consumo de O₂.

A análise de variância seguiu o modelo do delineamento inteiramente casualizado, sendo os dados em porcentagem transformados para $\arcsen\sqrt{x}/100$, antes de proceder a análise da variância. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro. Também foi realizado o teste de correlação de Pearson entre os parâmetros incidência de degenerescência da polpa, presença de aroma alcoólico (experimento 1), produção de CO₂, consumo de O₂ e quociente respiratório (experimento 2).

4.1.5. Resultados e discussão

A ocorrência de degenerescência da polpa e de frutos com aroma alcoólico não foi influenciada pelos níveis de O₂ avaliados (Tabela 1). Os tratamentos com 16kPa de CO₂ apresentaram os maiores valores de ocorrência de degenerescência da polpa e de frutos com aroma alcoólico (Tabela 1). Estes resultados demonstram que a ocorrência da degenerescência de polpa está diretamente relacionada com a fermentação da polpa e ambos são desencadeados pelo alto CO₂. De acordo com KADER (1987), o CO₂ atua reduzindo a velocidade do ciclo dos

ácidos tricarboxílicos e, em níveis excessivamente elevados, esta redução pode causar acúmulo de ácido succínico devido à inibição da enzima succinato desidrogenase. LIU et al. (2004), trabalhando com bananas, observaram também uma redução na atividade da enzima isocitrato desidrogenase devido ao alto CO₂. Assim, espera-se, devido a redução na velocidade do ciclo dos ácidos tricarboxílicos, uma menor obtenção de energia através da respiração aeróbica. Com isto, os frutos utilizam, como alternativa para a obtenção de energia, a respiração anaeróbica com conseqüente formação de etanol e acetaldeído (PETRACEK et al., 2002) e ocorrência de distúrbios fisiológicos (WATKINS et al., 1997).

Os tratamentos que proporcionaram a menor incidência de degenerescência da polpa e de aroma alcoólico foram aqueles com 0,5, 1,0 e 1,5kPa de O₂ combinado com 8kPa de CO₂ (Tabela 1). No entanto, de acordo com a análise sensorial, o suco extraído dos frutos armazenados em 1,0kPa O₂ + 8,0kPa CO₂ apresentou melhor sabor e alguns avaliadores consideraram que o suco extraído dos frutos armazenados em 0,5kPa O₂ + 8,0kPa CO₂ apresentou sabor alcoólico (dados não apresentados). Com relação ao efeito do CO₂, os resultados do presente trabalho discordam daqueles obtidos por IDLER (1997) que afirma que pressões parciais de CO₂ acima de 7kPa induzem a ocorrência de degenerescência da polpa, mas, com relação ao efeito do O₂, os resultados estão de acordo com IDLER (1997), pois este autor observou que pressões parciais de O₂ inferiores a 1kPa induzem o surgimento de danos em quivi.

Tabela 1. Incidência de degenerescência da polpa e de frutos com aroma característico de fermentação em quivi 'Bruno' em função das pressões parciais de O₂ e CO₂, após 3 meses de armazenamento a 0°C. Santa Maria, 2004.

CO ₂ (kPa)	Degenerescência da polpa (%)				Aroma de fermentação (%)			
	O ₂ (kPa)			Média	O ₂ (kPa)			Média
	0,5	1,0	1,5		0,5	1,0	1,5	
8,0	2,2	0,0	6,7	3,0c	2,2	0,0	8,9	3,7b
12,0	24,4	6,7	31,9	21,0b	8,9	11,1	22,5	14,2b
16,0	79,4	63,5	80,0	74,3a	63,9	77,1	86,7	75,9a
Média	35,3A	23,4A	39,5A		25,0A	29,4A	39,4A	
C.V. (%)		31,3				49,1		

* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Observou-se interação entre os níveis de O₂ e CO₂ para as variáveis dependentes taxa de consumo de O₂ e quociente respiratório (Tabela 2). A taxa de produção de CO₂ não foi influenciada pelos níveis de O₂ (Tabela 2). Quanto ao nível de CO₂, a taxa de produção de CO₂ foi menor nos tratamentos com 16kPa, seguido pelos tratamentos com 12kPa de CO₂ (Tabela

2). LIU et al. (2004) também observaram redução na produção de CO₂, em bananas, pelo alto CO₂. O consumo de O₂ foi menor no tratamento com 0,5kPa de O₂ combinado com 16kPa de CO₂, seguido pelos tratamentos com 1,0 e 1,5kPa de O₂ combinado com 16kPa de CO₂ (Tabela 2). Este resultado evidencia um efeito combinado entre o baixo O₂ e o alto CO₂ sobre o consumo de O₂. FONSECA et al. (2002b) também verificaram menor atividade respiratória com a redução do nível de O₂ e aumento do CO₂. De acordo com KADER (1996), o baixo O₂ reduz a taxa respiratória devido à redução da atividade das enzimas citocromo oxidase, polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase. MATHOOKO (1996) e FONSECA et al. (2002a) afirmam que o CO₂ é um forte inibidor do processo respiratório em alguns frutos, sendo que seu efeito pode ser direto, atuando sobre a rota glicolítica, o ciclo dos ácidos tricarboxílicos e o sistema transportador de elétrons, ou então indireto, atuando como antagonista à ação do etileno sobre algumas enzimas envolvidas no processo respiratório.

O quociente respiratório foi maior no tratamento com 0,5kPa de O₂ combinado com 16kPa de CO₂ (Tabela 2). PETRACEK et al. (2002), trabalhando com cerejas, também observou maior quociente respiratório quando os frutos foram armazenados em baixo O₂. De acordo com KADER (1987), frutos que apresentam quociente respiratório acima de 1,3 podem estar desenvolvendo respiração anaeróbica. Este resultado está de acordo com os obtidos no presente trabalho, pois os tratamentos que apresentaram quociente respiratório acima de 1,3 foram aqueles que apresentaram a maior incidência de frutos com degenerescência da polpa e com aroma alcoólico (Tabelas 1 e 2). PETRACEK et al. (2002) observaram que os tratamentos com maior quociente respiratório apresentaram maior acúmulo de produtos do metabolismo fermentativo, os quais conferem um sabor e aroma alcoólico aos frutos.

Tabela 2. Taxa respiratória, em termos de produção de CO₂ e consumo de O₂, e quociente respiratório de quivi 'Bruno' em função das pressões parciais de O₂ e CO₂, após 3 meses de armazenamento a 0°C. Santa Maria, 2004.

CO ₂ (kPa)	Produção de CO ₂ (mL de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)				Consumo de O ₂ (mL de O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)			Quociente respiratório (CO ₂ /O ₂)		
	O ₂ (kPa)			Média	O ₂ (kPa)			O ₂ (kPa)		
	0,5	1,0	1,5		0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
8,0	1,18	1,19	1,23	1,20a	0,99Ba	1,31Aa	1,32Aa	1,20Ab	0,90Bc	0,93Bb
12,0	0,99	0,96	1,02	0,98b	0,78Bb	0,88Ab	0,78Bb	1,27Ab	1,07Bb	1,32Aa
16,0	0,92	0,94	0,92	0,93c	0,58Bc	0,69Ac	0,68Ac	1,59Aa	1,38Ba	1,36Ba
Média	1,03A	1,03A	1,06A	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	4,55				5,29			4,28		

* Tratamentos com médias não seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, diferem pelo teste de Duncan a 5%.

Com relação à análise de correlação de Pearson, verificou-se uma correlação positiva entre o quociente respiratório e a ocorrência de degenerescência da polpa ($R^2=0,8100$) e a presença de odor de fermentação ($R^2=0,6574$). Observou-se também uma correlação negativa entre a ocorrência de degenerescência da polpa e o consumo de O_2 ($R^2=-0,7823$) e a produção de CO_2 ($R^2=-0,7197$) e entre a presença de odor de fermentação com o consumo de O_2 ($R^2=-0,6584$) e a produção de CO_2 ($R^2=-0,6383$). Estes resultados demonstram que o quociente respiratório e a atividade respiratória podem ser indicadores de condições de armazenamento indutoras de distúrbios fisiológicos decorrente de respiração anaeróbica em quivi. Este resultado concorda com a afirmação de SAQUET & STREIF (2002), que afirmam que o quociente respiratório é um parâmetro utilizado para melhor monitorar a indução das vias fermentativas durante o armazenamento de maçãs em atmosfera controlada. PETRACEK et al. (2002) afirmam que, em cerejas, a indução da respiração anaeróbica está correlacionada com o quociente respiratório. Observa-se também que o maior quociente respiratório, nos tratamentos que apresentaram elevada incidência de degenerescência da polpa, ocorreu por uma grande produção de CO_2 sem haver consumo proporcional de O_2 (Tabela 2). SAQUET & STREIF (2002) também verificaram este comportamento em maçãs armazenadas em condições de anaerobiose. Segundo TAIZ & ZEIGER (2004), em condições de anaerobiose, as células vegetais, para fornecer energia para a manutenção celular sem o uso de oxigênio, realizam a fermentação alcoólica. Neste processo, o piruvato pode ser utilizado pelas enzimas piruvato descarboxilase e a álcool desidrogenase, liberando CO_2 e etanol (PETRACEK et al., 2002; TAIZ & ZEIGER, 2004).

4.1.6. Conclusão

A melhor condição de atmosfera testada para o armazenamento do quivi cultivar Bruno a $0^\circ C$ é de 1kPa de O_2 + 8kPa de CO_2 , pois reduz a atividade respiratória dos frutos e proporciona melhor sabor e menor incidência de frutos com degenerescência da polpa e aroma alcoólico. A incidência de degenerescência e de aroma alcoólico na polpa do quivi 'Bruno' possui correlação positiva com o quociente respiratório e negativa com a respiração dos frutos.

O O_2 abaixo de 1kPa induz a formação de sabor alcoólico nos frutos e o CO_2 acima de 8kPa causa uma alta ocorrência de degenerescência da polpa.

5. CAPÍTULO 3

5.1. Respiração de frutas de clima temperado (Respiration of fruits of temperate climate)

Cristiano André Steffens; Auri Brackmann; Josuel Alfredo Vilela Pinto, Ana Cristina Eisermann, Anderson Weber, Ricardo Fabiano Hettewer Giehl (Artigo enviado para publicação revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF)

5.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o efeito do estágio de maturação, da temperatura e da modificação da atmosfera durante o armazenamento sobre a taxa respiratória de algumas cultivares de maçã, caqui, quivi e pêsego, assim como as diferenças entre cultivares. Também avaliou-se a relação entre taxa respiratória e o potencial de armazenamento. Os tratamentos utilizados foram dois estádios de maturação (verde-maduro e maduro), três temperaturas (0, 10 e 20°C) e condições de armazenamento (armazenamento refrigerado e atmosfera modificada). As cultivares avaliadas foram Gala e Fuji, em maçã, Fuyu, Giombo, Rama Forte, Taubaté e Coração de boi, em caqui, Bruno e Hayward, em quivi, Eldorado, Jubileu e Maciel, em pêsego. De acordo com os resultados, observou-se que as cultivares de maçã Gala, armazenadas a 0°C, e Fuji, a 0 e 10°C, não apresentaram pico respiratório característico de frutos climatéricos. O estágio de maturação influenciou a taxa respiratória nas duas cultivares de maçã e no caqui 'Giombo' a 0°C, e nos caquis 'Fuyu' e 'Rama Forte' armazenados a 10°C. A taxa respiratória variou entre as cultivares em todas as espécies de frutas avaliadas. A temperatura exerceu forte efeito sobre a respiração e o incremento na taxa respiratória pelo aumento da temperatura, medido pelo valor Q_{10} , variou de acordo com a espécie e com faixa de variação da temperatura. A modificação da atmosfera, em média, reduziu a taxa respiratória em 14,3%, nas frutas armazenadas a 0°C.

Palavras-chave: armazenamento, pós-colheita, taxa respiratória, atmosfera modificada.

5.1.2. Abstract

The objective this work was to evaluate the effect of ripening stages, temperature and modification of atmosphere during storage on the respiration rate of some cultivars of apple, persimmon, kiwi and peaches, as well as the relation between respiration rate and the storage potential. Evaluated treatments were two ripening stages (green-ripe and ripe), three temperatures (0, 10 and 20°C) and storage conditions (cold storage and modified atmosphere). The evaluated cultivars were Gala and Fuji, in apple, Fuyu, Giombo, Rama Forte, Taubaté and Coração de Boi, in persimmon, Bruno and Hayward, in kiwi, Eldorado, Jubileu and Maciel, in peaches. According to results, 'Gala' apples, stored at 0°C, and 'Fuji' apples, at 0 and 10°C, did not show a characteristic climateric respiratory rise. Fruit ripening stage influenced the respiration rate of two apple cultivars and of 'Giombo' persimmon at 0°C and of 'Fuyu' and 'Rama Forte' persimmons stored at 10°C. The respiration rate was influenced by cultivars in all species of evaluated fruits. The temperature had a strong effect on the respiration and the increment in respiration rate by increasing of temperature, measured by Q_{10} value, varied according to species and temperature. The modification of atmosphere, on average, reduced the respiration rate in 14.3%, at 0°C.

Key words: storage, postharvest, respiration rate, modified atmosphere.

5.1.3. Introdução

O armazenamento de frutas em atmosfera modificada vem sendo utilizado, por pequenos e médios produtores, como uma alternativa para a conservação destes produtos perecíveis, uma vez que exige um investimento menos oneroso e menor nível de tecnologia que a atmosfera controlada (BRACKMANN et al., 2004). A atmosfera modificada, quando utilizada corretamente, torna-se muito eficiente em retardar o metabolismo e manter a qualidade do produto por períodos prolongados de armazenamento (CHEN et al., 2000). Segundo BRACKMANN & CHITARRA (1998), o uso correto da atmosfera modificada ocorre quando a modificação da atmosfera atinge níveis de O_2 e CO_2 que retardam a atividade respiratória, porém não causam danos ao tecido vegetal.

Atualmente, no Brasil, esta técnica de conservação está sendo utilizada comercialmente para o transporte e/ou armazenamento de um número limitado de frutas, as quais suportam baixos níveis de O_2 e/ou altos de CO_2 , como o morango e o caqui. Isto deve-se

ao grande risco de ocorrer uma excessiva redução dos níveis de O_2 e/ou aumento do CO_2 dentro da embalagem, uma vez que a alteração nas pressões parciais dos gases se estabelece pelo balanço entre a taxa respiratória do produto embalado e a permeabilidade da embalagem aos gases (PEPPELENBOS, 1996; FONSECA et al., 2002). Uma demasiada redução de O_2 e/ou aumento do CO_2 pode desencadear o metabolismo fermentativo e o desenvolvimento de sabor e aroma alcoólico e de degenerescência da polpa (SONG et al., 2002). Em atmosfera modificada isto é plenamente possível de ocorrer, pois não se conhece a taxa respiratória dos frutos e a permeabilidade dos filmes poliméricos nas condições de armazenamento, não sendo possível prever como serão os níveis de gases da atmosfera no interior da embalagem após algum tempo de armazenamento.

De acordo com MAHAJAN & GOSWANI (2001), a respiração é o principal fator a ser considerado no planejamento e dimensionamento do sistema no armazenamento em atmosfera modificada ou controlada. FONSECA et al. (2002) e PETRACEK et al. (2002) também consideram a respiração como fator determinante da magnitude da modificação da atmosfera. SONG et al. (2002) afirmam que o conhecimento da taxa respiratória dos frutos permite prever a composição dos gases dentro da embalagem durante o armazenamento. Além disso, MONOLOPOULOU & PAPADOPOULOU (1998) e CHITARRA (1998) afirmam que a intensidade da taxa respiratória está relacionada com a capacidade de armazenamento do produto, sendo que, quanto maior a taxa respiratória, menor é o tempo de armazenamento.

O objetivo do presente trabalho foi de avaliar a respiração de frutas de clima temperado, com importância econômica no Brasil, em função do estágio de maturação, cultivar, temperatura e da modificação da atmosfera de armazenamento, bem como avaliar a relação entre a taxa respiratória dos frutos e o seu potencial de armazenamento.

5.1.4. Material e métodos

Para este trabalho, foram conduzidos três experimentos no ano de 2004 com maçãs, caquis, quivis e pêssegos. No experimento 1, os tratamentos avaliados originaram-se da combinação entre os fatores estágio de maturação (verde-maduro e maduro) e cultivares (Gala e Fuji, para maçã, Fuyu, Rama Forte, Taubaté, Giombo e Coração de boi, para caqui, Jubileu, Maciel e Eldorado, para pêssego). Também avaliou-se neste experimento as cultivares de quivi Bruno e Hayward, porém somente em um estágio de maturação. Os frutos dos estádios

de maturação verde-maduro e maduro apresentavam os seguintes atributos de qualidade: maçã ‘Gala’ estava com ângulo hue de 103,8 e 84,7, firmeza de polpa de 73,2 e 71,1N e índice de iodo-amido de 7,2 e 8, para os estádios de maturação verde-maduro e maduro, respectivamente; a maçã ‘Fuji’ estava com ângulo hue de 98,5 e 85,4, firmeza de polpa de 70,3 e 68,6N e índice de iodo-amido de 7 e 8,1, respectivamente. O pêssigo ‘Maciel’ estava com ângulo hue 103,5 e 92,4, firmeza de polpa de 53,3 e 51,7N, acidez titulável de 15,7 e 15,1cmol L⁻¹ e sólidos solúveis totais de 11,1 e 11,9°Brix para os estádios de maturação verde-maduro e maduro, respectivamente. O pêssigo ‘Jubileu’ estava com ângulo hue de 105,7 e 94,1, firmeza de polpa de 53,7 e 50,2N, acidez titulável de 12,8 e 12,1cmol L⁻¹ e sólidos solúveis totais de 11,1 e 11,9°Brix para os estádios de maturação verde-maduro e maduro, respectivamente. O pêssigo ‘Eldorado’ apresentou firmeza de polpa de 58,2 e 56,3N, acidez titulável de 11,1 e 10,2cmol L⁻¹ e sólidos solúveis totais de 11,8 e 12,4°Brix para os estádios de maturação verde-maduro e maduro, respectivamente. Os caquis apresentavam epiderme verde-amarelo, no estágio verde-maduro, e amarelo-avermelhado, no estágio de maturação maduro.

No experimento 2, avaliou-se o efeito das temperaturas 0, 10 e 20°C sobre a respiração das cultivares Gala e Fuji, em maçã, Hayward e Bruno, em quivi, Fuyu e Rama Forte, em caqui, e Jubileu, em pêssigo. No experimento 3, os tratamentos originaram-se da combinação entre os fatores espécie de fruta (pêssigo, maçã, quivi e pêssigo) e condição de armazenamento (armazenamento refrigerado e atmosfera modificada). Os três experimentos seguiram o delineamento inteiramente casualizado, sendo cada tratamento constituído de três repetições. Os pêssigos foram provenientes de pomares comerciais localizados no município de Canguçu, as maçãs de pomares comerciais de Vacaria, o caqui ‘Fuyu’ e os quivis de pomares comerciais de Farroupilha e os caquis ‘Rama Forte’, ‘Giombo’, ‘Taubaté’ e ‘Coração de boi’ foram provenientes do pomar didático localizado na Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, sendo todos municípios do estado do Rio Grande do Sul.

Nos experimentos 1 e 2, os frutos foram acondicionados em recipientes de vidro com capacidade de 5000mL, sendo que, para determinar a respiração, estes vidros foram hermeticamente fechados por 2 horas a cada 3 dias, 12 horas a cada 5 dias e 48 horas a cada 7 dias, nas temperaturas de 20, 10 e 0°C, respectivamente. Nestes experimentos, a unidade experimental foi composta por 1000g de frutos. No experimento 3, os frutos foram acondicionados em minicâmaras experimentais com capacidade de 60L, sendo a unidade experimental composta por uma massa de 15000g de frutos.. Na condição de armazenamento refrigerado, as minicâmaras experimentais foram fechadas por 72 horas para ocorrer o

acúmulo de CO₂ necessário para a quantificação da respiração. Na condição de armazenamento em atmosfera modificada, as pressões parciais dos gases foram obtidas mediante a diluição do O₂ no ambiente de armazenamento com injeção de N₂, proveniente de um gerador de nitrogênio, que utiliza o princípio “Pressure Swing Adsorption” – (PSA), e posterior injeção de CO₂, provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido no tratamento. As condições de armazenamento foram 5kPa de O₂ + 5kPa de CO₂, para maçã ‘Gala’, quivi ‘Bruno’ e pêssigo ‘Jubileu’, e 10kPa de O₂ + 10kPa de CO₂, para o caqui ‘Fuyu’. Estas pressões parciais de gases foram utilizadas em função de serem condições que poderiam ser obtidas durante o armazenamento em atmosfera modificada, sem apresentar risco de desenvolver distúrbios fisiológicos decorrente de metabolismo fermentativo.

A manutenção das pressões parciais desejadas dos gases, nas diferentes condições de armazenamento, que variavam em função da respiração dos frutos, foi realizada diariamente. As avaliações das pressões parciais dos gases foram feitas através de analisadores eletrônicos de CO₂ e O₂, marca Agri-Datalog, e com posterior correção, até atingir os níveis preestabelecidos. O O₂, consumido pela respiração, foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras e o CO₂ em excesso foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio (40% p/v), através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento. Quando foi realizada a determinação da respiração dos frutos nesta condição, a correção da atmosfera foi realizada somente 48 horas após o início do período de determinação da respiração.

A taxa respiratória foi determinada pela produção de CO₂. O gás do espaço livre do recipiente de vidro ou da minicâmara, utilizados para o acondicionamento das amostras, foi circulado através de analisadores eletrônicos de O₂ e CO₂, marca Agri-Datalog. Através da concentração de CO₂, do volume do espaço livre, da massa de frutos e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração, sendo os valores expressos em mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Também foi calculado, no experimento 2, o quociente da temperatura de respiração (Q₁₀), o qual é a relação entre a taxa de uma reação específica numa dada temperatura versus a taxa de reação na temperatura acrescida de 10°C (CHITARRA, 1998). Para este cálculo, utilizou-se a equação $Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(T_2 - T_1)}$, onde R₂ é a taxa respiratória na temperatura T₂ e R₁ é a taxa respiratória na temperatura T₁.

A análise de variância seguiu o modelo do delineamento inteiramente casualizado. Nos experimentos 1 e 3, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro. No experimento 2, as médias foram submetidas a análise de

regressão linear simples.

5.1.5. Resultados e discussão

De acordo com as figuras 1 e 2, observou-se que, a 0°C, não foi possível detectar claramente o pico climatérico na respiração das cultivares de maçã Gala e Fuji. De acordo com CHITARRA (1998), quando o fruto fica exposto à temperatura próxima ao limite fisiológico de tolerância pela cultivar, o pico climatérico pode ser totalmente suprimido. Esta afirmação sustenta os resultados obtidos com as cultivares Gala e Fuji a 0°C. Já a 10 e 20°C, somente na cultivar 'Fuji' não foi possível observar o pico respiratório (Figuras 1 e 2). SAQUET & STREIF (2000) também não observaram pico respiratório na cultivar Fuji. De acordo com CHITARRA (1998), o aumento na taxa respiratória é um evento secundário, sendo estimulado pelo aumento na taxa de produção de etileno durante o amadurecimento dos frutos. Considerando esta afirmação, o comportamento observado na cultivar Fuji pode ser considerado esperado, pois esta cultivar apresenta pouca resposta ou até mesmo nenhuma resposta ao etileno, conforme observado por BRACKMANN et al. (2001).

Observou-se também que a medida que se aumentou a temperatura antecipou-se o pico respiratório (Figuras 1 e 2). Este resultado está de acordo com CHITARRA (1998), que afirma que temperaturas mais baixas retardam o pico climatérico. Com relação ao estágio de maturação, verificou-se que o pico respiratório foi antecipado no caqui 'Fuyu' colhido no estágio maduro, nas três temperaturas estudadas (Figuras 2D, 2E e 2F). Este resultado era esperado em todas as cultivares e espécies avaliadas, no entanto, a taxa respiratória máxima pode ocorrer desde o estágio de maturação maduro até o super maduro (CHITARRA, 1998).

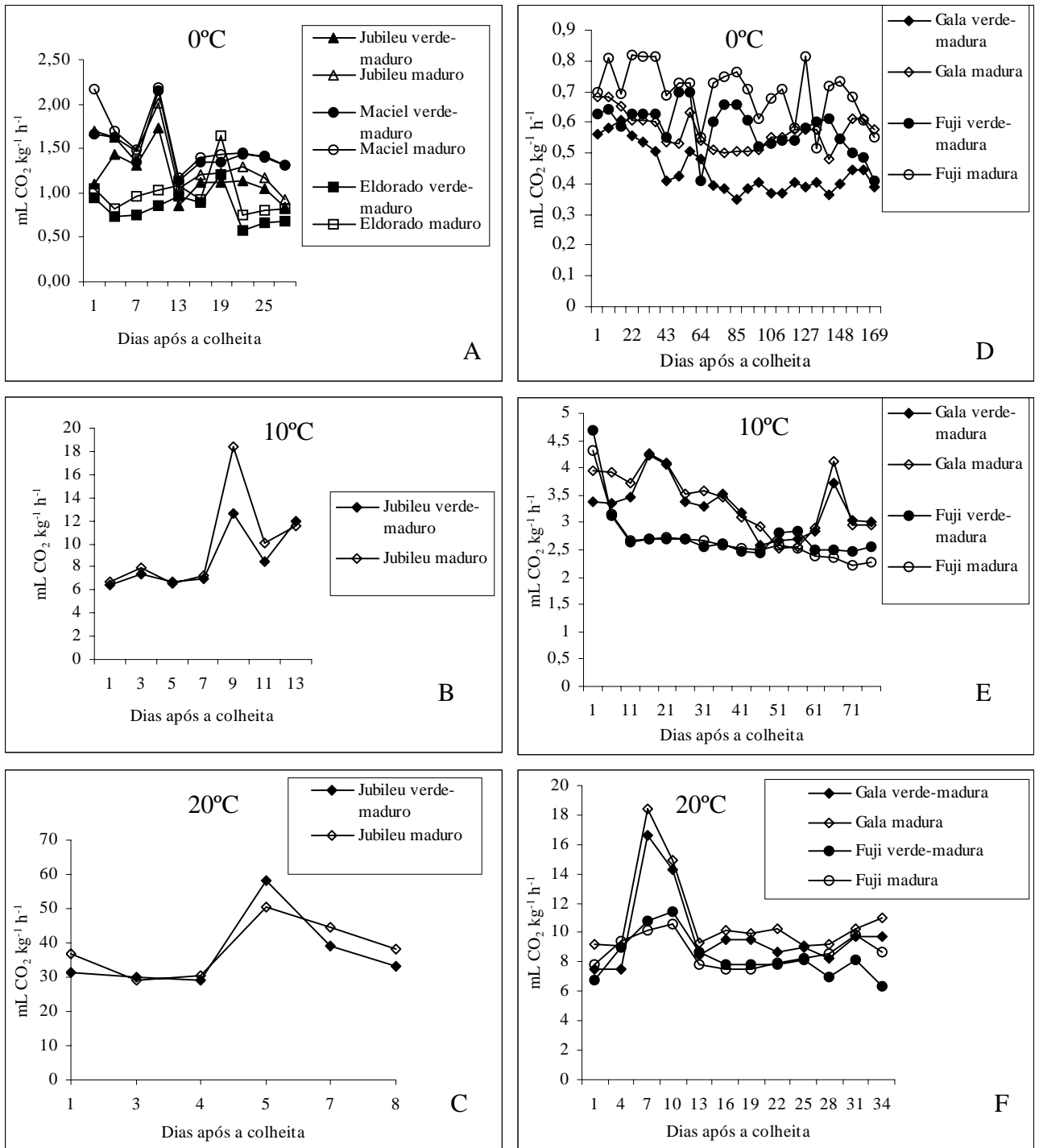


Figura 1. Respiração ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de pêssegos (A, B, e C) e maçãs (D, E e F) a 0, 10 e 20°C. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

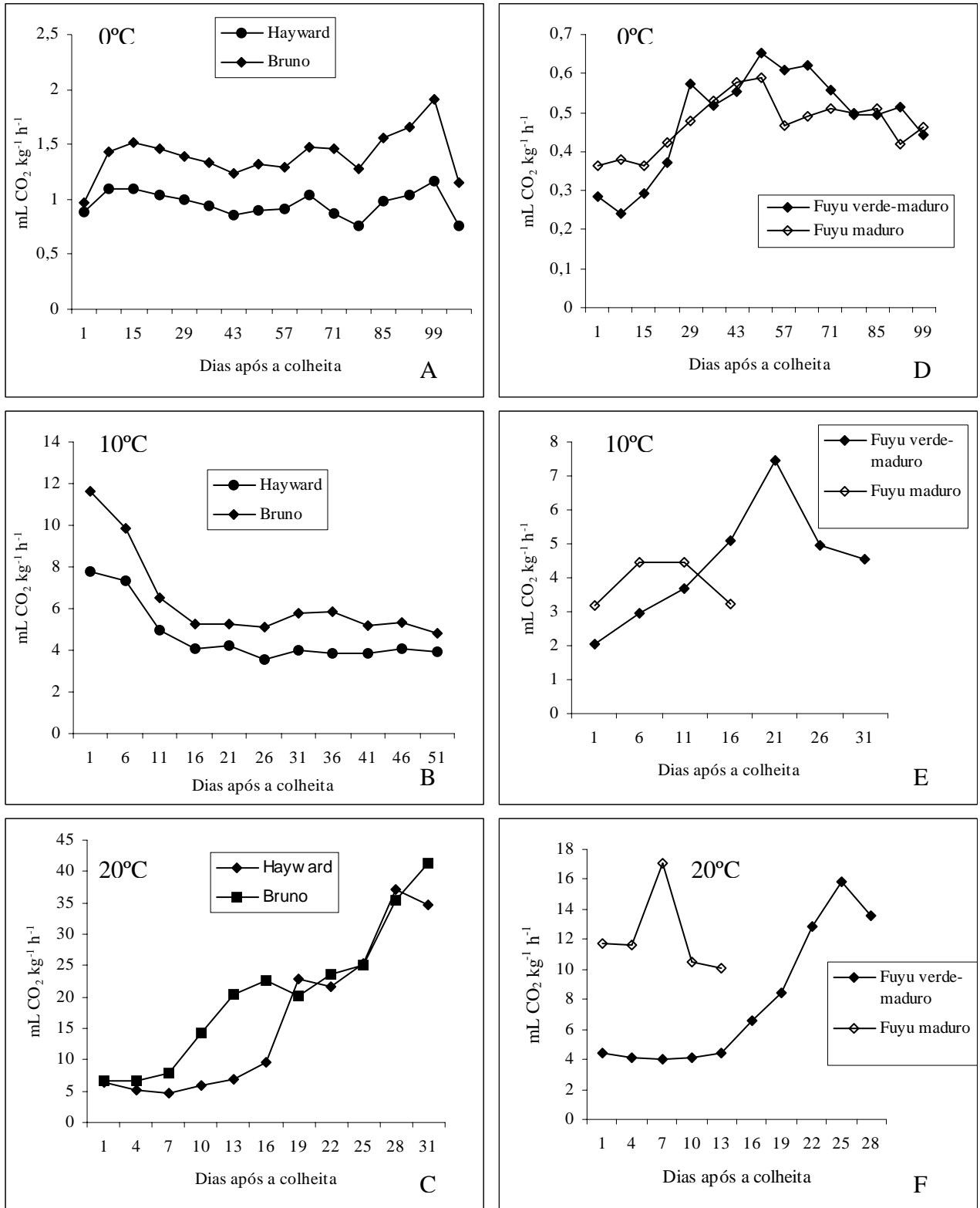


Figura 2. Respiração (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) de quivis (A, B e C) e de caquis (D, E e F) a 0, 10 e 20°C. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

Verificou-se, de acordo com a Tabela 1, que os frutos colhidos no estágio maduro apresentaram maior taxa respiratória média em maçã e no caqui 'Giombo' mantidos a 0°C, porém menor nos caquis 'Rama Forte' e 'Fuyu', armazenados a 10°C. FONSECA et al. (2002) citam que o estágio de maturação normalmente influencia a atividade respiratória. No entanto, pode ser possível observar uma atividade respiratória semelhante entre frutos de diferentes estágios de maturação (STEFFENS, 2003). Constatou-se que as cultivares que apresentaram maior taxa respiratória foram a Fuji a 0°C e a Gala a 10 e 20°C, em maçã, Maciel, em Pêssego, Rama Forte, em caqui, e Bruno, em quivi (Tabelas 1 e 2). Assim, de maneira geral, as cultivares mais precoces apresentaram maior taxa respiratória quando comparadas com cultivares mais tardias (Tabelas 1 e 2). Este resultado está de acordo com MANOLOPOULOU & PAPADOPOULOU (1998) que observaram, em quivi, que cultivares precoces apresentam uma maior atividade respiratória do que cultivares mais tardias. BRACKMANN & STREIF (1994) e SAQUET & STREIF (2002) também verificaram, em maçãs produzidas na Alemanha, que cultivares mais tardias, como a Fuji, apresentam taxa respiratória menor que a Gala, de maturação mais precoce. No entanto, no presente trabalho, na temperatura de 0°C, a cultivar Fuji, mais tardia, apresentou maior atividade respiratória que a maçã 'Gala', mais precoce (Tabela 1). Este resultado contraria as afirmações encontradas na literatura (BRACKMANN & STREIF, 1994; SAQUET & STREIF, 2002). Porém, no Brasil, câmaras com maçã 'Fuji' necessitam uma maior reposição de oxigênio do que a maçã 'Gala', durante o armazenamento em atmosfera controlada na temperatura em torno de 0°C (BRACKMANN, 2005), evidenciando que, em baixas temperaturas, a cultivar Fuji apresenta uma atividade respiratória maior do que a Gala, confirmando os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 1. Taxa respiratória média (mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) de maçãs, caquis e pêsegos em função da cultivar e estágio de maturação em três temperaturas de armazenamento. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

	Cultivar	Estádio de maturação		Média
		M1	M2	
Maçã				
0°C	Gala	0,47	0,57	0,52b
	Fuji	0,58	0,67	0,63a
	Média	0,53B*	0,62A	
	Coeficiente de variação (%)		9,12	
10°C	Gala	3,34	3,48	3,41a
	Fuji	2,77	2,68	2,73b
	Média	3,06A	3,08A	
	Coeficiente de variação (%)		6,63	
20°C	Gala	10,03	11,07	10,55a
	Fuji	8,32	8,68	8,50b
	Média	9,17A	9,88A	
	Coeficiente de variação (%)		6,13	
Caqui				
0°C	Fuyu	0,49Ad	0,47Ac	0,48
	Giombo	0,61Bc	0,69Aa	0,65
	Taubaté	0,46Ad	0,51Ac	0,49
	Rama Forte	0,78Aa	0,73Aa	0,76
	Coração de boi	0,69Ab	0,63Ab	0,65
	Média	0,60	0,61	
	Coeficiente de Variação (%)		5,62	
10°C	Fuyu	4,39	3,92	4,16b
	Rama Forte	6,84	5,92	6,38a
	Média	5,62A	4,92B	
	Coeficiente de Variação (%)		8,68	
20°C	Fuyu	7,64	11,80	9,73c
	Giombo	14,36	14,69	14,53b
	Taubaté	14,54	13,73	14,14b
	Rama Forte	22,00	23,56	22,78a
	Coração de boi	10,92	11,50	11,21c
	Média	13,90A	15,06A	
	Coeficiente de Variação (%)		13,64	
Pêssego				
0°C	Maciel	1,52	1,55	1,54a
	Jubileu	1,16	1,33	1,24b
	Eldorado	0,81	0,98	0,89c
	Média	1,16A	1,29A	
	Coeficiente de variação (%)		5,64	

* Médias não seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Taxa respiratória média (mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) de quivis em função da cultivar em três temperaturas de armazenamento. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

Cultivar	Taxa respiratória média a 0°C	Taxa respiratória média a 10°C	Taxa respiratória média a 20°C
Hayward	0,97b*	4,69b	16,92b
Bruno	1,43a	6,43a	20,63a
Média	1,20	5,56	18,78
Coeficiente de variação (%)	6,81	4,33	2,76

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Com relação ao efeito da temperatura, observou-se, em todas as cultivares e espécies estudadas, que a redução da temperatura exerceu forte influência sobre a diminuição da taxa respiratória (Figura 3 e Tabela 3). Este resultado está de acordo com CHITARRA (1998) e FONSECA et al. (2002) que afirmam que a redução da temperatura diminui a atividade respiratória dos frutos. No entanto, estes autores também citam que o aumento em 10°C causa um incremento de duas a quatro vezes na taxa respiratória de frutos, o que não está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho. Verificou-se que o incremento na taxa respiratória pelo aumento da temperatura, medido pelo valor Q₁₀, variou de acordo com a espécie e com faixa de variação da temperatura, porém atingiu valores superiores a quatro (Tabela 3). Por exemplo, a 10°C, o valor Q₁₀ apresentou os valores de 4,3 na maçã ‘Fuji’ e de 8,6 no caqui ‘Fuyu’, sendo que, em média, o valor ficou em 6,4. No entanto, a 20°C, o Q₁₀ não foi tão elevado, apresentando os valores de 3,7 na maçã ‘Fuji’, 5,5 no caqui ‘Rama Forte’, e 4,5 em média. Segundo KADER (1987), o valor Q₁₀ possui variações de acordo com as temperaturas consideradas no cálculo, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

De acordo com a tabela 3, observa-se que existe diferenças entre as espécies estudadas e entre condições de armazenamento. CHITARRA (1998) e MANOLOPOULOU & PAPADOPOULOU (1998) afirmam que a intensidade da taxa respiratória está inversamente relacionada com o potencial de armazenamento da fruta. No entanto, considerando os resultados obtidos neste trabalho, observa-se que esta afirmação é verdadeira para comparar cultivares de uma mesma espécie (Tabela 1), onde cultivares que apresentam uma curta vida pós-colheita apresentaram maior taxa respiratória, como o caqui ‘Taubaté’, o pêssego ‘Maciel’ e o quivi ‘Bruno’, do que aquelas com maior potencial de armazenamento e menor respiração, como o caqui ‘Fuyu’, o pêssego ‘Eldorado’ e o quivi ‘Hayward’. Já comparando-se diferentes espécies, esta regra não é válida, pois o quivi ‘Bruno’ apresentou uma atividade respiratória maior que o pêssego ‘Jubileu’ e o caqui ‘Fuyu’, os quais apresentam um menor

potencial de armazenamento que o quivi ‘Bruno’.

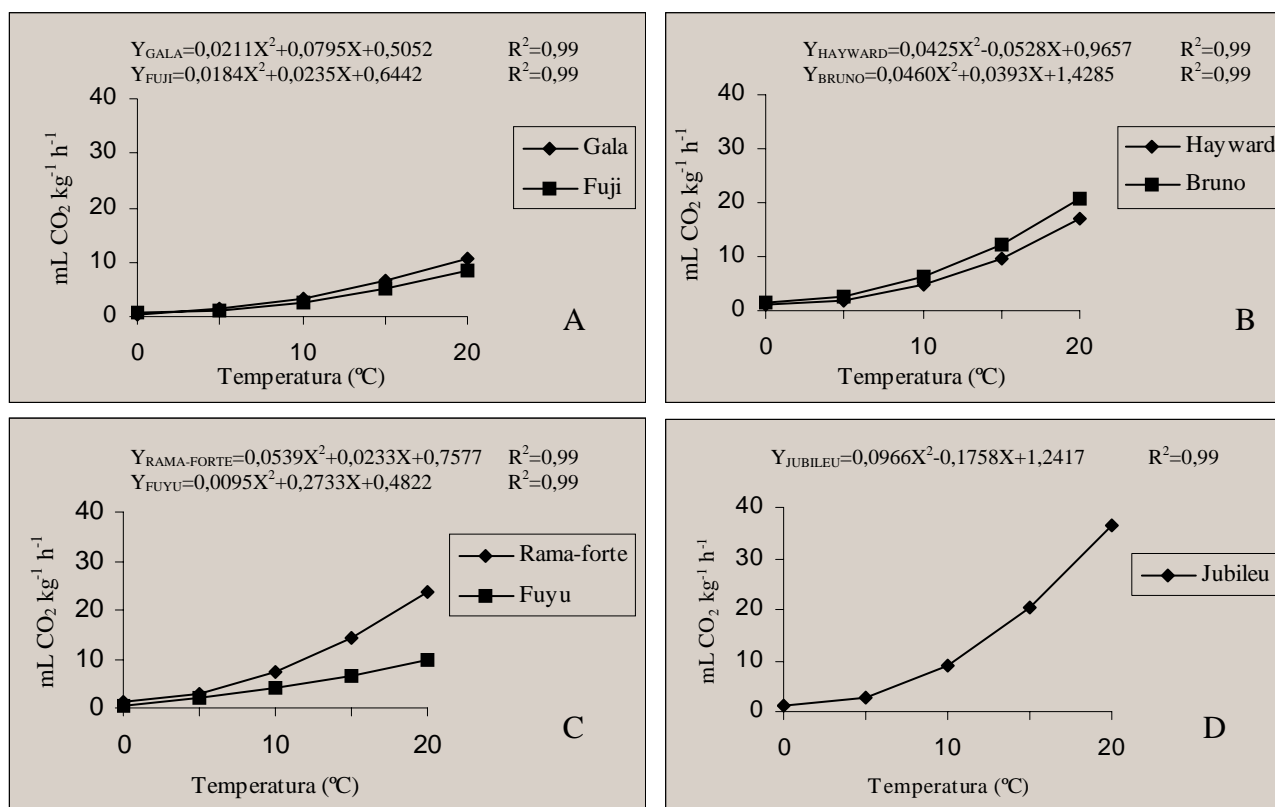


Figura 3. Respiração de cultivares de maçã (A), quivi (B), caqui (C) e pêsego (D) em função da temperatura. Santa Maria, 2005. (Experimento 2)

Tabela 3. Quociente da temperatura de respiração (Q_{10}) em maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’, quivis ‘Hayward’ e ‘Bruno’, caquis ‘Fuyu’ e ‘Rama Forte’ e pêsego ‘Jubileu’. Santa Maria, 2005. (Experimento 2)

Faixa de variação da temperatura (°C)	Maçã		Quiwi		Caqui		Pêssego ‘Jubileu’	Média
	‘Gala’	Fuji’	‘Bruno’	‘Hayward’	‘Fuyu’	‘Rama Forte’		
0 - 10	6,9	4,3	4,5	4,9	8,6	8,4	7,4	6,4
10 - 20	4,5	3,7	3,8	4,2	4,5	5,5	5,4	4,5

Considerando a condição de armazenamento, observou-se que o uso do armazenamento com modificação da atmosfera causou uma redução na taxa respiratória que variou entre 12,1% para o caqui ‘Fuyu’ e 16% na maçã ‘Gala’, sendo que, em média, a redução foi de 14,3% (Tabela 4). Este resultado está de acordo com FONSECA et al. (2002) que afirmam que o baixo O₂ e/ou o alto CO₂ reduzem a atividade respiratória dos frutos. De acordo com KADER (1986), a redução na atividade respiratória pelo baixo O₂ é devido ao decréscimo na atividade de várias enzimas com atividade oxidase, como a citocromo oxidase,

polifenoxidase, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase. Já o efeito do CO₂ sobre a respiração ainda não está totalmente esclarecido, mas algumas hipóteses têm sido formuladas, podendo ele reduzir a produção de CO₂ diretamente, inibindo a rota glicolítica, agindo na fosfofrutoquinase, e o ciclo dos ácidos tricarbóxicos, agindo na succinato oxidase e na isocitrato desidrogenase, e indiretamente, reduzindo a ação do etileno sobre algumas enzimas envolvidas no processo respiratório (MATHOOKO, 1996; FONSECA et al., 2002; LIU et al., 2004).

Tabela 4. Efeito da modificação da atmosfera na redução da taxa respiratória (mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) em frutas armazenadas a 0°C. Santa Maria, 2005. (Experimento 3)

Espécie	Condição de armazenamento		Média	Redução da taxa respiratória pela atmosfera modificada (%)
	Armazenamento Refrigerado	Atmosfera Modificada*		
Pêssego ‘Jubileu’	1,32	1,14	1,23b**	13,6
Caqui ‘Fuyu’	0,58	0,51	0,54c	12,1
Quiwi ‘Bruno’	1,43	1,21	1,32a	15,4
Maçã ‘Gala’	0,50	0,42	0,46d	16,0
Média	0,96A	0,82B		14,3
CV (%)	7,17			

* Pêssego ‘Jubileu’, quiwi Bruno e maçã ‘Gala’: 5kPa de O₂ + 5kPa de CO₂; Caqui ‘Fuyu’: 10kPa de O₂ + 10kPa de CO₂.

** Médias não seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

De acordo com FONSECA et al. (2002), existe uma grande importância no desenvolvimento de modelos matemáticos para prever a taxa respiratória de frutos com a finalidade de dimensionar os sistemas de armazenamento em atmosfera modificada ou controlada. Assim, estes modelos devem ser desenvolvidos para cada cultivar, levando em consideração a composição da atmosfera na qual os frutos ficarão expostos, mas principalmente a temperatura em que eles serão armazenados, pois é o fator que mais influencia a respiração. Quanto ao estágio de maturação, observou-se que, na maioria das situações estudadas, não houve efeito deste fator sobre a taxa respiratória (Tabela 1). No entanto, para as cultivares de maçã estudadas e o caqui ‘Giombo’ armazenados a 0°C, o estágio de maturação maduro apresentou, respectivamente, uma taxa respiratória de 17% e 13% maior que o estágio de maturação verde-maduro. Isto evidencia que este fator, se possível, deve ser considerado na previsão da taxa respiratória dos frutos, pois pode apresentar um efeito maior que a modificação da atmosfera.

5.1.6. Conclusão

As cultivares de maçã Gala, a 0°C, e Fuji, a 0 e 10°C, não apresentam pico respiratório característico de frutos climatéricos. A taxa respiratória é influenciada pelos fatores cultivar, temperatura de armazenamento e modificação da atmosfera. Dentre os fatores estudados, a temperatura é o principal fator que influencia a taxa respiratória. Existe relação entre menor potencial de armazenamento e maior taxa respiratória quando se considera um grupo de cultivares de mesma espécie, mas não quando compara-se diferentes espécies de frutas. O incremento na taxa respiratória pelo aumento da temperatura, medido pelo valor Q_{10} , é maior de 0 a 10°C do que 10 a 20°C, sendo que o valor Q_{10} apresenta valores próximos ou superiores a 4, variando de acordo com a espécie. Considerando as espécies de frutas estudadas, a ordem decrescente na taxa respiratória é quivi, pêssigo, caqui e maçã. A modificação da atmosfera somente reduz, em média, 14,3% a respiração dos frutos, considerando maçã, caqui, pêssigo e quivi.

6. CAPÍTULO 4

6.1. Metodologia para determinação da permeabilidade de filmes poliméricos para uso em atmosfera modificada (Metodology for determination of polymer films permeability for using in modified atmosphere) Cristiano André Steffens, Auri Brackmann, Nereu Augusto Streck, Josuel Alfredo Vilela Pinto, Ana Cristina Eisermann (Artigo enviado para publicação na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF)

6.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos sob condições experimentais que produzam resultados que possam ser utilizados na escolha de um filme para o armazenamento de frutas em atmosfera modificada. Foram avaliados o efeito da umidade relativa, da temperatura (0, 5, 10, 15 e 20°C) e do gradiente da concentração de gases (10, 15 e 20% de O₂ e 5, 10 e 15% de CO₂) sobre a permeabilidade de diferentes filmes poliméricos (celofane permeável e

impermeável ao vapor d'água, policloreto de vinila, náilon, polipropileno biorientado, polietileno de baixa e de alta densidade). O trabalho descreve o método de determinação da permeabilidade de filmes poliméricos. A taxa de permeabilidade aos gases foi alterada com a modificação da umidade relativa no interior da câmara de permeação nos filmes de celofane permeável ao vapor d'água e náilon. A taxa de permeabilidade aos gases, nos filmes avaliados, aumentou com a elevação da temperatura e com o aumento do gradiente de concentração entre os dois lados do filme. A determinação da permeabilidade de filmes poliméricos, para uso em atmosfera modificada, deve ser realizada em condições que sejam próximas aquelas do ambiente de armazenamento. O método de análise da permeabilidade descrito no trabalho permitiu a diferenciação dos filmes quanto à permeabilidade ao O₂ e CO₂ e fornece dados que podem ser utilizados na escolha de um filme adequado ao armazenamento em atmosfera modificada.

Palavras-chave: armazenamento, pós-colheita, polietileno, celofane, náilon.

6.1.2. Abstract

The objective this study was to develop a methodology to evaluate the permeability of polymeric films under experimental conditions in order to provide results that could be used to choose films for using in modified atmosphere storage of fruits. The effect of relative humidity, temperature (0, 5, 10, 15 e 20°C) and concentrations gradient of gases (10, 15 and 20% of O₂ and 5, 10 and 15% of CO₂) on the permeability of different polymeric films (permeable and impermeable cellophane to water vapour, polyvinyl chloride, nylon, bi-oriented polypropylene, polyethylene of low and high density) were evaluated. The paper describes the new method of measurement of the polymeric films permeability. The permeability rate to gases was altered by change in relative humidity inside the permeation chamber for permeable cellophane and nylon films. Permeability rate to gases, on evaluated films, increased with elevation of temperature and with increase of concentration gradient between both sides of the films. The determination of polymeric films permeability, for use in modified atmosphere, must be obtained under conditions similar to those used in storage conditions. The method of analysis of permeability to O₂ and CO₂ provide data that could be used for choosing a suitable film for storage in modified atmosphere.

Key words: storage, postharvest, polyethylene, cellophane, nylon.

6.1.3. Introdução

O armazenamento de frutas e hortaliças em atmosfera modificada pode manter a qualidade dos produtos de maneira semelhante à atmosfera controlada e, ainda, apresenta a vantagem de ser um sistema de conservação relativamente mais simples e econômico (THÉ et al., 2005). Esta técnica de armazenamento consiste basicamente no envolvimento do produto em um filme polimérico que oferece barreira à passagem de água e gases, que, juntamente com o processo respiratório dos frutos, gradualmente, reduz o O_2 e aumenta o CO_2 no interior da embalagem, causando uma modificação da atmosfera e mantendo uma alta umidade relativa.

De acordo com BEN-YEHOSHUA et al. (1983), a atmosfera modificada retarda a senescência e mantém a firmeza e a turgescência dos frutos. Vários trabalhos têm demonstrado a eficiência da atmosfera modificada em retardar o amadurecimento de frutos, como o morango (BRACKMANN & STEFFENS, 2001), caqui (BRACKMANN et al., 1999), laranja (CERETTA et al., 1999) e figo (KADER & WATKINS, 2000). No entanto, a modificação da atmosfera, quando atinge níveis de O_2 e/ou CO_2 excessivamente baixo e alto, respectivamente, induz alterações metabólicas nos frutos de maneira que os mesmos rapidamente desenvolvem distúrbios fisiológicos, prejudicando sua qualidade visual, aroma e sabor. KADER & WATKINS (2000) citam que a utilização comercial do transporte e armazenamento de produtos hortícolas em atmosfera modificada tem sido limitada a poucos produtos. Para estes autores, este fato deve-se a falta de informações sobre a permeabilidade de filmes em diferentes temperaturas e umidade relativa do ar, as quais devem ser semelhantes aquelas que ocorrem durante o armazenamento.

ULLSTEN & HEDENQVIST (2003) afirmam que, para manter uma atmosfera ideal dentro da embalagem, é indispensável conhecer a permeabilidade das embalagens aos gases. Existem metodologias para determinação da permeabilidade de filmes poliméricos, no entanto estas metodologias foram desenvolvidas em condições padrões, as quais são diferentes daquelas que ocorrem durante o armazenamento (TADLAOUI et al., 1993). Alguns trabalhos têm demonstrado que a permeabilidade de um mesmo filme pode variar em função da temperatura (TADLAOUI et al., 1993), umidade relativa (NOBILE et al., 2002), composição da atmosfera (LEWIS et al., 2003) e a presença de aditivos e plastificantes na matriz do filme polimérico (FELISBERTI, 1985). Assim, estes dados de permeabilidade aos gases não podem ser utilizados para prever a modificação da atmosfera ou para escolher um filme para o uso no

armazenamento em atmosfera modificada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos, de forma que este parâmetro possa ser utilizado corretamente na escolha do filme adequado para o armazenamento de frutas em atmosfera modificada.

6.1.4. Material e métodos

Para a execução dos experimentos, foi construído um equipamento (câmara de permeação) em ferro fundido, sendo que o mesmo recebeu uma aplicação de um selador e de tinta cor branca para evitar reações de oxidação pela ação do oxigênio. A câmara de permeação é constituída de uma câmara cilíndrica com duas aberturas dispostas em regiões opostas da parede da câmara, uma base estendida, para colocação de parafusos fixadores, e dois anéis, um de borracha fixado sobre outro de ferro (Figura 1). O volume da câmara é de 4.500mL e possui uma área de permeação de $0,04524\text{m}^2$.

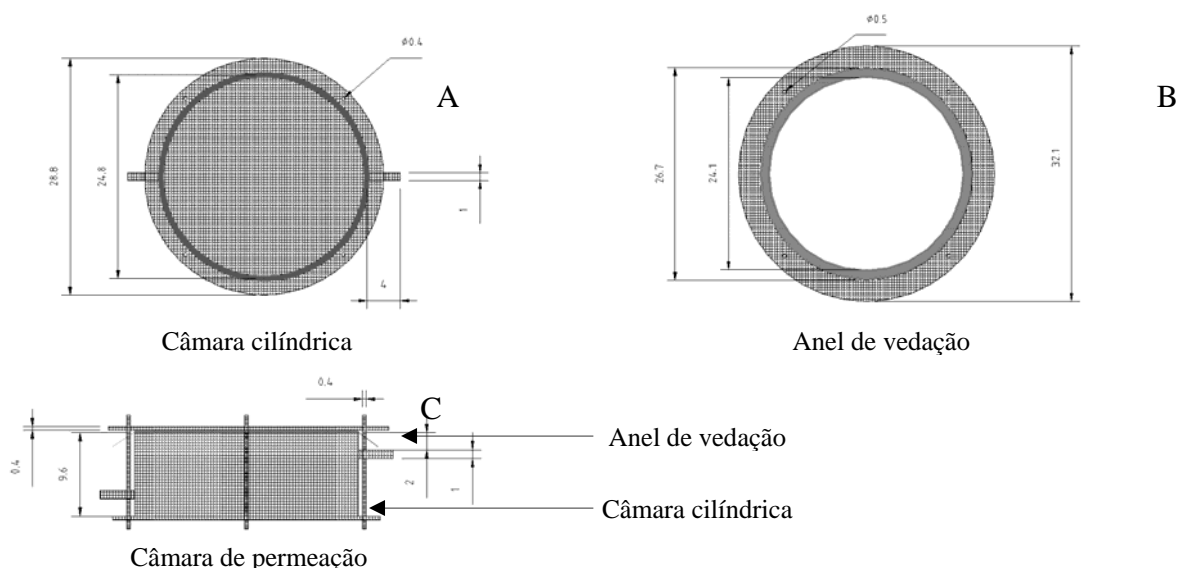


Figura 1. Vista superior das partes que constituem a câmara de permeação (A e B) e lateral da câmara de permeação (C). Santa Maria, 2006.

A operação do aparelho consiste em fixar o filme polimérico à câmara cilíndrica

através da pressão exercida pelos anéis de borracha e ferro, quando se aperta os parafusos o suficiente para evitar vazamentos entre o filme polimérico e a parede da câmara cilíndrica. Na câmara, após colocação do filme polimérico e fixação do anel metálico, foi realizada a injeção de gás (N_2 e CO_2) isento de umidade, através de uma das aberturas, estando a outra abertura aberta. Estas aberturas também foram utilizadas para conectar a câmara de permeação aos analisadores de gases para determinar a concentração de O_2 e CO_2 no seu interior. Antes de proceder a instalação da atmosfera, no interior da câmara de permeação, sempre foi realizado um teste de vedação entre as paredes do cilindro da câmara de permeação e o filme a ser analisado.

Como o objetivo foi de desenvolver uma metodologia para avaliar a permeabilidade de filmes poliméricos que produzisse resultados para serem utilizados na escolha do filme adequado para o armazenamento, de determinada fruta, em atmosfera modificada, procedeu-se a determinação da permeabilidade de filmes poliméricos em diferentes condições de temperatura, gradiente de concentração de gases e umidade relativa, conforme os tratamentos descritos abaixo nos experimentos 1, 2 e 3.

No experimento 1, os tratamentos originaram-se de um arranjo bifatorial entre os fatores umidade relativa (80% de umidade relativa (UR) fora do equipamento e <10% de UR no interior do equipamento; 80% de UR fora do equipamento e >95% de UR no interior do equipamento) e tipo de filme polimérico (polietileno de baixa densidade, celofane permeável ao vapor d'água e náilon). No experimento 2, avaliou-se o efeito da temperatura (0, 5, 10, 15 e 20°C) sobre a permeabilidade de filmes de polietileno de baixa densidade e náilon, ambos com espessura de 30 μ m. Para os experimentos 1 e 2, a atmosfera inicial no interior do equipamento foi de 1% O_2 + 10% CO_2 . No experimento 3, avaliou-se o efeito do gradiente de concentração de gases sobre a taxa de permeabilidade dos filmes de polietileno de alta densidade com espessura de 40 μ m e náilon com espessura de 30 μ m, sendo utilizado um gradiente de 5, 10 e 15% para o CO_2 e de 10, 15 e 20% para o O_2 . Os experimentos 2 e 3 foram conduzidos com UR exterior de 80% e interior de >95%, na temperatura de 20°C.

Também procedeu-se a avaliação de filmes poliméricos considerados, pela literatura (SARANTÓPOULOS et al., 2002), como filmes que apresentam diferenças quanto à permeabilidade ao O_2 e CO_2 , para verificar a eficiência do método em diferenciar estes filmes. Assim, no experimento 4, os tratamentos avaliados foram diferentes filmes (celofane permeável e impermeável ao vapor d'água, polietileno de baixa e alta densidade, polipropileno biorientado, policloreto de vinila e náilon) com espessura de 20 μ m. Os filmes

celofanes, permeável e impermeável ao vapor d'água, são filmes obtidos a partir da celulose, sendo que a diferença entre eles consiste na presença de uma fina camada impermeabilizante nas duas faces do filme celofane impermeável. Neste experimento, foi utilizado uma temperatura de 10°C e uma atmosfera interna de 1% O₂ + 10% CO₂ (gradiente de concentração de 20% e 10%, para O₂ e CO₂, respectivamente) e umidade relativa interna <10% de UR, sendo a umidade relativa externa de 80%. Com relação a variabilidade das análises entre repetições de uma mesma amostra, foram realizadas 10 repetições da análise de um filme de polietileno de baixa densidade, com espessura de 20µm, e verificada a variabilidade dos resultados obtidos.

Para verificar se os dados obtidos pelo método descrito neste trabalho poderiam ser utilizados como critério para a escolha de um filme para o armazenamento em atmosfera modificada, três amostras de 20kg de maçã 'Gala' foram envoltas em um filme de polietileno de baixa densidade com espessura de 25µm e monitorou-se a modificação da atmosfera dentro das embalagens (experimento 5). O monitoramento da modificação da atmosfera no interior da embalagem foi realizado através de analisadores de gases de fluxo contínuo, marca Agri-Datalog, sendo que as análises foram realizadas aos 4, 6 e 8 dias após o fechamento das embalagens. Além disso, estimou-se a concentração de CO₂, dentro da embalagem, aos 4, 6 e 8 dias após o fechamento da mesma, considerando-se a permeabilidade do filme ao CO₂ (PCO₂: 272,74mL CO₂ m⁻² dia⁻¹, valor obtido pela metodologia descrita no presente trabalho), a taxa respiratória de 20kg de maçã 'Gala' armazenada a 0°C (CO₂ produzido: 244,8mL de CO₂ dia⁻¹), a superfície total de permeação da embalagem (S_p: 0,680m²) e o volume livre no interior da mesma (V_L: 18.400mL). Para o cálculo da concentração de CO₂ estimada, foi utilizada a seguinte fórmula,

$$\text{CO}_2 \text{ estimado} = \{[(\text{CO}_2 \text{ produzido} * t) - (\text{PCO}_2 * t * S_p)] * 100\} / V_L$$
, onde t foi o tempo em dias após o fechamento da embalagem.

Para cada tratamento, foram realizadas três determinações de permeabilidade, sendo que cada uma foi realizada com distintos fragmentos de um mesmo tipo de filme. Os experimentos foram conduzidos segundo o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo que cada determinação, de um mesmo tratamento, foi considerada uma repetição. Para determinar a permeabilidade aos gases, em cada determinação, foram realizadas duas análises das concentrações dos gases no interior da câmara de permeação, sendo uma no início do processo, para definir a concentração inicial, e a outra para determinar a concentração final. O tempo entre as determinações foi de 48 horas. Essas análises foram realizadas com analisadores de gases de fluxo contínuo, marca Agri-Datalog, os quais

apresentavam uma precisão de 0,05%. No entanto, antes de proceder a análise dos gases, os analisadores sempre foram aferidos com gases padrões de concentração semelhante àquela a ser determinada na câmara de permeação. Como os analisadores apresentavam uma oscilação na leitura, em função de modificações do fluxo de leitura e da tensão da corrente elétrica, a aferição do equipamento com gases padrões foi realizada no mesmo fluxo de gás da leitura da câmara de permeação. A tensão da corrente elétrica foi monitorada através de um voltímetro, marca Minipa, modelo ET-1000, sendo que a aferição do equipamento e a leitura da câmara de permeação foram realizadas somente quando a tensão da corrente elétrica encontrava-se dentro da faixa de 218-223V.

A permeabilidade dos filmes foi calculada em função da concentração inicial (C_i) e final (C_f) do gás no interior da câmara de permeação, do volume desta câmara (V_c), da área do cilindro (área efetiva de permeação - A_p) e do tempo entre a leitura inicial e final (tempo de permeação - t), de acordo com a fórmula $P = ((C_i \times V_c / 100) - (C_f \times V_c / 100)) / (A_p \times t)$, sendo P a permeabilidade do filme polimérico dado em mL de gás $m^{-2} \text{ dia}^{-1}$; C_i e C_f a concentração inicial e final do gás, respectivamente, ambos dados em %; V_c o volume interno da câmara de permeação dado em mL; A_p a área de permeação dada em m^2 ; e t o tempo dado em dias.

A análise de variância seguiu o modelo do delineamento inteiramente casualizado. Nos experimentos 1, 4 e 5, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro. Nos experimentos 2 e 3, as médias foram submetidas a análise de regressão linear simples.

6.1.5. Resultados e discussão

O uso da câmara de permeação permitiu obter dados de permeabilidade de filmes poliméricos com uma variabilidade, entre as repetições de uma mesma amostra, de 8,1% para a permeabilidade ao CO_2 e de 13,2% para a permeabilidade ao O_2 . Para se ter agilidade na obtenção dos dados, existe a necessidade de utilizar vários equipamentos, pois o tempo necessário para realizar a análise de uma amostra de um filme varia de dois dias (polietileno a 20°C) até sete dias (náilon a 0°C). Para as determinações da permeabilidade dos filmes poliméricos, observou-se a necessidade de sempre realizar a aferição do analisador de gases através de um gás padrão, no mesmo fluxo de gás que será utilizado para a leitura dos gases no interior da câmara de permeação, pois a análise de uma mesma concentração de gás em fluxos diferentes produz valores distintos (dados não apresentados). Além disso, observou-se

que a voltagem da rede elétrica deve ser monitorada, pois a mesma afeta a precisão de leitura do analisador de gases (dados não apresentados).

A taxa de permeabilidade do polietileno de baixa densidade não foi estatisticamente influenciada pela umidade relativa do ar (Tabela 1), embora TADLAOUI et al. (1993) afirmam que a permeabilidade pode ser influenciada pela umidade relativa. No entanto, o resultado obtido neste trabalho está de acordo com DEL NOBILE et al. (2002), que afirmam que filmes como o polietileno não apresentam efeito da umidade sobre permeabilidade aos gases, pois eles não apresentam característica hidrofílica. O filme de celofane permeável ao vapor d'água e de náilon apresentaram aumento na taxa de permeabilidade ao CO₂ e redução da taxa de permeabilidade ao O₂ com o aumento na umidade relativa no interior da câmara de permeação (Tabela 1). De acordo com DEL NOBILE et al. (2002), este efeito é devido à absorção de mais água pelo celofane que aumenta a sua permeabilidade ao CO₂. Segundo FELISBERTI (1985), a água atua na matriz polimérica de filmes hidrofílicos como um plastificante, afetando consideravelmente a permeabilidade por aumentar o processo de difusão. Segundo o autor, isto ocorre devido a maior flexibilização das cadeias poliméricas, pois ocorre uma diminuição da densidade de energia coesiva entre as cadeias, e ao fato do líquido aumentar o volume livre por onde as moléculas difundem. De acordo com SARANTÓPOULOS et al. (2002), filmes de náilon amorfos úmidos apresentam menor permeabilidade ao O₂ do que estes filmes sem umidade. Estes autores citam que isto ocorre devido ao fato da água ocupar o volume livre na cadeia polimérica.

Tabela 1. Efeito da umidade relativa sobre a permeabilidade de filmes poliméricos com 20µm de espessura ao O₂ e CO₂ sob um gradiente de concentração de 20% e 10% para O₂ e CO₂, respectivamente, na temperatura de 10°C. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

Filme polimérico	Permeabilidade ao O ₂ (mL O ₂ m ⁻² dia ⁻¹)		Permeabilidade ao CO ₂ (mL CO ₂ m ⁻² dia ⁻¹)	
	UR interna/UR externa		UR interna/UR externa	
	>95%/80%	10%/80%	>95%/80%	10%/80%
Polietileno de alta densidade	468,3Aa*	484,5Aa	852,7Aa	852,9Aa
Náilon	19,7Bc	47,5Ac	67,4Ac	39,6Bc
Celofane permeável	100,2Bb	395,8Ab	760,8Ab	530,4Bb
Coeficiente de variação (%)	17,60		8,16	

* Médias não seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Com relação ao efeito da temperatura, a taxa de permeabilidade dos filmes poliméricos aumenta com o incremento da mesma, no intervalo estudado de 0° a 20°C (Figuras 2A e 2B).

Tanto o polietileno de alta densidade como o filme de náilon apresentaram pouco efeito da temperatura de 0 a 5°C na taxa de permeabilidade aos gases O₂ e CO₂, no entanto, a partir de 10°C, o efeito foi muito pronunciado (Figuras 2A e 2B). De acordo com TADLAOUI et al. (1993), a permeabilidade de filmes poliméricos pode ser alterada com a modificação da temperatura, concordando com os resultados obtidos neste trabalho. FELISBERTI (1985) cita que, com o aumento da temperatura, ocorre um maior movimento das cadeias poliméricas e, portanto, um aumento na possibilidade de formação de passagens, com conseqüente aumento na velocidade de difusão.

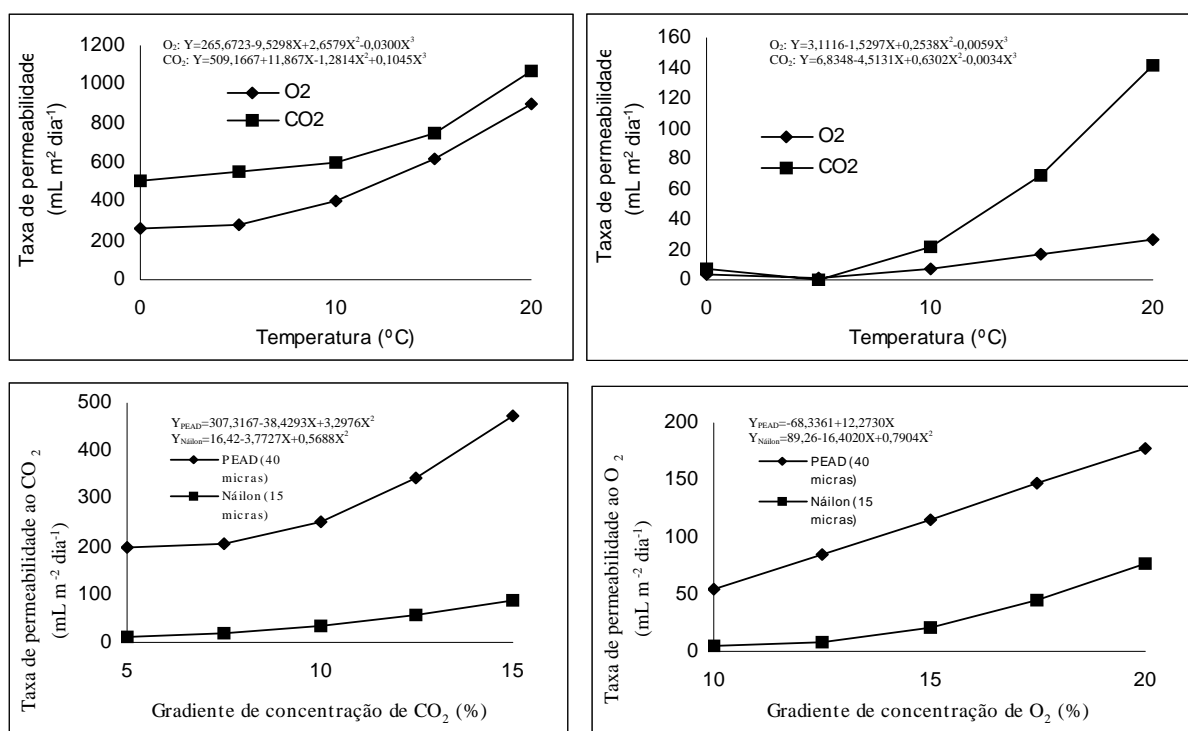


Figura 2. Taxa de permeabilidade de filmes poliméricos em função da temperatura (A: polietileno de baixa densidade com espessura de 30µm; B: Náilon com espessura de 30µm) e em função do gradiente de concentração entre o interior e o exterior da câmara de permeação (C: CO₂; D: O₂, polietileno de alta densidade, PEAD, com espessura de 40µm e de náilon com espessura de 15µm). Santa Maria, 2005. (Experimento 2 e 3)

A taxa de permeabilidade dos filmes de polietileno de baixa densidade e de náilon ao O₂ e CO₂ foi influenciada pelos gradientes de concentração (Figuras 2C e 2D). O processo de permeabilidade é definido por dois eventos distintos, a solubilidade dos gases no polímero e a difusão dos mesmos através da matriz polimérica (RHARBI et al., 1999; PAPIERNIK et al., 2001; LEWIS et al., 2003). Segundo SARANTÓPOULOS et al. (2002), a permeabilidade de filmes poliméricos ocorre em três etapas: na primeira, ocorre a sorção e a solubilização do

gás; na segunda, a difusão do gás através do material, devido a um gradiente de concentração, entre o interior da embalagem e o exterior; e na terceira, a dessorção e a difusão do gás na face oposta do filme polimérico onde ocorreu a sorção e a solubilização. A velocidade de permeação de O_2 e CO_2 , através de filmes poliméricos, é fortemente influenciada pela difusão dos gases (LEWIS et al., 2003). Assim, o resultado obtido no presente trabalho está de acordo com as afirmações acima, pois o processo de difusão é dependente do gradiente de concentração, sendo que, quanto maior for o gradiente de concentração, maior será a difusão dos gases e, conseqüentemente, maior será a taxa de permeabilidade do filme polimérico.

De acordo com os resultados, a permeabilidade de filmes poliméricos, aos gases O_2 e CO_2 , pode variar conforme as condições de armazenamento. Como a modificação da atmosfera dentro da embalagem será definida pela taxa respiratória dos frutos e pela permeabilidade do filme polimérico, para manter uma concentração de O_2 e CO_2 adequada para determinado produto, deve-se conhecer, além da taxa respiratória do produto, a permeabilidade do filme polimérico, em condições que se aproximam daquelas do armazenamento. Isto evidencia que os valores de permeabilidade dos filmes poliméricos, fornecidos pelos fabricantes, não podem ser usados na escolha de um filme para o uso em atmosfera modificada, pois eles são obtidos em condições padrões que diferem daquelas do armazenamento (TADLAOUI et al., 1993).

A análise da taxa de permeabilidade aos gases dos filmes poliméricos, com a presente metodologia, permitiu diferenciar os filmes quanto à permeabilidade ao O_2 e CO_2 (Tabela 2). No entanto, os valores obtidos são diferentes daqueles citados por LUENGO & CALBO (2001). De acordo com FELISBERTI (1985), é comum encontrar resultados divergentes na literatura quanto à permeabilidade de um mesmo tipo de filme polimérico. Estas divergências, segundo a autora, podem ser devido às condições em que as análises foram realizadas, ao processo de obtenção do filme polimérico e à falta de purificação e desumidificação dos gases utilizados. FELISBERTI (1985) também afirma que só existe sentido comparar valores de permeabilidade quando estes filmes são obtidos por uma mesma metodologia.

Observou-se que o polietileno de baixa densidade apresentou maior taxa de permeabilidade ao O_2 e CO_2 do que os outros filmes (Tabela 2). ULLSTEN & HEDENQUIST (2003), comparando polietileno de baixa e alta densidade, também obtiveram maior taxa de permeabilidade ao O_2 em polietileno de baixa densidade, porém a taxa de permeabilidade ao CO_2 não apresentou diferença. Já NERES et al. (2004) citam que o polietileno de baixa densidade é mais permeável aos gases do que os outros filmes. O filme polimérico que apresentou menor taxa de permeabilidade aos gases foi o filme de náilon

(Tabela 2). Este resultado está de acordo com JACOMINO et al. (2001) que também verificaram menor taxa de permeabilidade ao O₂ e CO₂ do filme de náilon em relação aos filmes de polietileno de baixa e alta densidade, evidenciando alta propriedade de barreira a gases deste filme.

Tabela 2. Permeabilidade de filmes poliméricos com espessura de 20µm ao O₂ e CO₂ sob um gradiente de concentração de 20% e 10% para O₂ e CO₂, respectivamente, na temperatura de 10°C e UR externa de 80% e interna <10%. Santa Maria, 2005. (Experimento 4)

Filme polimérico	Permeabilidade ao O ₂ (mL O ₂ m ⁻² dia ⁻¹)	Permeabilidade ao CO ₂ (mL CO ₂ m ⁻² dia ⁻¹)
Celofane permeável	395,8b*	530,4c
Celofane impermeável	95,0cd	229,6d
Policloreto de vinila	411,7b	767,9b
Náilon	47,5d	39,6e
Polipropileno Biorientado	180,9c	294,9d
Polietileno baixa densidade	484,5a	852,9a
Polietileno alta densidade	359,8b	525,6c
Coefficiente de variação (%)	17,60	10,46

* Médias não seguidas pela mesma letra, na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se também, com exceção do filme de náilon, que a taxa de permeabilidade ao CO₂ foi maior do que ao O₂ (Tabela 2). No entanto, com uma alta umidade relativa no interior da câmara de permeação (>95%), a taxa de permeabilidade do filme de náilon ao CO₂ foi maior do que ao O₂, como ocorreu nos demais filmes (Tabela 1). De acordo com FELISBERTI (1985), o tamanho e a forma da molécula permeante determina o tamanho da passagem que deve haver no polímero, sendo que a difusão diminui com o aumento do volume e estrutura da molécula permeante. Sendo assim, poderia se esperar que a taxa de permeabilidade ao O₂ fosse maior do que ao CO₂. Este resultado demonstra que a permeabilidade não é definida somente pelo processo de difusão. Uma possível explicação para este fato é que a permeação de uma substância através de um polímero inicia com o processo de solubilização na matriz polimérica para depois difundir-se através dela (SARANTÓPOULOS et al., 2002) e o CO₂, ao contrário do O₂, apresenta uma alta solubilização (LEWIS et al., 2003).

No teste de simulação da concentração do CO₂ numa embalagem com frutos, a concentração de CO₂ estimada dentro da embalagem, utilizando os valores obtido da permeabilidade do filme, da respiração e das dimensões da embalagem, não diferiu estatisticamente da real concentração de CO₂ dentro da embalagem no armazenamento em

atmosfera modificada de maçãs ‘Gala’ (Tabela 3). Este resultado evidencia que a metodologia descrita neste trabalho produz valores de permeabilidade de filmes poliméricos a gases que podem ser utilizados para estimar a modificação da atmosfera e, conseqüentemente, na escolha de um filme adequado ao armazenamento em atmosfera modificada para cada espécie de frutas a ser armazenada numa dada temperatura.

Tabela 3. Concentração de CO₂ dentro da embalagem de polietileno de baixa densidade com espessura de 25µm, no armazenamento em atmosfera modificada de maçãs ‘Gala’ a 0°C. Santa Maria, 2005. (Experimento 5)

Condição	Concentração de CO ₂ no interior da embalagem		
	Dias após o fechamento da embalagem		
	4	6	8
Observada	1,37a*	1,93a	2,53a
Estimada com valor da permeabilidade do filme ao CO ₂ determinado pela metodologia descrita no trabalho**	1,29a	1,94a	2,58a
Coeficiente de variação (%)	6,45	2,93	2,60

* Médias não seguidas pela mesma letra, na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

** Permeabilidade ao CO₂ = 240,74mL CO₂ m⁻² dia⁻¹

6.1.6. Conclusão

A câmara de permeação projetada e construída permite avaliar, com muita precisão, filmes poliméricos quanto à permeabilidade aos gases e a obtenção dos valores de permeabilidade podem ser utilizados como ferramenta na escolha de um filme mais apropriado ao armazenamento de frutas em atmosfera modificada. Conclui-se, ainda, que a permeabilidade dos filmes poliméricos é influenciada pela temperatura, umidade relativa e gradiente de concentração de O₂ e CO₂ e que sua determinação deve ser realizada em condições semelhantes as de armazenamento. A permeabilidade dos filmes varia em função do tipo de polímero, sendo o polietileno o mais permeável, seguido pelo policloreto de vinila (PVC).

7. CAPÍTULO 5

7.1. Permeabilidade de filmes polietileno e sua utilização no armazenamento de frutas (Permeability of polyethylene films and its use in fruit storage) Cristiano André Steffens; Auri Brackmann (Artigo enviado para publicação na Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, MG)

7.1.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a permeabilidade de diferentes filmes de polietileno aos gases O_2 e CO_2 e o efeito do tamanho da embalagem (relação área superficial da embalagem/massa de frutos) sobre a modificação da atmosfera. Também objetivou-se estimar a pressão parcial de CO_2 , após 30 dias de armazenamento a $0^\circ C$, de caqui 'Fuyu', pêssgo 'Jubileu' e quivi 'Bruno' com a finalidade de verificar a possibilidade do uso dos filmes de polietileno no armazenamento destes frutos em atmosfera modificada. No experimento 1, os tratamentos avaliados foram a combinação entre filmes de polietileno (polietileno de baixa densidade com aditivo, polietileno de alta densidade com aditivo, polietileno de baixa densidade sem aditivo, polietileno de alta densidade com aditivo (75%) + polietileno linear de baixa densidade (25%)) e espessura dos filmes (30, 40 e $50\mu m$). Também avaliou-se a permeabilidade em função do gradiente de concentração de O_2 (10, 15 e 20%) e CO_2 (5, 10 e 15%). No experimento 2, avaliou-se o efeito do tamanho da embalagem (relação área superficial da embalagem/massa de frutos) sobre a modificação da atmosfera. No experimento 3, avaliou-se a respiração de caqui 'Fuyu', do pêssgo 'Jubileu' e do quivi 'Bruno' que, juntamente com a permeabilidade dos filmes, foi utilizada para estimar a pressão parcial de CO_2 , após 30 dias de armazenamento. De acordo com os resultados, os filmes de polietileno apresentam diferenças quanto à permeabilidade ao O_2 e CO_2 em função da espessura, densidade, presença de aditivos e gradiente de concentração entre os dois lados do filme, o que pode refletir na intensidade da modificação da atmosfera durante o armazenamento. A relação área superficial da embalagem/massa de frutos apresenta forte influência sobre a intensidade da modificação da atmosfera. Segundo a simulação matemática, o armazenamento do caqui "Fuyu", em atmosfera modificada, poderiam ser utilizados os filmes de polietileno de alta densidade (75%) + polietileno linear de baixa densidade (25%) e

polietileno de baixa densidade sem aditivo, porém para o pêssego ‘Jubileu’ e o quiwi ‘Bruno’ nenhum filme seria adequado para o armazenamento destas frutas.

Palavras-chave: pós-colheita, qualidade, atmosfera modificada.

7.1.2. Abstract

The objective this work was to evaluate the permeability of different polyethylene films to O₂ and CO₂ and the effect of size of bags (surface area/mass of fruits ratio) on the modification of the atmosphere. A further objective was to estimate the partial pressure of CO₂ in the bags, after 30 days of storage at 0°C, of ‘Fuyu’ persimmon, ‘Jubileu’ peaches and ‘Bruno’ kiwi, in order to verify the possibility of using of polyethylene films for storage these fruits in modified atmosphere. In experiment 1, treatments were the combination between polyethylene films (low-density polyethylene with additive, high-density polyethylene with additive, low-density polyethylene without additive, high-density polyethylene with additive (75%) + linear low-density polyethylene (25%)) and films thickness (30, 40 and 50µm). Also the permeability of films in relation to concentration gradients of O₂ (10, 15 and 20%) and CO₂ (5, 10 and 15%) was evaluated. In experiment 2, the effect of size bags (surface area of wrapping/mass of fruits ratio) on the modification of atmosphere was evaluated. In experiment 3, it was evaluated the respiration of ‘Fuyu’ persimmon, ‘Jubileu’ peaches and ‘Bruno’ kiwifruit together with permeability of films, which was utilized to estimate the partial pressure of CO₂ in the bags, after 30 days of storage. According to results, polyethylene films showed differences in relation to O₂ and CO₂ permeability as a function of thickness, density, presence of additives and concentration gradient which reflects the intensity of atmosphere modification. Simulation results showed that, for storage of ‘Fuyu’ persimmon in modified atmosphere, a low-density polyethylene (75%) + linear low-density polyethylene (25%) and low-density polyethylene without additive films, are best but for the ‘Jubileu’ peaches and ‘Bruno’ kiwi none of the films were suitable for storage of these fruits.

Key words: postharvest, quality, modified atmosphere.

7.1.3. Introdução

O armazenamento em atmosfera modificada consiste no envolvimento de frutos com uma embalagem polimérica, a qual é posteriormente fechada para ocorrer a modificação das pressões parciais dos gases em seu interior (THOMPSON, 2002).

A atmosfera modificada pode reduzir a respiração, retardar o amadurecimento, diminuir a produção de etileno, retardar a perda de textura da polpa e, conseqüentemente, aumentar a vida pós-colheita do produto (ZAGORY & KADER, 1988; WANG, 1993; GÜRAKAN & BAYINDIRH, 2005). Segundo KADER (2002), os efeitos da atmosfera modificada se traduzem em redução das perdas qualitativas e quantitativas durante o armazenamento e/ou transporte.

Vários trabalhos têm demonstrado o efeito da atmosfera modificada sobre a manutenção da qualidade de frutas, como a redução da perda de peso em morangos (BRACKMANN et al., 1999a), laranja (CERETA et al., 1999), nêspera (BRACKMANN et al., 2004), carambola (ALI et al., 2004) e abacaxi (THÉ et al., 2005). A atmosfera modificada também mantém maior firmeza de polpa em caqui 'Fuyu' (BRACKMANN et al., 1999b) e em carambola (ALI et al., 2004), menor incidência de podridões em romã (HESS-PIERCE & KADER, 1997) e em caqui 'Fuyu' (BEN-ARIE & ZUTKHI, 1992), menor escurecimento da epiderme em caqui 'Fuyu' (NEUWALD et al., 2005) e escurecimento interno em abacaxi (THÉ et al., 2005). No entanto, apesar de ser uma tecnologia utilizada comercialmente, a sua adoção restringe-se ao armazenamento e transporte de um número limitado de frutas (KADER & WATKINS, 2000). Para estes autores, a falta de informações sobre a permeabilidade de filmes em temperatura e umidade relativa do ar semelhantes as que ocorrem durante o armazenamento, constitui um dos fatores responsáveis pelo uso limitado desta técnica.

ULLSTEN & HEDENQVIST (2003) citam que, para escolher um filme que mantenha uma atmosfera ideal dentro da embalagem, é indispensável conhecer a permeabilidade das embalagens aos gases. No entanto, apesar de existirem dados da permeabilidade dos filmes poliméricos, estes, normalmente, são obtidos em condições padrões de temperatura, umidade relativa e gradiente de concentração de gases que normalmente diferem das condições de armazenamento (TADLAOUI et al., 1993). Assim, estes resultados, se utilizados para estimar a modificação da atmosfera no armazenamento, podem fornecer resultados que não refletem a realidade.

O filme polimérico mais utilizado no armazenamento de frutas em atmosfera modificada no Brasil é o polietileno (BRACKMANN & STEFFENS, 2001). A maioria dos trabalhos de pesquisa têm recomendado o uso destes filmes para o armazenamento de diversas frutas. No entanto, apenas faz-se referência à densidade do polietileno e a espessura do filme, mas nenhuma referência à relação área superficial da embalagem/massa de frutos e ao tipo de polietileno utilizado (sem aditivo ou com aditivo). Alguns estudos têm demonstrado que a permeabilidade dos filmes poliméricos pode ser influenciada pela presença de aditivos e plastificantes na matriz do filme polimérico (FELISBERTI, 1985). Além disso, alguns produtores tem utilizado, no armazenamento em atmosfera modificada, um filme de polietileno de mesma densidade e espessura recomendados pela pesquisa, porém os resultados do armazenamento são muito diferentes daqueles obtidos na pesquisa. Talvez isto possa ser explicado pelo fato dos filmes serem obtidos de empresas diferentes ou então com uma diferente combinação de aditivos, influenciando em sua permeabilidade aos gases e, conseqüentemente, na intensidade da modificação da atmosfera.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a permeabilidade de diferentes filmes de polietileno aos gases O_2 e CO_2 e o efeito do tamanho da embalagem (relação área superficial da embalagem/massa de frutos) sobre a modificação da atmosfera. Também objetivou-se estimar a pressão parcial de CO_2 , após 30 dias de armazenamento a $0^\circ C$, de caqui 'Fuyu', pêssgo 'Jubileu' e quiwi 'Bruno' em atmosfera modificada ativa, com base nos dados de permeabilidade dos filmes e da taxa respiratória, com a finalidade de verificar a possibilidade do uso dos filmes de polietileno no armazenamento destes frutos em atmosfera modificada.

7.1.4. Material e métodos

Para execução deste trabalho, foram conduzidos três experimentos durante o ano de 2004. O experimento 1, um bifatorial 4×3 , constituiu-se da combinação entre os fatores tipos filmes de polietileno e espessura do filme. Avaliou-se a permeabilidade dos filmes polietileno de baixa densidade sem aditivo, polietileno de baixa densidade com aditivo, polietileno de alta densidade com aditivo e polietileno de alta densidade com aditivo (75% da constituição) + polietileno linear de baixa densidade (25% da constituição), combinado com três espessuras de filme (30, 40 e $50\mu m$). Estes filmes foram especialmente produzidos pela empresa Petroquímica Triunfo S.A., do Pólo Petroquímico do município de Triunfo, para este

experimento. Também procedeu-se a análise da permeabilidade dos filmes em diferentes gradientes de concentração de O₂ (10, 15 e 20%) e CO₂ (5, 10 e 15%). A análise da permeabilidade aos gases foi realizada através de uma câmara de permeação, constituída de uma câmara cilíndrica com duas aberturas dispostas em regiões opostas da parede da câmara, uma base estendida, para colocação de parafusos fixadores, e dois anéis, um de borracha fixado sobre outro de ferro, sendo o volume da câmara de 4.500mL, com uma área de permeação de 0,04524m².

A operação do equipamento consistiu em fixar o filme polimérico à câmara cilíndrica através da pressão exercida pelos anéis de borracha e ferro, a qual foi gerada apertando-se os parafusos o suficiente para evitar vazamentos entre o filme polimérico e a parede da câmara cilíndrica. Na câmara, após colocação do filme polimérico e fixação do anel metálico, foi realizada a injeção de gás (N₂ e CO₂) isento de umidade, através de uma das aberturas, estando a outra abertura aberta. Estas aberturas também foram utilizadas para conectar a câmara de permeação aos analisadores de gases para determinar a concentração de O₂ e CO₂ no seu interior. Antes de proceder a instalação da atmosfera, no interior da câmara de permeação, sempre foi realizado um teste de vedação entre as paredes do cilindro da câmara de permeação e o filme a ser analisado. Foram realizadas duas análises das concentrações dos gases no interior da câmara de permeação, sendo uma no início do processo, para definir a concentração inicial, e a outra para determinar a concentração final. O tempo entre as determinações foi de 168 horas. Essas análises foram realizadas com analisadores de gases de fluxo contínuo, marca Agridatalog, os quais apresentavam uma precisão de 0,05%. A permeabilidade dos filmes foi calculada em função da concentração inicial (C_i) e final (C_f) do gás no interior da câmara de permeação, do volume desta câmara (V_c), da área do cilindro (área efetiva de permeação - A_p) e do tempo entre a leitura inicial e final (tempo de permeação - t), de acordo com a fórmula $P = ((C_i \times V_c / 100) - (C_f \times V_c / 100)) / (A_p \times t)$, sendo P a permeabilidade do filme polimérico dado em mL de gás m⁻² dia⁻¹; C_i e C_f a concentração inicial e final do gás, respectivamente, ambos dados em %; V_c o volume interno da câmara de permeação dado em mL; A_p a área de permeação dada em m²; e t o tempo dado em dias.

No experimento 2, avaliou-se o efeito do tamanho da embalagem (relação área superficial da embalagem/massa de frutos armazenada) sobre a modificação da atmosfera no armazenamento de maçã 'Gala' a 0°C. Os tratamentos avaliados foram embalagens de 5, 10 e 20kg. O filme polimérico utilizado foi o polietileno de baixa densidade com espessura de 25µm. Monitorou-se a modificação da atmosfera dentro das embalagens através de analisadores de gases de fluxo contínuo, marca Agri-Datalog, sendo que as análises foram

realizadas a cada dois dias, a partir do quarto dia de armazenamento até o décimo segundo dia após o fechamento das embalagens.

No experimento 3, avaliou-se a taxa respiratória do caqui 'Fuyu', na condição de 10kPa de O₂ + 10kPa de CO₂, e do pêssigo 'Jubileu' e do quivi 'Bruno', na condição de 5kPa de O₂ + 5kPa de CO₂, todos na temperatura de 0°C para que, juntamente com os dados da permeabilidade ao CO₂, fosse possível estimar a pressão parcial de O₂ após 30 dias de armazenamento em uma atmosfera modificada ativa com 10kPa de O₂ + 10kPa de CO₂, para o caqui, e 5kPa de O₂ + 5kPa de CO₂, para o pêssigo e o quivi. Para determinar a taxa respiratória, os frutos foram acondicionados em minicâmaras experimentais com capacidade de 60L. As pressões parciais dos gases foram obtidas mediante a diluição do O₂ no ambiente de armazenamento com injeção de N₂, proveniente de um gerador de nitrogênio, que utiliza o princípio "Pressure Swing Adsorption" – (PSA), e posterior injeção de CO₂, provenientes de cilindros de alta pressão, até atingir o nível preestabelecido no tratamento. A manutenção das pressões parciais desejadas dos gases, que variavam em função da respiração dos frutos, foi realizada diariamente. As avaliações das pressões parciais dos gases foram feitas através de analisadores eletrônicos de CO₂ e O₂, marca Agri-datalog, e com posterior correção, até atingir os níveis preestabelecidos. O O₂, consumido pela respiração, foi repostado por meio da injeção de ar atmosférico nas minicâmaras e o CO₂ em excesso foi absorvido por uma solução de hidróxido de potássio (40% p/v), através da qual foi circulado o ar do ambiente de armazenamento. Quando foi realizada a determinação da respiração dos frutos nesta condição, a correção da atmosfera foi realizada somente 48 horas após o início do período de determinação da respiração. No experimento 3, a unidade experimental utilizada foi composta por uma massa de 10000g de frutos para pêssigo e quivi e 15000g de frutos para caqui. O gás do espaço livre da minicâmara, utilizado para o acondicionamento das amostras, foi circulado através de analisadores eletrônicos de O₂ e CO₂, marca Agri-datalog. Através da concentração de CO₂, do volume do espaço livre, da massa de frutos e do tempo de fechamento, foi calculada a respiração, sendo os valores expressos em mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Além disso, estimou-se a concentração de CO₂, dentro da embalagem, após 30 dias de armazenamento de caqui 'Fuyu', pêssigo 'Jubileu' e quivi 'Bruno' em atmosfera modificada ativa, considerando-se os valores da permeabilidade dos filmes avaliados neste trabalho ao CO₂ (PCO₂), a taxa respiratória da massa de frutos armazenada a 0°C (CO₂ produzido), a superfície total de permeação da embalagem (S_p=0,68m²) e o volume livre no interior da mesma (V_L=18.400mL). Para o cálculo da concentração de CO₂ estimada, foi utilizada a seguinte fórmula,

$CO_2 \text{ estimado} = CO_2 \text{ inicial na embalagem} + \{ \{ [(CO_2 \text{ produzido} * t) - (PCO_2 * t * S_p)] * 100 \} / V_L \}$, onde t foi o tempo em dias após o fechamento da embalagem. O CO_2 inicial da embalagem foi de 10kPa, para o caqui ‘Fuyu’, e 5kPa, para o pêssigo ‘Jubileu’ e o quivi ‘Bruno’, considerando um armazenamento hipotético destes frutos em uma atmosfera modificada ativa com estas concentrações iniciais de CO_2 .

Nos experimentos 1 e 2, a análise de variância seguiu o modelo do delineamento inteiramente casualizado e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro. Com relação ao efeito do gradiente de concentração de gases sobre a permeabilidade dos filmes de polietileno, procedeu-se a análise de regressão linear simples.

7.1.5. Resultados e discussão

No experimento 1, a permeabilidade ao O_2 e CO_2 , dos filmes de polietileno, foi influenciada pela densidade do polietileno, pela espessura, pela presença de aditivos na constituição do filme e pelo gradiente de concentração de O_2 e CO_2 (Tabela 1 e Figura 1). De acordo com FELISBERTI (1985), a composição e a estrutura do polímero afetam a permeabilidade dos filmes.

Observou-se que o filme constituído por 75% de polietileno de alta densidade e por 25% de polietileno linear de baixa densidade e o filme de polietileno de baixa densidade sem aditivo apresentaram menor permeabilidade aos gases O_2 e CO_2 do que os filmes polietileno de alta densidade com aditivo e polietileno de baixa densidade com aditivo, nas espessuras de filme avaliadas (Tabela 1). Este resultado demonstra que nem todos os filmes de polietileno de baixa densidade são iguais quanto à permeabilidade aos gases, o que explica a divergência entre os resultados obtidos nos trabalhos de pesquisa e aqueles obtidos no armazenamento comercial de frutas em atmosfera modificada, ambos em temperaturas idênticas e com filmes de polietileno de baixa densidade de mesma espessura.

De acordo com FELISBERTI (1985), a presença de aditivos e plastificantes na matriz do filme polimérico podem influenciar a permeabilidade deste aos gases. Segundo SARANTÓPOULOS et al. (2002), o polietileno é constituído de duas fases: uma cristalina, que são os polímeros de etileno, e uma fase amorfa, constituída pelos aditivos, entre outros compostos. MARAIS et al. (2002) e LEWIS et al. (2003) observaram que filmes com estruturas amorfas apresentam maior permeabilidade ao O_2 e CO_2 do que filmes com

estruturas orientadas (fase cristalina). SARANTÓPOULOS et al. (2002) afirmam que a permeabilidade é influenciada pela interação entre as moléculas de O₂ e CO₂ com a fase cristalina, sendo que filmes com maior proporção de fase cristalina oferecem maior resistência à difusão dos gases através da matriz do filme (LEWIS et al., 2003).

A introdução de 25% de polietileno linear de baixa densidade no filme de polietileno de alta densidade com aditivo possibilitou a obtenção de um filme com permeabilidade ao O₂ e CO₂ semelhante ao filme de polietileno de baixa densidade sem aditivo (Tabela 1). De acordo com FELISBERTI (1985), a ramificação da cadeia diminui a interação entre as cadeias principais e portanto diminui a energia de ativação do processo de difusão, o que concorda com o resultado obtido neste trabalho.

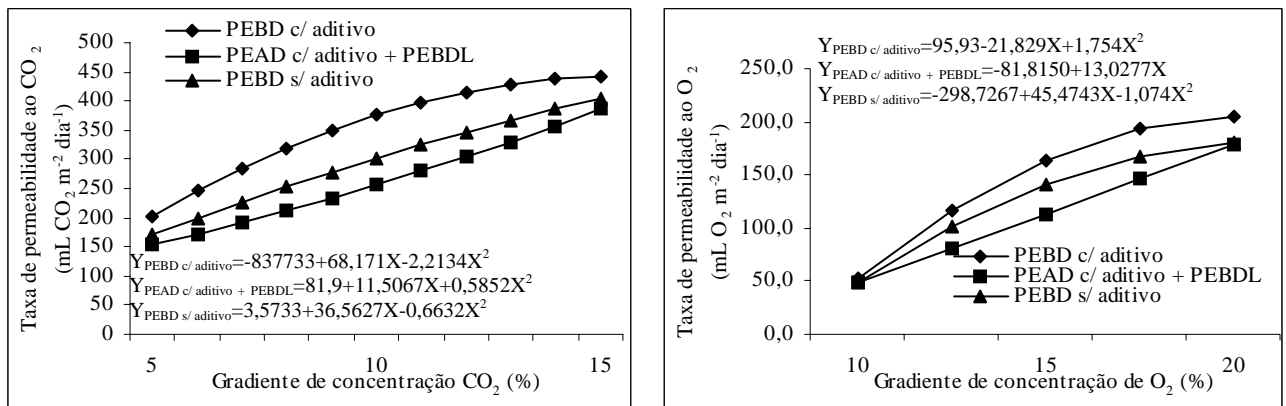


Figura 1. Taxa de permeabilidade de filmes de polietileno em função do gradiente de concentração de gases. Santa Maria, 2005. (Experimento 1). PEBD: polietileno de baixa densidade; PEAD: polietileno de alta densidade; PEBDL: polietileno linear de baixa densidade.

Tabela 1. Taxa de permeabilidade de filmes de polietileno em função da espessura e da constituição da resina na temperatura de 0°C e um gradiente de concentração de 20% para o O₂ e 10% para o CO₂. Santa Maria, 2005. (Experimento 1)

Filme de polietileno	Taxa de permeabilidade ao CO ₂ (mL CO ₂ m ⁻² dia ⁻¹)			Média	Taxa de permeabilidade ao O ₂ (mL O ₂ m ⁻² dia ⁻¹)			Média
	30µm	40µm	50µm		30µm	40µm	50µm	
PEBD** s/ aditivo	385,4	302,9	192,9	293,7b*	230,6Ab	181,3Bc	124,7Cb	178,9
PEAD c/ aditivo	541,6	446,4	307,6	431,9a	235,9Ab	212,4Ab	146,6Bb	198,3
PEBD c/ aditivo	509,5	376,6	334,8	407,0a	420,7Aa	361,0Ba	223,7Ca	335,1
PEAD c/ aditivo + PEBDL	377,2	255,5	194,9	275,8b	247,5Ab	177,8Bc	147,9Cb	191,1
Média	453,4A	345,3B	257,5C		283,7	233,1	160,7	
Coef. Variação (%)	8,69				7,60			

* Médias não seguidas pela mesma letra, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical, diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

** PEBD: polietileno de baixa densidade; PEAD: polietileno de alta densidade; PEBDL: polietileno linear de baixa densidade.

Comparando-se os filmes de densidades diferentes, verificou-se que o polietileno de baixa densidade com aditivo não diferiu do filme polietileno de alta densidade com aditivo, quanto à permeabilidade ao CO₂ (Tabela 1). Este resultado contraria FELISBERTI (1985) e SARANTÓPOULOS et al. (2002), que afirmam que filmes de polietileno de alta densidade são menos permeáveis do que os de baixa densidade. No entanto, com relação a permeabilidade ao O₂, o polietileno de alta densidade com aditivo apresentou permeabilidade menor do que o filme de polietileno de baixa densidade com aditivo (Tabela 1). Este resultado está de acordo com ULLSTEN & HEDENQVIST (2003), que também verificaram que a densidade do polietileno influencia somente a permeabilidade ao O₂ e não ao CO₂.

Observou-se também que quanto maior a espessura do filme de polietileno menor é a permeabilidade aos gases (Tabela 1). Este resultado era o esperado, uma vez que o incremento da espessura do filme aumenta o trajeto a ser percorrido pela molécula do gás. PAPIERNICK et al. (2001) também verificaram menor permeabilidade aos gases aumentando-se a espessura do filme polimérico.

De acordo com a figura 1, observa-se que os filmes de polietileno apresentam variação da permeabilidade em função do gradiente de concentração dos gases. O processo de permeabilidade é definido por dois eventos distintos, a solubilidade dos gases no polímero e a difusão dos mesmos através da matriz polimérica (PAPIERNIK et al., 2001; LEWIS et al., 2003). Segundo SARANTÓPOULOS et al. (2002), a permeabilidade de filmes poliméricos ocorre em três etapas: na primeira, ocorre a sorção e a solubilização do gás; na segunda, a difusão do gás através do material, devido a um gradiente de concentração entre o interior da embalagem e o exterior; e na terceira, a dessorção e a difusão do gás na face oposta do filme polimérico onde ocorreu a sorção e a solubilização. De acordo com LEWIS et al. (2003), a velocidade de permeação de O₂ e CO₂, através de filmes poliméricos, é fortemente influenciada pela difusão dos gases. Assim, o resultado obtido no presente trabalho está de acordo com as afirmações acima, pois o processo de difusão é dependente do gradiente de concentração, sendo que, quanto maior for o gradiente de concentração, maior será a difusão dos gases e, conseqüentemente, maior será a taxa de permeabilidade do filme polimérico. No entanto, a resposta da permeabilidade dos filmes em função do gradiente de concentração dos gases não foi semelhante entre os filmes estudados (Figura 1). Observou-se que os filmes polietileno de baixa densidade sem aditivo e 75% de polietileno de alta densidade com aditivo + 25% de polietileno linear de baixa densidade apresentaram permeabilidades ao O₂ e CO₂ semelhantes nos gradientes mais extremos e diferentes no gradiente intermediário.

No experimento 2, verificou-se que o tamanho da embalagem influenciou a

modificação da atmosfera, sendo que, na menor relação área superficial da embalagem/massa de frutos armazenada, maior foi a concentração de CO₂ e menor a do O₂ (Tabela 2). Este resultado ocorreu devido ao fato de que, nesta situação, existe uma maior quantidade de produto respirando e, conseqüentemente, mais CO₂ produzido e O₂ consumido, porém uma área menor para as trocas gasosas com o ambiente externo. AL-ATI & HOTCHKISS (2003) também obtiveram uma maior intensidade de modificação da atmosfera em embalagens com menor relação área superficial da embalagem/massa de frutos armazenada.

No experimento 3, a taxa respiratória média observada para o caqui Fuyu', o pêssigo 'Jubileu' e o quivi 'Bruno' foram, respectivamente, 0,51, 1,14 e 1,21 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Objetivando simular um armazenamento em atmosfera modificada ativa e estimar a pressão parcial de CO₂ dentro de embalagens com uma área superficial de 0,68m², um volume livre interno de 18.400mL e contendo 20.000g de frutos, utilizou-se os valores da permeabilidade ao CO₂ dos filmes de polietileno avaliados neste trabalho (Figura 1A) e os dados da respiração. A concentração de CO₂ estimada dentro da embalagem, após 30 dias de armazenamento, seria de 13,8, 9,9 e 12,6kPa para os filmes polietileno de alta densidade (75%) + polietileno linear de baixa densidade (25%), polietileno de baixa densidade com aditivo e polietileno de baixa densidade sem aditivo, respectivamente. Conclui-se assim que os filmes de polietileno de alta densidade (75%) + polietileno linear de baixa densidade (25%) e polietileno de baixa densidade sem aditivo seriam os mais adequados para o armazenamento do caqui 'Fuyu', pois as pressões parciais de CO₂ estariam mais próximas a 15kPa, condição considerada por BRACKMANN et al. (1999b) como adequada ao armazenamento de caqui 'Fuyu'. Já para o quivi 'Bruno' e o pêssigo 'Jubileu' nenhum dos filmes de polietileno seria adequado ao armazenamento destas frutas, pois, após 30 dias de armazenamento, a pressão parcial de CO₂ atingiria níveis próximos a 50kPa, condição que estas frutas não tolerariam.

Tabela 2. Modificação da atmosfera (kPa de O₂ e CO₂) no armazenamento a 0°C de maçãs ‘Gala’ envoltas em polietileno de baixa densidade com 25µm de espessura, entre o quarto e o décimo segundo dia de armazenamento. Santa Maria, 2005. (Experimento 2)

Embalagem (kg)	Dias de armazenamento				
	4	6	8	10	12
	O ₂ (kPa)				
5	15,8a*	14,6a	14,4a	14,4a	14,5a
10	15,8a	14,3a	13,3b	12,7b	12,6b
20	15,2b	13,4b	12,0c	10,8c	10,7c
Média	15,6	14,1	13,3	12,7	12,6
CV (%)	1,05	1,91	2,84	4,97	4,93
	CO ₂ (kPa)				
5	0,97b	1,40b	1,43c	1,43c	1,43c
10	1,07b	1,47b	1,73b	1,90b	1,90b
20	1,37a	1,93a	2,53a	2,90a	2,93a
Média	1,13	1,60	1,90	2,08	2,09
CV (%)	7,20	4,66	5,26	4,24	5,29

* Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Duncan em 5% de probabilidade de erro.

7.1.6. Conclusão

Os filmes de polietileno apresentam diferenças quanto à permeabilidade ao O₂ e CO₂ em função da espessura, densidade, presença de aditivos e gradiente de concentração dos gases entre o exterior e o interior da embalagem, podendo refletir na intensidade da modificação da atmosfera durante o armazenamento. A relação área superficial da embalagem/massa de frutos apresenta forte influência sobre a intensidade da modificação da atmosfera. Para o armazenamento do caqui ‘Fuyu’ em atmosfera modificada, podem ser utilizados os filmes de polietileno de alta densidade (75%) + polietileno linear de baixa densidade (25%) e polietileno de baixa densidade sem aditivo, porém para o pêssgo ‘Jubileu’ e o quivi ‘Bruno’ nenhum dos filmes estudados é adequado para o armazenamento destas frutas.

8. CONCLUSÕES GERAIS

A melhor condição de atmosfera testada para o armazenamento do pêsego 'Jubileu' e do quivi 'Bruno', a 0°C, é de 1kPa de O₂ + 5,0kPa de CO₂ e 1kPa de O₂ + 8kPa de CO₂, respectivamente. Porém, para o pêsego, a cultivar Eldorado apresenta melhor potencial de armazenamento do que a cultivar Jubileu, podendo ser armazenada com 1kPa de O₂ e 10kPa de CO₂ sem manifestar escurecimento da polpa.

A sensibilidade dos frutos ao baixo O₂ e alto CO₂, durante o armazenamento, é dependente da cultivar e aumenta com a elevação da temperatura de 0° para 10°C.

A incidência de degenerescência da polpa e a presença de sabor alcoólico em pêsegos 'Jubileu' e quivi 'Bruno' possuem correlação positiva com o quociente respiratório e negativa com a respiração dos frutos.

A taxa respiratória é influenciada pelos fatores cultivar, temperatura de armazenamento e modificação da atmosfera. Dentre os fatores estudados, a temperatura é o principal fator que influencia a taxa respiratória. Existe relação entre menor potencial de armazenamento e maior taxa respiratória, quando se considera um grupo de cultivares de mesma espécie, mas não quando se compara diferentes espécies de frutas.

A permeabilidade dos filmes poliméricos é influenciada pela temperatura, umidade relativa, gradiente de concentração de O₂ e CO₂, espessura do filme e, em polietilenos, pela presença de aditivos na sua constituição.

A câmara de permeação projetada e construída permite avaliar, com muita precisão, filmes poliméricos quanto à permeabilidade aos gases. A determinação da permeabilidade deve ser realizada em condições semelhantes as de armazenamento e a metodologia descrita neste trabalho permite a distinção de filmes poliméricos quanto à permeabilidade aos gases.

Os valores de permeabilidade de filmes poliméricos aos gases, obtidos em condições semelhantes aquelas que ocorrem durante o armazenamento, juntamente com os dados da respiração dos frutos, podem ser utilizados para simular as alterações das pressões parciais de O₂ e CO₂ no interior da embalagem, podendo serem utilizados como ferramenta para a escolha de um filme mais apropriado ao armazenamento de determinada fruta em atmosfera modificada.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ATI, T.; HOTCHKISS, J.H. The role of packaging film permselectivity in modified atmosphere packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Amsterdam, v.51, n.14, p.4133-4138, 2003.

ALI, Z.M.; CHIN, L-H.; MARIMUTHU, M.; et al. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.33, n.2, p.181-192, 2004.

BEN-ARIE, R.; ZUTKHI, Y. Extending the storage life of 'Fuyu' persimmon by modified-atmosphere packaging. **HortScience**, Alexandria, v.27, n.7, p.811-813, 1992.

BEN-YEHOSHUA, S.; KOBILER, I.; SHAPIRO, B. Some physiological effects of delaying deterioration of citrus by individual seal packaging in high density polyethylene film. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.104, n.6, p.868-872, 1979.

BEN-YEHOSHUA, S.; SHAPIRO, B.; CHEN, Z.E.; LURIE, S. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell pepper fruits by alleviation of water stress. **Plant Physiology**, Lancastes, v.73, p.87-93, 1983.

BRACKMANN, A. Comunicação pessoal, 2005.

BRACKMANN, A.; CHITARRA, A.B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BORÉN, F.M. (ed.). **Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas**. Lavras:UFLA/SBEA, 1998. p. 133 - 170.

BRACKMANN, A.; DONAZZOLO, J. Armazenamento Refrigerado de Laranja cv. Monte Parnaso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.18, n.3, p.311-317, 1996.

BRACKMANN, A.; GIEHL, R.F.H.; SESTARI, I.; STEFFENS, C.A. Armazenamento de nêspas (*Rriobotryia japonica*, Lindl.) cv. Mizuho em atmosfera modificada. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.9, n.2, p.18-24, 2004.

BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M.; BALEM, T.A. Efeito de filmes de PVC esticável e polietileno no acúmulo de CO₂ e na manutenção da qualidade pós-colheita de morangos cv. Tangi. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v.5, n.2, p.89-92, 1999a.

BRACKMANN, A.; SAQUET, A.A.; OSTER, A. Armazenamento refrigerado de kiwi em atmosfera normal e controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.1, n.2, p.107-111, 1995.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C.A. Sempre em forma. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v.11, p.20-21, 2001-2002.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C.A. Mais Valorizado. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v.09, p.20-21, 2001.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C.A.; MAZARO, S.M. Armazenamento de caqui (*Diospyros kaki* L.), cv. Fuyu, em condições de atmosfera modificada e controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.24, n.2, p.42-46, 1999b.

BRACKMANN, A.; STREIF, J. Ethylene, CO₂ and aroma volatiles production by apple cultivars. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.368, p.51-56, 1994.

BRACKMANN, A.; WACLAWOVSKY, A.J.; DONAZZOLO, J. Resposta da maçã cv. Fuji ao etileno no armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.953-956, 2001.

CERETTA, M.; GONÇALVES, E.D.; DUTRA, L.F.; RINALDI, M.M.; ROMBALDI, C.V. Filme de polietileno e cera na qualidade da laranja 'Valência' frigoarmazenada. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.05, n.01, p.35-37, 1999.

CERETTA, M. ANTUNES, P.L.; BRACKMANN, A; et al. Conservação em atmosfera controlada de pêsego cultivar Eldorado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.73-79, 2000.

CHEN, X.; HERTOOG, M.L.A.T.M.; BANKS, N.H. The effect of temperature on gas relations in MA packages for capsicums (*Capsicum annuum* L., cv. Tasty): an integrated approach. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.20, p.71-80, 2000.

CHITARRA, M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BORÉN, F.M. (ed.). **Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas**. Lavras : UFLA/SBEA, 1998. p.1-57.

DEL NOBILE, M.A.; FAVA, P.; PIERGIOVANNI, L. Water transport properties of cellophane flexible films intended for food packaging applications. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.53, p.295-300, 2002.

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

FELISBERTI, M.I. **Estudo da permeabilidade de gases em compósitos de polietileno**. 1985. 78f. Dissertação (Mestre em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; BRECHT, J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, n. 52, p.99-119, 2002a

FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; FRIAS, J.M.; et al. Modelling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, n. 54, p.299-307, 2002b.

GÜRAKAN, E.D.G.C.; BAYINDIRH, A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella enteritidis* on cherry tomatoes. **Food Microbiology**, Amsterdam, in press, 2005.

HESS-PIERCE, B.; KADER, A.A. Carbon dioxide-enriched atmospheres extend postharvest life of pomegranate 'Arils'. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 7. **Proceedings...**, California, v.5, p.122. 1997.

IDLER, L. Overview of controlled atmosphere transportation in containers. In: International Controlled Atmosphere Research Conference, 7, Davis, California, 1997. **Proceedings...** Postharvest Horticulture Series, 1997, v.1, n.15, p.2-10.

ITAMURA, H.; KITAMURA, T.; TAIRA, S.; et al. Relationship between fruit softening, ethylene production and respirations in Japanese persimmon 'Hiratanenashi'. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokio, v.60, n.3, p.695-701, 1991.

KADER, A.A. Respiration and gas exchange of vegetables. In: J. Weichmann (Ed.). **Postharvest physiology of vegetables**, New York: Marcel Dekker, 1987. p. 25-43.

KADER, A.A. Biochemical and physiological basis of effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, Alexandria, v.40, n.5, p.99-104, 1986.

KADER, A.A.; MITCHELL, F.G. Maturity and quality. In: **Peaches, plums and nectarines – growing and handling for fresh market**. Oakland: University of California Division of Agricultural and Natural Resources, 1989, p.191-196.

KADER, A.A.; WATKINS, C.B. Modified atmosphere packaging – toward 2000 and beyond. **HortTechnology**, v.10, n.03, p.483-486, 2000.

KADER, A. A. Modified Atmospheres during Transport and Storage. In: KADER, A.A. (ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. Oakland: University of California, p.135-144, 2002.

KADER, A.A.; BEN-YOHOSHUA, S. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.1, p.1-13, 2000.

KAWADA, K. Use of polymeric films to extend postharvest life and improve marketability of fruits and vegetables – Unipack: individually wrapped storage of tomatoes, oriental persimmons and grapefruit. In: RICHARDSON, R. and MEHERIUK, M. (eds.). **Controlled atmospheres for storage of perishable agricultural commodities**. Corvallis, 1982, p.87-99.

KE, D.; MATEOS, M.; KADER, A.A. Regulation of fermentative metabolism in fruits and vegetables by controlled atmospheres. In: International Controlled Atmosphere Research Conference, 6, Ithaca, New York, 1993, **Proceedings...**, Ithaca, New York, 1993, v.1, p.63-67.

KE, D.; YAHIA, E.; HESS-PIERCE, B.; ZHOU, L.; KADER, A.A. Regulation of fermentative metabolism in avocado fruit under oxygen and carbon dioxide stresses. **Journal American Society of Horticultural Science**, Alexandria, n.120, p.481-490, 1995.

KIM, Y.S.; JEONG, S.B.; SON, D.S.; et al. Studies of the casual factors of skin browning during storage and its control in non-astringent persimmon. **Research Reports of the Rural Development Administration – Horticulturae**, Korea, v.31, n.3, p.62-72, 1989.

KUBO, Y.; INABA, A.; NAKAMURA, R. Respiration and C₂H₄ production in various harvested crops held in CO₂-enriched atmospheres. **Journal American Society of Horticultural Science**, Alexandria, n.115, p.975-978, 1990.

LAZAN, H.; ALI, Z.M.; SELAMAT, M.K. The underlying biochemistry of the effect of modified atmosphere and storage temperature on firmness decreased in papaya. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.343, p.141–147, 1993.

LEWIS, E.L.V.; DUCKETT, R.A.; WARD, I.M.; FAIRCLOUGH, J.P.A.; RYAN, A.J. The barrier properties of polyethylene terephthalate to mixtures of oxygen, carbon dioxide and nitrogen. **Polymer**, Amsterdam, v.44, p.1631-1640, 2003.

LIU, S.; YANG, Y.; MURAYAMA, H.; TAIRA, S.; FUKUSHIMA, T. Effects of CO₂ on respiratory metabolism in ripening banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.33, p.27-34, 2004.

LUENGO, R.F.A.; CLABO, A.G. **Armazenamento de Hortaliças**. Brasília:Embrapa Hortaliças, 2001. 242p.

MAHAJAN, P.V.; GOSWANI, T.K. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate of apple. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v.79, n.4, p.399-406, 2001.

MANOLOPOULOU, H.; PAPADOPOULOU, P. A study of respiratory and physico-chemical changes of four kiwi fruit cultivars during cool-storage. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.63, n.4, p.529-534, 1998.

MARAIS, S.; SAITER, J.M.; DEVALLENCOURT, C.; NGUYEN, Q.T.; MÉTAYER, M. Study of transport of small molecules through ethylene-co-vinyl acetate copolymers films. Part B: CO₂ and O₂ gases. **Polymer Testing**, Amsterdam, v.21, p.425-431, 2002.

MATHOOKO, F.M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.9, p.247-264, 1996.

MAZARO, S.M.; BRACKMANN, A.; STORCK, L. Qualidade de kiwi armazenado em duas temperaturas sob atmosfera controlada e com eliminação de etileno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.947-952, 2000.

MEHERIUK, M.; GIRARD, B.; MOYLS, L.; BEVERIDGE, H.J.T.; MCKENZIE, D.-L.; HARRISON, J.; WEINTRAUB, S.; HOCKING, R. Modified Atmosphere Packaging of 'Lapins' Sweet Cherry. **Food Research International**, n.28, p.239-244, 1995.

NERES, C.R.L.; VIEIRA, G.; DINIZ, E.R.; MOTA, W. F.; PUIATTI, M. Conservação do Jiló em função da temperatura de armazenamento e do filme de polietileno de baixa densidade. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.431-438, 2004.

NEUWALD, D.A.; GIEHL, R.F.H.; SESTARI, I.; et al. Avaliação de filmes de polietileno para a conservação de caqui 'Fuyu' sob refrigeração. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.1, p.95-99, 2005.

PAPIERNIK, S.K.; YATES, S.R.; GAN, J. An approach for estimating the permeability of agricultural films. **Environmental Science & Technology**, Amsterdam, v.35, n.06, p.1240-1246, 2001.

PARK, Y.S. Changes in fruit skin blackening, phenolic acids and ethanol production of non-astringent 'Fuyu' persimmon fruits during CA storage. In: International Controlled Atmosphere Research Conference, 7, Davis, California, 1997. **Proceedings...** Davis, California, 1997, v.3, n.1, p.170-176.

PEPPELENBOS, H.W. **The use of gas exchange characteristics to optimize CA storage and MA packaging of fruits and vegetables.** 1996, 147p.

PEPPELENBOS, H.W.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN'T LEVEN, J.; WILKINSON, E.C. Modelling oxidative and fermentative carbon dioxide production of fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.9, p.283-295, 1996.

PETRACEK, P.D.; JOLES, D.W.; SHIRAZI, A.; CAMERON, A.C. Modified atmosphere packaging of sweet cherry (*Prunus avium* L., cv. 'Sams') fruit: metabolic responses to oxygen, carbon dioxide, and temperature. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.24, p.259-270, 2002.

RHARBI, Y.; YEKTA, A.; WINNIK, M.A. A method for measuring oxygen diffusion and oxygen permeation in polymer films based on fluorescence quenching. **Analytical Chemistry**, Amsterdam, v.71, n.22, p.5045-5053, 1999.

SAQUET, A.A.; STREIF, J. Respiração e produção de etileno de maçãs armazenadas em diversas concentrações de oxigênio. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.8, n.1, p.71-75, 2002.

SAQUET, A.A.; STREIF, J. Investigations on the respiration and the ethylene production of some new apple cultivars. **Erwerbsobstbau**, Berlin, v.42, n.4, p.109-112, 2000.

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

SAQUET, A.A.; STREIF, J., BANGERTH, F. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in 'Conference' pears and 'Jonagold' apples during controlled atmosphere storage. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.75, p.243-249, 2000.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; OLIVEIRA, L.M. de; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R.M.V.; GARCIA, E.E.C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas:CETEA/ITAL, 2002. 267p.

SHIINA, T.; YAMAUCHI, H.; HARUENKIT, H. Effects of temperature and gas concentration on the respiration of fruits and vegetables. In: International Controlled Atmosphere Research Conference, 7, Davis, California, 1997. **Proceedings...** Davis, California, 1997, v.1, n.1, p.71-76.

SIRIPHANICH, J.; KADER, A.A. Changes in cytoplasmic and vacuolar pH in harvested lettuce tissue as influenced by CO₂. **Journal American Society of Horticultural Science**, Alexandria, n.111, p.73-77, 1986.

STEFFENS, C.A. Maturação e qualidade pós-colheita de maçãs, 'Gala' e 'Fuji', com aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. 2003. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

STREIF, J. **Ernte, Lagerung und Aufbereitung**. In: F. Winter et al. (Eds.), Lucas' Anleitung zum Obstbau. Stuttgart: Eugen Ulmer, 31 Auflage, p.304-337, 1992.

TADLAOUI, N.; CLEMENT, B.; NAMIESNIK, J.; TORRES, L. A device for determining the permeability of polymer films used for food products packaging. **Polymer testing**, Amsterdam, v.12, p.195-206, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre:Artmed, 2004. 719p.

THÉ, P.M.P.; GONÇALVES, N.B.; PINTO, N.A.V.D. Efeito da associação do cloreto de cálcio, atmosfera modificada e tratamento hidrotérmico sobre o escurecimento interno de abacaxi cv. Smooth Cayenne. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.30, n.1, p.1-7, 2005.

THOMPSON, J.F. Storage Systems. In: KADER, A.A. (ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. Oakland: University of California, p.113-134, 2002.

ULLSTEN, N.H.; HEDENQVIST, M.S. A new test method based on head space analysis to determine permeability to oxygen and carbon dioxide of flexible packaging. **Polymer Testing**. Amsterdam, v.22, p.291-295, 2003.

VELTMAN, R.H.; LENTHERIC, I.; VAN der PLAS, L.H.W.; 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**, Amsterdam, v.28, p.295-302, 2003.

WANG, C.Y. Approaches to reduction of chilling injury of fruits and vegetables. **Horticultural Review**, n.15, p.63-95, 1993.

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

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

WSZELAKI, A.L.; MITCHAM, E.J. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.125-133, 2000.

ZAGORY, D.; KADER, A.A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Technology**, n.42, p.70–77, 1988.